

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Análisis multitemporal de la variación de la línea de costa en el Archipiélago de Jambelí desde 1985 hasta 2020 mediante el uso de sensores remotos y SIG.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniería en Geología

Presentado por:

Heydi Yanin Fuentes Román

Gabriela Lorena Moncada Vásquez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios, mis padres Germán Fuentes, Yanin Román y mi hermano Erick Fuentes por su apoyo y motivación a lo largo de mi vida, además de mi compañera de proyecto y amiga Gabriela Moncada por su apoyo y los momentos compartidos.

Heydi Fuentes Román

DEDICATORIA

Dedico este proyecto primero a Dios y a la Virgen Santísima, porque la fe me motivó siempre en los momentos más difíciles. A mis padres, José Moncada y Giovanna Vásquez, porque me enseñaron que es importante ser una gran profesional, pero que es aún mejor ser también una buena persona. A mi familia, por siempre creer en mis capacidades. A mi compañera de proyecto y amiga, Heydi Fuentes, por brindarme su apoyo incondicional y su amistad. Finalmente, dedico esto a mis amigos del colegio, y la universidad porque me han demostrado que las personas genuinas y consideradas te ayudan a crecer y a salir adelante sin siquiera intentarlo.

Gabriela Moncada Vásquez

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a
PhD. Elizabeth Peña Carpio
Msc. Mishelle Muthre Freire
Msc. Mónica López Moncada
Instituto Oceanográfico y
Antártico de la Armada del
Ecuador.

Heydi Fuentes Román

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a nuestras tutoras, MSc. Mishelle Muthre y MSc. Mónica López por brindarnos su tiempo y capacidades profesionales. A mis profesores del colegio, Lcda. Verónica Rosado, Lcdo. Marlon Quito, y de la universidad, Lcda. Mónica Baños, Ing. Erwin Larreta. Al Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador por su colaboración como institución.

Gabriela Moncada Vásquez

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Gabriela Moncada, Heydi Fuentes* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Heydi Yanin Fuentes
Román

Gabriela Lorena
Moncada Vásquez

EVALUADORES

.....
M.Sc. David Altamirano

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
M.Sc. Mishelle Muthre

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El Archipiélago de Jambelí se ve influenciado por procesos complejos de erosión y acreción que dependen de factores intrínsecos y externos al medio. Para el desarrollo equilibrado de las actividades en Jambelí se propone la evaluación de los procesos costeros de 1985 al 2020 interpretando datos multitemporales. Se empleó imágenes satelitales Landsat, datos históricos oceanográficos y herramientas de SIG y teledetección con las que se procesó y digitalizó la variación de la línea de costa en periodos de 5 años, además, se estimó las tasas de cambio. También, se trabajó con la información de diferentes regiones del espectro de bandas para la clasificación del uso de suelo. Los resultados obtenidos mostraron una relación directa entre las tasas de erosión y la actividad antrópica en el archipiélago (camaroneras). Además, se corroboró que las obras de mitigación colocadas en algunas playas provocaron cambios en la dinámica litoral. A partir de las tendencias en las tasas de regresión lineal se estimó la evolución de la línea de costa para 10 y 20 años. Finalmente, de acuerdo al análisis las tasas de erosión y acreción se concluye que las islas con mayor cambio lineal por año son la Isla Jambelí y la Isla Payana. La disminución de manglar se encuentra estrechamente ligada con la erosión en las costas del archipiélago, mientras que la construcción de camaroneras favorece la formación de bancos de arena.

Palabras Clave: Jambelí, erosión, teledetección, línea de costa.

ABSTRACT

The Jambeli Archipelago is influenced by complex processes of erosion and accretion that depend on intrinsic factors and external to the environment. For the balanced development of activities in Jambeli, it is proposed to assess coastal processes from 1985 to 2020 by interpreting multitemporal data. Landsat satellite imagery, oceanographic historical data, and GIS and remote sensing tools were used to process and digitize coastline variation over 5-year periods, and shoreline-change rates were estimated. Also, it worked with information from different regions of the band spectrum for the classification of land use. The results showed a direct link between erosion rates and anthropic activity in the archipelago (shrimps). Besides, it was confirmed that mitigation works placed on some beaches caused changes in coastal dynamics. From trends in linear regression rates, the coastline evolution was estimated for 10 and 20 years. Finally, the islands with the greatest linear change per year are Jambeli Island and Payana Island, according to erosion and accretion rates analysis. The decrease in mangroves is closely linked to erosion on the coasts of the archipelago, while the construction of shrimp farms favors the formation of sandbanks.

Keywords: *Jambeli, erosion, remote sensing, coastline.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	VII
<i>ABSTRACT</i>	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ABREVIATURAS.....	XII
SIMBOLOGÍA.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Descripción del problema.....	2
1.3 Justificación del problema.....	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos	3
1.5 Área de estudio.....	4
1.5.1 Generalidades	4
1.5.2 Ubicación geográfica	4
1.5.3 Población	5
1.5.4 Actividades productivas	5
1.5.5 Topografía	5
1.5.6 Meteorología y oceanografía	6
1.5.7 Vegetación.....	7
1.6 Dinámica Costera	7

1.6.1	Control eustático	7
1.6.2	Control tectónico	8
1.6.3	Factores de control de registro sedimentario	9
1.7	Procesos costeros	10
1.7.1	Mareas	10
1.7.2	Oleaje	10
1.7.3	Corrientes	10
1.8	Balance sedimentario	10
1.8.1	Erosión costera	11
1.8.2	Acreción costera	11
1.9	Influencia antrópica	11
CAPÍTULO 2		12
2.	Base conceptual	12
2.1	Teledetección y SIG	12
2.1.1	Resolución de un sistema sensor	12
2.1.2	Landsat	13
2.1.3	Corrección de imágenes satelitales	13
2.1.4	Análisis multiespectral	14
2.1.5	Métodos de clasificación	15
2.2	Cobertura y uso del suelo	15
2.3	Modelo Digital de Elevación (DEM)	16
2.4	Validación de modelos	16
CAPÍTULO 3		17
3.	Metodología	17
3.1	Recopilación de información multitemporal	19

3.1.1	Tratamiento preliminar de imágenes satelitales.....	20
3.2	Procesamiento de información.....	21
3.2.1	Generación de líneas de costa	21
3.2.2	Usos de suelo	22
3.2.3	Tasas de erosión y acreción.....	22
3.2.4	Predicción de la evolución de la línea de costa	23
3.3	Corrección de línea de costa	24
CAPÍTULO 4		26
4.	Resultados y Análisis	26
4.1	Evolución costera.....	26
4.2	Análisis de erosión y acreción costera.....	31
4.3	Uso de suelo.....	44
4.4	Aporte de sedimentos	46
4.5	Análisis de resultados	48
4.5.1	Análisis del balance sedimentario.....	49
4.5.2	Impacto obras estructurales.....	51
4.6	Modelo de evolución y predicciones	51
CAPÍTULO 5		53
5.	Conclusiones y Recomendaciones	53
	Conclusiones.....	53
	Recomendaciones.....	54
BIBLIOGRAFÍA		56
APÉNDICES.....		60

ABREVIATURAS

AVHRR	Advanced Very High-Resolution Radiometer
CLIRSEN	Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos
DEM	Digital Elevation Model
DSAS	Digital Shoreline Analysis System
DSM	Digital Surface Model
EPR	End Point rate
ESL	Eustatic sea level
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ETM	Enhanced Thematic Mapper
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
HRV	High Resolution Visible
IfSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
IGM	Instituto Geográfico Militar
INEC	Instituto Nacional De Estadísticas Y Censos
INOCAR	Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador
IPGH	Instituto Panamericano de Geografía e Historia
kaBP	kilo-annum Before Present
LB	Línea base
LC	Línea de costa
LiDAR	Laser Imaging Detection and Ranging
LRR	Linear regression rate
MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
MDC	Minimum Distance Classification
MOS	Marine Observation Satellite
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
NIR	Near InfraRed

NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NSM	Net shoreline movement
OLI	Operational Land Imager
PMRC	Programa de Manejo de Recursos Costeros
PRAT	Programa de Regulación y Administración de Tierra Rurales
RSL	Relative sea level
SCE	Shoreline change envelope
SDR	Sediment Delivery Ratio
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SPAER	Spectral Processing Exploitation and Analysis Resource
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
SVM	Support Vector Machine
SWIR	Short Wave InfraRed
TFW	Tiff World File
TIN	Triangular Irregular Network
TM	Thematic Mapper
UMM	Unidad mínima de mapeo
UMV	Unidad mínima visible
USDA	Departamento de Agricultura de Estados Unidos
VISSR	Visible Infrared Spin Scan Radiometer
VTIR	Visible and Thermal Infrared Radiometer
WLR	Weighted linear regression rate

SIMBOLOGÍA

2D	Dos dimensiones
3D	Tres dimensiones
cm	Centímetros
ha	Hectáreas
hz	Hertz
km	Kilómetros
m	Metros
Ma	Millones de años
mm	Milímetros
mm/año	Milímetros por año
msnm	Metros sobre el nivel del mar
pan	Pancromático
pH	Potencial de Hidrógeno
ppp	Píxeles por pulgada

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de ubicación del Archipiélago de Jambelí.	5
Figura 1.2 Mapa de pendientes del Archipiélago de Jambelí.....	6
Figura 3.1 Flujograma de la metodología aplicada a el análisis multitemporal de la variación de la línea de costa.	17
Figura 3.2 Proceso esquemático para la generación de líneas de costa.	21
Figura 3.3 Proceso esquemático de la obtención de tasas de acreción y erosión.	22
Figura 3.4 Esquema gráfico para el cálculo de la corrección de la distancia base Db.	24
Figura 4.1 Dinámica costera para los años a) 1985-2004 b) 2004-2016.....	32
Figura 4.2 Comparación de la zona A en los tres periodos desde 1985-2020.	33
Figura 4.3 Comparación de la zona B en los tres periodos desde 1985-2020.	33
Figura 4.4 Comparación de la zona C ₁₋₂ en los tres periodos desde 1985-2020	34
Figura 4.5 Comparación de la zona D en los tres periodos desde 1985-2020.	34
Figura 4.6 Comparación de la zona E en los tres periodos desde 1985-2020. Comparación de la zona E en los tres periodos desde 1985-2020.....	35
Figura 4.7 Influencia de los procesos de erosión y acreción en los periodos (1985-2004), (2004-2016), (2016-2020), de acuerdo al LRR y EPR obtenidos en DSAS.	35
Figura 4.8 Gráfico de barras ID de transectos vs LRR en la zona B, periodo 1985-2004.....	36
Figura 4.9 Gráfico de barras ID de transectos vs LRR en la zona C ₁ , periodo 1985-2004.....	37
Figura 4.10 Gráfico de barras ID de transectos vs LRR en la zona D, periodo 1985-2004.....	38
Figura 4.11 Gráfico de barras ID de transectos vs LRR en la zona A periodo 2004-2016.....	39
Figura 4.12 Gráfico de barras ID de transectos vs LRR en la zona B periodo 2004-2016.....	40

Figura 4.13 Gráfico de barras ID de transectos vs EPR en la zona B, periodo 2016-2020.....	41
Figura 4.14 Gráfico de barras ID de transectos vs EPR en la zona C ₂ , periodo 2016-2020.....	42
Figura 4.15 Gráfico de barras ID de transectos vs EPR en la zona D, periodo 2016-2020.....	43
Figura 4.16 Gráfico de barras ID de transectos vs EPR en la zona E, periodo 2016-2020.....	44
Figura 4.17 Mapas de uso de suelo del año 1985, 2014, 2016 y 2020: manglar (verde), camaronerías (amarillo) y Bancos de arena (rojo).....	45
Figura 4.18 Gráfico de barras de cobertura de suelo: manglar, color verde; camaronera, azul; banco de arena, naranja.....	46
Figura 4.19 Modelo de estimación de la línea de costa para el Archipiélago Jambelí a 10 años (celeste) y 20 años (rosa).	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Resoluciones espaciales de satélites [Pérez & Muñoz, 2003].....	12
Tabla 3.1 Información base de imágenes satelitales Landsat TM, ETM+ y OLI.	19
Tabla 3.2 Mareas en los días de la adquisición de las respectivas imágenes satelitales obtenidas (P: Pleamar y B: Bajamar) [INOCAR, s.f.].....	20
Tabla 4.1 Resumen de los sectores y transectos incluidos a las playas del Archipiélago de Jambelí.	26
Tabla 4.2 Correcciones de la distancia base (Db) a partir de los datos de marea, incluyendo la altura del rompimiento de las olas y la energía del oleaje.	27
Tabla 4.3 Medidas de longitud, espesor y corrección de la distancia base en las playas de Jambelí para los años 1985-1991.	28
Tabla 4.4 Medidas de longitud, espesor y corrección de la distancia base en las playas de Jambelí para los años 1997-2001.	28
Tabla 4.5 Medidas de longitud, espesor y corrección de la distancia base en las playas de Jambelí para los años 2004-2010.	29
Tabla 4.6 Medidas de longitud, espesor y corrección de la distancia base en las playas de Jambelí para los años 2016-2020.	29
Tabla 4.7 Área de los cambios en el área de erosión y acreción para los periodos analizados.	30
Tabla 4.8 Crecimiento de playa corregidos para los periodos 1985-2004, 2004- 2016 y 2016-2020.	30
Tabla 4.9 Tasas de regresión lineal (LRR) y el cambio lineal de la línea de costa para los periodos 1985-2004, 2004-2016 y 2016-2020.	31
Tabla 4.10 Densidad de drenaje para cada isla del Archipiélago de Jambelí.	47
Tabla 4.11 Volumen potencial mínimo.	47

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES

1. INTRODUCCIÓN

La erosión es un proceso natural que se da con frecuencia en zonas litorales, sin embargo, por procesos antrópicos, el balance sedimentario se rompe. La parroquia Jambelí se ha visto afectada con el pasar de los años por la acelerada erosión del suelo en la zona litoral, esto provoca que la línea de costa esté en constante cambio. Las variaciones drásticas de la línea de costa ponen en peligro las zonas urbanas y la biodiversidad del sector.

Para detectar cambios físicos en la línea de costa del Archipiélago de Jambelí durante los años 1985 a 2020 se realiza el análisis multitemporal de esta a partir de imágenes satelitales Landsat 5 TM, 7 ETM y 8 OLI. El análisis del uso de suelo a través de los años evidenciará cómo los factores antrópicos pueden llegar a alterar la erosión o acreción en la zona litoral.

Por este motivo el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) y el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Santa Rosa (GAD Santa Rosa) colaboran con la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) para la realización de este proyecto. Su finalidad consiste en realizar un análisis multitemporal de la línea de costa del archipiélago y poder llegar a obtener predicciones sobre zonas con alta probabilidad de ser erosionadas o acrecionadas para proceder a un plan de ordenamiento territorial o construcción de obras civiles como medidas de mitigación.

1.1 Antecedentes

La evolución natural de los márgenes costeros y de la zona intermareal, que se ha visto influenciada por actividades antrópicas, ha tomado relevancia debido al interés turístico y comercial del Archipiélago de Jambelí. Medidas desesperadas surgieron desde el 1995, sin ningún estudio previo fueron colocadas diferentes tipos de estructuras a lo largo de la línea de costa que en la actualidad amenazan a los habitantes del Balneario Jambelí.

De acuerdo con Soledispa (2004), eventos naturales en el litoral, como los aguajes, representan un aumento en la erosión de sitios como el Balneario de Jambelí. Esta se rige por ciclos estacionales en donde hay intercambios equilibrados de sedimentos durante cada estación por la corriente litoral, esta última se considera como principal agente erosivo o acrecional de playas.

A inicios del año 2003, personal del INOCAR evaluó las condiciones que propician la erosión del área de estudio (Soledispa, 2004), como es el caso de la frecuencia de las olas de viento, las cuáles atacan la costa permanentemente. También se abordó algunas medidas de mitigación de manera técnica y aquellas que ya habían sido implementadas por la población de forma artesanal. Se concluyó que las medidas de mitigación estructurales pueden llegar a ser contraproducentes si no se realiza estudios técnicos.

Por otro lado, Rosero (2012) en conjunto con el INOCAR y Unidad de Investigación y Desarrollo Tecnológico de PETROECUADOR desarrolló una metodología parcial para el análisis de la variabilidad costera, donde se incluyó al Archipiélago de Jambelí. Mediante el levantamiento de línea de costa y perfiles de playa, que posteriormente se procesaron con técnicas de SIG; se evaluó la geología local y los datos estructurales del sector, con el propósito de determinar causa de erosión y proponer posibles técnicas de mitigación para el Balneario Jambelí.

1.2 Descripción del problema

La variabilidad del perfil costero depende de la intensidad del oleaje, cambio eustático, cambios de deriva litoral, entre otros procesos hidrodinámicos y geológicos. La erosión costera es un fenómeno común en el Archipiélago de Jambelí que acompañada de la recesión de la línea de costa y la pérdida de superficie terrestre en relación a una línea base, genera impactos en sectores productivos como acuícola y turístico, así como en el ambiente.

Las actividades antrópicas de sus moradores producen efectos erosivos más devastadores que los originados por procesos naturales. Un estudio geomorfológico costero y, de uso y cobertura del suelo, proporcionará información sobre la influencia hidrodinámica, geológica y antrópica de la regresión costera en la Isla de Jambelí.

El presente estudio analizará las causales de los procesos erosivos en las etapas de influencia natural y antrópica durante los últimos 35 años para predecir un patrón de erosión de las playas a corto plazo y las respuestas de los sedimentos de las playas a la dinámica costera mediante el uso de sensores remotos y cartografía SIG.

1.3 Justificación del problema

El estudio de la erosión y acreción en la zona litoral del Archipiélago de Jambelí es de gran importancia para el GAD de Santa Rosa debido a que representa una amenaza hacia a la población que vive en las cercanías de las playas y que su sustento económico proviene en gran parte del turismo. Este proyecto integrador permite identificar los cambios multitemporales obteniendo como resultado áreas con alta probabilidad de sufrir cambios físicos representativos, para que en estudios posteriores se puedan aplicar obras civiles como métodos de mitigación costera.

A partir de la información recolectada y procesada se puede brindar datos numéricos de la dinámica litoral a través del tiempo en donde se puede dar una idea bastante asertiva de que zonas pueden o no ser urbanizadas. Estos resultados pueden ser generalizados a principios más amplios debido a que la erosión y acreción es un comportamiento usual en cualquier zona costera, pero a distintas velocidades.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar los procesos de erosión y acreción costera en la Isla Jambelí durante los años 1985 a 2020, mediante un análisis multitemporal de imágenes satelitales, para el desarrollo de una planificación territorial óptima y equilibrada de las actividades en la Isla Jambelí.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Interpretar los datos multitemporales de imágenes satelitales mediante una clasificación SIG (líneas de costa, uso de suelo, entrantes de la zona estuarina, entre otras).
- Estimar tasas de erosión y acreción durante los años 1965 a 2020.

- Analizar las tendencias históricas de variabilidad costera que muestren un patrón evolutivo y predicciones del cambio de la línea de costa.
- Correlacionar los efectos de variabilidad costera con factores geológicos, oceanográficos y antropogénicos que inciden en el tránsito costero del archipiélago.

1.5 Área de estudio

1.5.1 Generalidades

El Archipiélago de Jambelí se encuentra en la provincia de El Oro, ubicado al suroccidente del Ecuador continental. Sus islas con mayor relevancia son: Costa Rica, Bellavista, Las Huacas, Las Casitas y Pongalillo. En estas islas se encuentran poblados que realizan actividades de pesca artesanal, cultivo de camarón, recolección de conchas y cangrejos; y turísticas, como las del Balneario Jambelí (GAD Parroquial de Jambelí, 2015).

La parroquia Jambelí tiene una extensión que oscila entre los 417,06 km² y constituye una de las más extensas del cantón Santa Rosa; es un balneario rodeado de manglares. De acuerdo con el GAD Parroquial de Jambelí (2015) esta parroquia abarca gran parte del Archipiélago de Jambelí.

1.5.2 Ubicación geográfica

La parroquia rural Jambelí del cantón Santa Rosa, Provincia de El Oro, se ubica en el Ecuador. Se encuentra a una distancia aproximada de 135 km de la ciudad de Guayaquil (GAD Parroquial de Jambelí, 2015). El cantón Santa Rosa se divide en 8 parroquias: Bellamaria, Bellavista, Jambelí, La avanzada, La Victoria, San Antonio, Torata y Santa Rosa (GAD Cantón Santa Rosa, s.f.).

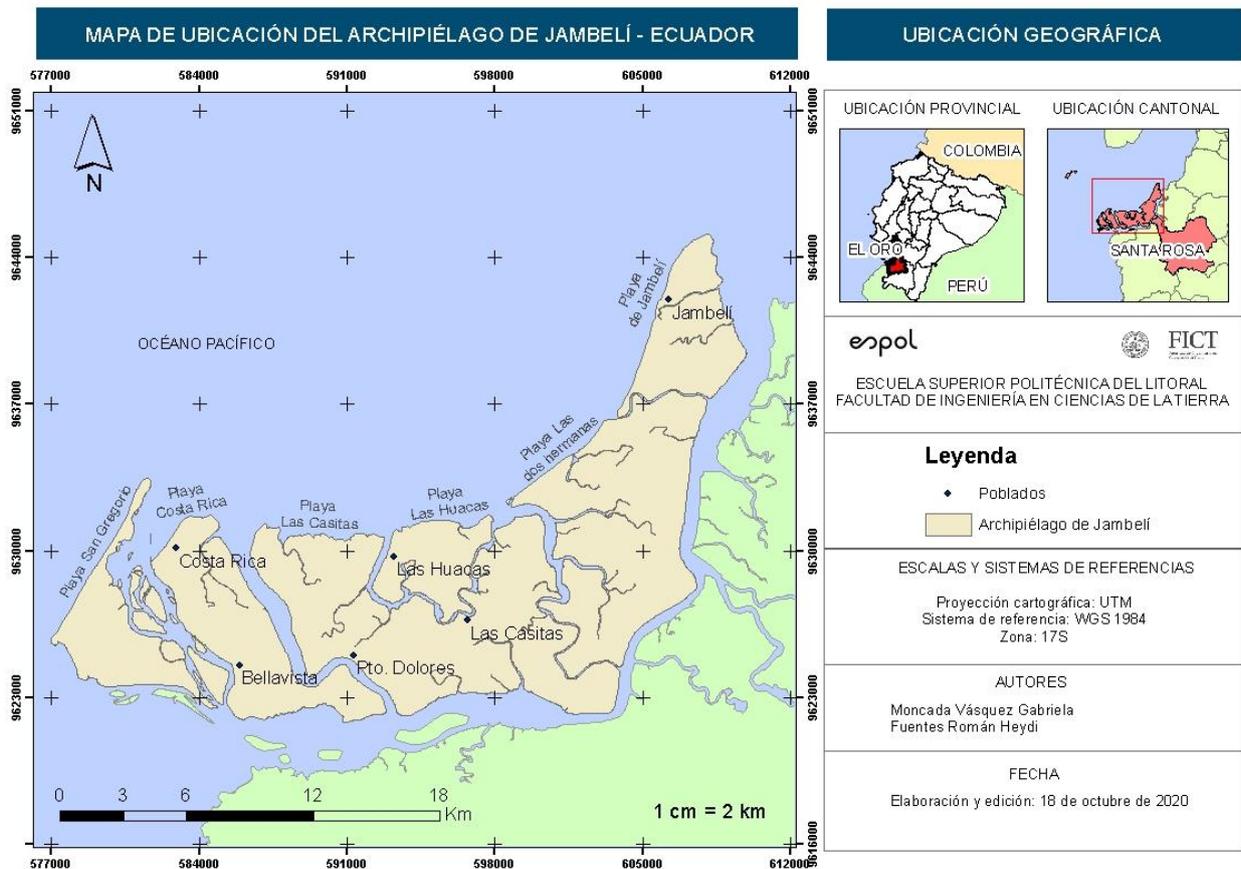


Figura 1.1 Mapa de ubicación del Archipiélago de Jambelí.

1.5.3 Población

El cantón Santa Rosa cuenta con una población urbana y rural de 60388, de estos 1718 habitan en la parroquia Jambelí (GAD Parroquial de Jambelí, 2015) con un promedio de habitantes por hogar de 3,34.

1.5.4 Actividades productivas

Entre las actividades productivas de la parroquia destacan la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca; a estas se dedican el 77,75% de la población económicamente activa (INEC, 2001).

1.5.5 Topografía

El archipiélago de Jambelí tiene un relieve casi plano con pendientes que van de 0-5°. Está ubicada aproximadamente a 7 m.s.n.m. la parroquia Jambelí se compone casi en su totalidad de una llanura litoral. De acuerdo con el GAD Parroquial de Jambelí

(2015) la llanura litoral ocupa el 99,03% representando un área de 25179,79 ha. Mientras que el restante 0,97% constituye la llanura de marea con 247,61 ha.

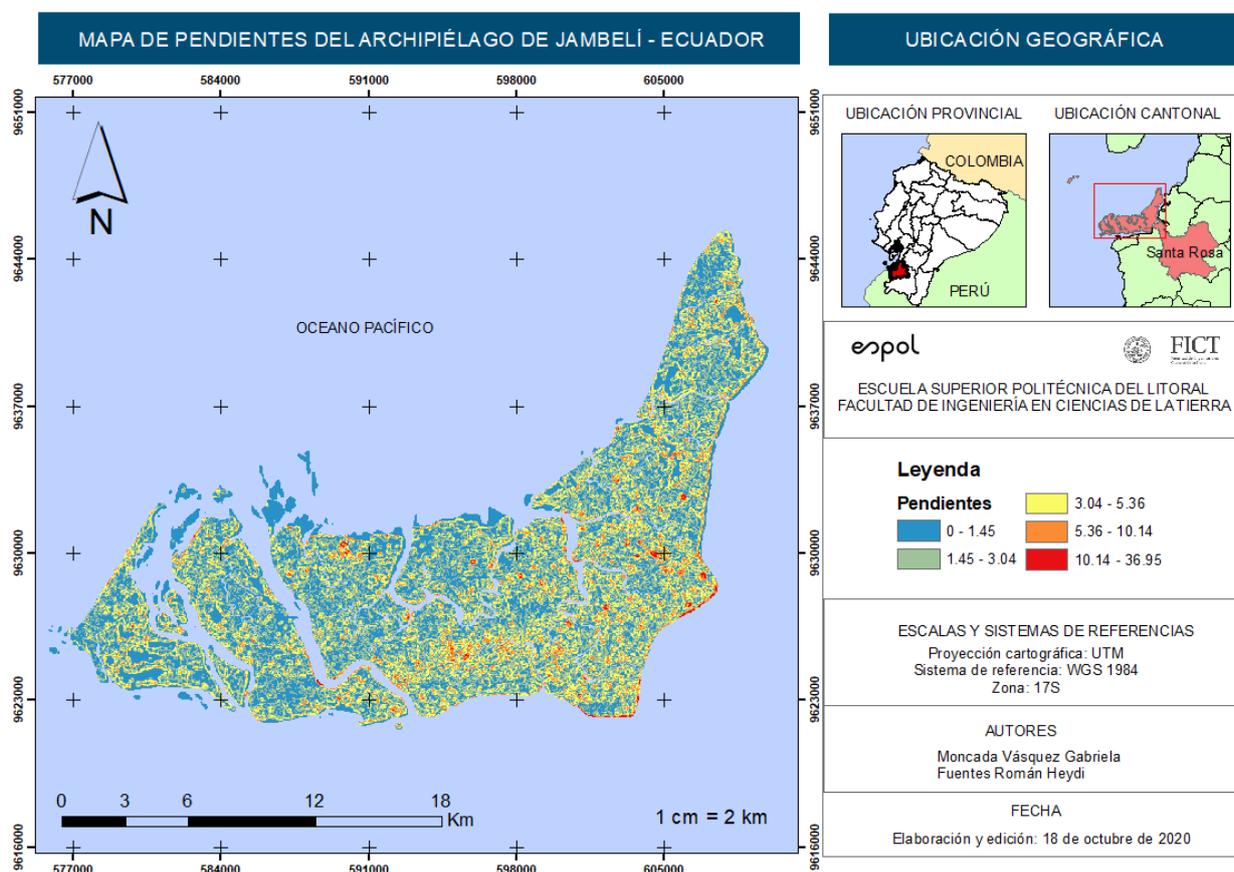


Figura 1.2 Mapa de pendientes del Archipiélago de Jambelí

1.5.6 Meteorología y oceanografía

El archipiélago de Jambelí tiene un clima Tropical y dos bioclimas, el desértico que abarca el 25,12% del territorio y el Xérico con el 74,88% restante. Sus precipitaciones promedio van de los 500 a los 1000 mm, donde las máximas precipitaciones se encuentran en la zona norte de la parroquia Jambelí; esta se reconoce como una zona de humedad baja (GAD Parroquial de Jambelí, 2015). Las olas se caracterizan por tener baja energía, pero alta frecuencia, en el orden de los 0,2 Hz. promoviendo la erosión (INOCAR, 2002).

Las mareas de sicigia (pleamares y bajamares) y los agujajes que debilitan y erosionan las costas; y las bermas (bancos y taludes) del Archipiélago de Jambelí. Las

máximas alturas de mareas se producen dos veces durante el mes (Rosero, 2012; Soledispa, 2004)

1.5.7 Vegetación

El Archipiélago de Jambelí cuenta con algunas variedades de manglar entre las que se tiene: mangle rojo, mangle negro, mangle iguanero, mangle blanco, y mangle jeli. Los manglares son un tipo de vegetación típica de las zonas intermareales y de los climas tropicales, son anaeróbicas y tienen un pH ácido. Principalmente se encuentran en suelos arcillosos, arenosos y con alto contenido de materia orgánica en descomposición. En estos se desarrolla varias actividades productivas como la cría de larvas de camarón y la recolección de cangrejos y conchas (Peralta & Tapia, 2002).

En la Isla Jambelí de acuerdo con (CLIRSEN & PMRC, 2007) en el año 1969 se registra 2161 ha de manglar constituyendo un uso de suelo del 81%. Mientras que en el 1995 eran 342 ha, para el año 1999 el cultivo de manglar aumentó a 368 ha. Finalmente se tuvo 234 ha de manglar en el año 2006 mostrando una clara tendencia de decrecimiento vegetativo en favor del aumento progresivo de camaroneras en el archipiélago con el paso de los años.

1.6 Dinámica Costera

La evolución costera tiene influencia de factores dinámicos externos e internos. Los factores internos incluyen las estructuras geológicas, el tipo de roca y las condiciones tectónicas. Mientras que, los factores externos son los ríos, viento, mareas, oleaje y corrientes. Ambos tipos contribuyen en el modelado y la evolución de los ambientes costeros (Yincan et al, 2017). Probablemente la influencia de los factores externos controla los procesos de erosión, acreción costera y el transporte de sedimentos en la playa; por esto sus cambios se observan con mayor rapidez que los generados por los factores internos.

1.6.1 Control eustático

La eustasia es el cambio del volumen de agua en los océanos a nivel global. La línea de costa es la interfaz entre la tierra y el mar; siendo un indicador de estas variaciones uniformes del nivel eustático del mar (ESL). En periodos de glaciación, el agua se acumula en los glaciares, se caracterizan por temperaturas bajas que contraen

los cuerpos de agua y reducen su volumen. Al contrario de las interglaciaciones donde los glaciares se derriten y el agua de los océanos se expande debido al incremento de la temperatura (Rovere et al., 2016).

Las ideas actuales sobre la periodicidad de las glaciaciones fueron desarrolladas por Milankovitch, entre 1920 y 1930; el matemático serbio presentó una teoría donde los cambios eustáticos no se deben sólo al cambio de volumen de los glaciares. Atribuyó este fenómeno a los cambios del flujo monzónico debido a las variaciones orbitales de la Tierra; dependientes de la excentricidad de la órbita, la precesión de los equinoccios y la oblicuidad del eje terrestre (Jacobs & Sahagian, 1995). De acuerdo a Yincan et al (2017) durante la última glaciación (18-15 kaBP) la línea de costa fue de 100-130 m más baja que la línea de costa moderna en China. En los periodos de glaciación la variación promedio del nivel del mar es global, por lo que puede interpretarse que en el área donde se encuentra el Archipiélago de Jambelí actualmente ocurrió algo similar.

1.6.2 Control tectónico

El nivel relativo de mar (RSL), se ve modificado, principalmente, por la tectónica, el suministro de sedimentos y los cambios antrópicos. La tectono-eustasia se caracteriza por la extensión del fondo oceánico debido al movimiento de las placas tectónicas. Excluyendo los procesos tectono-eustáticos, que modifican el ESL, los pulsos tectónicos restantes afectan mayormente los cambios del RSL. Como ejemplo se tiene el proceso de “apalancamiento continental”, este se caracteriza por el levantamiento de ciertas zonas costeras debido al aumento de carga en las cuencas oceánicas.

En los márgenes activos, como ocurre en las costas ecuatorianas, el aumento o descenso cosísmico o post-sísmico de la línea de costa puede deberse a la presencia de sistemas de fallas (Rovere et al., 2016). Cerca del Archipiélago Jambelí, las fallas que tienen relación con los procesos de levantamiento y subsidencia son Jambelí y Puná. De acuerdo a Eguez et al. (2003) la falla Puná es de tipo dextral con tendencia noreste y forma un *ridge* alargado, escarpes de falla y una cuenca *pull-apart*. Por otro lado, la falla Jambelí, que probablemente deriva de la falla Pallatanga, es de tipo normal; “está totalmente sumergida y forma escarpes submarinos”. El último movimiento registrado de

ambas fallas fue en el Cuaternario (<1,6 Ma), con una tasa de deslizamiento inferida <1mm/año en ambos casos.

1.6.3 Factores de control de registro sedimentario

El registro sedimentario tiene relación directa con el espacio de depositación y el aporte de sedimentos. El desarrollo de secuencias y el patrón en el que estas se apilan depende tanto de los cambios eustáticos como de los tectónicos (Rasmussen, 2004). La continua ganancia de sedimentos en el lecho marino incide en el avance o retroceso de la línea de costa. Las modificaciones transgresivas y regresivas no sólo modelan el paisaje costero; sino que la alternancia de estos procesos favorece la formación de reservorios económicos debajo de las secuencia de sedimentos (Devoy, 2015).

1.6.3.1 Transgresión

La transgresión es el avance de la línea de costa hacia el continente; también se define como la fase que inunda la plataforma continental. Esto se debe al balance negativo de sedimentos, donde el espacio de acomodación en la cuenca es superior a la generación de dichos sedimentos. En este caso, las facies se acumulan en retrogradación hacia el continente (Rasmussen, 2004; Rovere et al., 2016). La transgresión es el resultado del aumento eustático del nivel de mar y de la evolución tectónica; y difiere del concepto de erosión costera. En el primer caso, los cambios resultan ser temporal y espacialmente mayores que en el segundo (Yincan et al, 2017).

1.6.3.2 Regresión

La regresión es el retroceso de la línea de costa hacia el mar o la caída del nivel del mar en relación a la costa (Orme, 2013). Cuando la producción de sedimentos ocurre desde el interior hacia la cuenca resulta en la progradación; que es la acumulación de facies hacia el mar (Catuneanu, 2006). En muchos casos, el aumento de la producción de sedimentos depende de la elevación tectónica y las condiciones climáticas resultan clave. Cuando estos dos factores se conjugan, como suele ocurrir en las zonas de colisión y en la cuencas de tipo *rift*, la regresión puede presentarse incluso durante un aumento del nivel de mar si se tiene un aporte significativo de sedimentos en la cuenca (Rasmussen, 2004).

1.7 Procesos costeros

1.7.1 Mareas

Las mareas están ligadas a la fuerza gravitacional que ejerce el satélite natural Luna y el Sol a la Tierra, más la fuerza centrípeta producida por la rotación de la misma (Ortiz, 2016). La suma vectorial de estas fuerzas genera un evento llamado marea de sicigia o marea viva, y es lo que ocurrió en la costa de Jambelí el año 2002. Según Vera (2007) las mareas se encuentran en un rango aproximado entre 2-2,5 m.

1.7.2 Oleaje

De acuerdo con el INOCAR (2002) las olas tienen una altura media de hasta 40 cm, cuya litología predomina un suelo arenoso con un tamaño de grano medio de 0,48 mm (Vera, 2007), según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). Martillo & Benitez (2002) explica que existe una relación entre la pendiente de la ribera del mar, tamaño de grano y exposición al ataque de las olas, mientras más grande sea el tamaño del grano de arena, más inclinada será la playa. Además, cabe recalcar que los factores climáticos extremos reúnen las características necesarias para la formación de olas con un alcance de máxima energía (Lario & Badají, 2017). Loo (2015) explica que en la zona de aguas profundas las olas se aproximan a la costa con una dirección noroeste.

1.7.3 Corrientes

Las corrientes son generadas por distintas fuerzas, por mencionar las principales son el viento y la diferencia de densidades del agua, y que a su vez estas corrientes son modificadas por la profundidad y el relieve del fondo marino (de Osés, 2004). La configuración de las corrientes litorales se da según el ángulo con la que se forman las olas, paralelamente a la costa y por fuera de la zona de resaca. Soledispa (2004) deduce que el aguaje del 2002 produjo una corriente con una misma intensidad a lo largo de toda la playa del Balneario Jambelí debido a la similitud en el relieve de la parte alta.

1.8 Balance sedimentario

El balance sedimentario comprende el equilibrio de la entrada y salida de sedimentos de una determinada zona. Este se encuentra condicionado por diferentes factores ya sea por causas naturales, como por ejemplo oleaje, vientos y corrientes

marinas, o influencia antrópica (Duarte, 2018). De acuerdo al estudio realizado por Looor (2015) en la Isla Jambelí, la distribución del tamaño de grano da a conocer que desde el Balneario de Jambelí los sedimentos son desplazados hacia otras zonas a lo largo de la línea de costa.

1.8.1 Erosión costera

La gran energía que poseen los factores naturales expuestos anteriormente permite la remoción de sedimentos en la zona litoral, a este proceso se le llama erosión costera (Lario & Bardají, 2017). La costa del Archipiélago está sujeta a ciclos estacionales, en donde las corrientes litorales son las responsables de la importante salida de sedimentos durante una estación y luego estos son recuperados durante la siguiente estación. Sin embargo, a finales de diciembre del 2002 la costa se encontraba en marea de sicigia, en donde se produjo un fuerte aguaje que permitió que la corriente litoral llegue a erosionar la zona *backshore* lo que causó la destrucción de los miradores del Malecón (Soledispa, 2004).

1.8.2 Acreción costera

De acuerdo con Miall (2006) la acreción es un proceso geológico en el cual se acumulan sedimentos en un área determinada y dan como resultado el continuo crecimiento de la parte continental. La acreción costera se produce cuando la entrada de sedimentos es mayor que la salida de sedimento en el litoral, provocando la acumulación de sedimentos (Dos Santos et al., 2018). En el Archipiélago de Jambelí se observan ciertos periodos en los que la acumulación de sedimentos forma bancos de arena cercanos a la línea de costa.

1.9 Influencia antrópica

Según Soledispa (2004) indica que todo empezó a agravarse cuando los moradores del sector colocaron un muro de estacas de mangle que se extiende 150 m por la playa del Balneario Jambelí y con una altura entre 60-80 cm. En la lucha contra la erosión han surgido estudios, uno de ellos ejecutó construcciones protectoras de costa como por ejemplo espigones y geosistemas (Altamirano et al., 2016). Sin embargo, estas no han tenido éxito en su totalidad y se deduce que las estructuras no se construyeron según lo diseñado.

CAPÍTULO 2

PRINCIPIOS DE TELEDETECCIÓN

2. BASE CONCEPTUAL

2.1 Teledetección y SIG

La teledetección o percepción remota es la obtención de información de manera indirecta sobre el entorno físico. Su principio fundamental es la presencia de una perturbación propia de un medio que posteriormente es registrada por un sistema llamado receptor (Sobrino et al., 2000). La teledetección posee grandes ventajas como métodos de registro de información de un medio físico, debido a que no se necesita entrar en contacto con el objeto de interés. La obtención de imágenes satelitales se lo realiza mediante sensores, detectando la radiación emitida por un objeto. Existen sensores pasivos donde la obtención de información depende de la radiación solar reflejada. Los sensores activos cumplen con dos funciones la de emitir su propia onda electromagnética y de receptor de las perturbaciones (Pérez & Muñoz, 2003).

2.1.1 Resolución de un sistema sensor

En teledetección existen cinco resoluciones y varían según el sensor, resolución espacial, radiométrica, espectral, temporal y angular. La resolución espacial se puede describir como el tamaño del objeto más pequeño que puede ser observado en una imagen, esto representa el tamaño de píxel (Sabins, 2007). A continuación, se muestra la Tabla 2.1 con algunos sensores y su respectiva resolución espacial.

Tabla 2.1. Resoluciones espaciales de satélites [Pérez & Muñoz, 2003].

Satélite	Sensor	Res. Espacial (m)
QuickBird		0,61
Ikonos		1
Orbview3		1
Spot-5		2,5
Spot-3	HRV pan	10
Landsat 7	ETM +pan	15
Landsat 5	TM pan	30
MOS	VTIR	900
Meteosat	VISSR	5000

La capacidad de diferenciar distintas intensidades de radiancia se la conoce como la resolución radiométrica en donde esta energía se convierte a nivel digital que contiene cierta cantidad de número de bits para ser codificada (Sobrino et al., 2000). La resolución espectral viene definida como la cantidad de bandas espectrales que puede diferenciar el sensor, en otras palabras, entre mayor número de bandas el sensor podrá distinguir mayor cantidad de objetos que vienen dados por firmas espectrales.

Pérez y Muñoz (2003) explica que la resolución temporal se define como la periodicidad en la que un satélite tarda en volver a un mismo punto en la superficie de la tierra y esta depende del tipo de órbita, ángulo de barrido y velocidad del satélite. La resolución angular es la capacidad que posee un sensor en recolectar imágenes con cierto ángulo de inclinación, esto es de gran importancia para obtener imágenes estereoscópicas y consigo un modelo digital del terreno (Sabins, 2007).

2.1.2 Landsat

Durante las misiones Landsat se han creado 8 satélites, Landsat 7 con sensor ETM+ y Landsat 5 con sensor TM son uno de los satélites de gran interés por el número de bandas espectrales que lo constituyen. Estos poseen 7 bandas que ocupan el espectro visible hasta el infrarrojo medio (USGS, 2013). La principal diferencia entre estos dos tipos es que Landsat 7 presenta una banda pancromática con resolución espacial de 15 m y una banda termal con resolución espacial de 60 m (Sobrino et al., 2000). Este satélite cubre una extensión de 180*175 km² y en la mayoría de los estudios se los utiliza para identificación del uso de suelo, estudios multitemporales, entre otras.

2.1.3 Corrección de imágenes satelitales

Los sensores recolectan información de imágenes satelitales, no obstante, debido a que se tiene una atmósfera terrestre constituida por vapor de agua, gases, entre otros; que alteran o interfieren con los objetos en tierra. Existen tres tipos de correcciones que reducen las perturbaciones del medio: radiométrica, geométrica y atmosférica; cada una cumple una función distinta para poder recuperar la mayor cantidad de información posible (Rani et al., 2017).

2.1.3.1 Corrección radiométrica

Esta corrección tiene como objetivo restaurar los píxeles que se encuentran perdidos y además ayuda a corregir el bandeo de las imágenes satelitales. La corrección de estos píxeles tiene como principio la estimación del valor perdido a través de los píxeles que se encuentren en las líneas posteriores y anteriores (Cruz & Takashi, 2015)

2.1.3.2 Corrección geométrica

En la georreferenciación de imágenes satelitales cada píxel debe contener su localización en un sistema de coordenadas para que interactúe con otros archivos en un entorno SIG según (Cruz & Takashi, 2015). Este proceso provoca una dispersión por lo que es de suma importancia realizar corrección orbital y con la finalidad de disminuir aún más el error del posicionamiento de la imagen se debe utilizar puntos de control (Pérez & Muñoz, 2003).

2.1.3.3 Corrección atmosférica

La corrección atmosférica permite recuperar la radiancia real de los objetos observados por el satélite, existen algunos tipos de corrección atmosférica como por ejemplo la herramienta SPEAR. Esta sustrae los objetos oscuros y tiene como propósito buscar el valor de píxel más bajo en cada banda espectral para restar este valor a cualquier valor mayor a cero que en primera instancia contenía dispersión atmosférica (HARRIS Geospatial Solutions, 2020).

2.1.4 Análisis multiespectral

El análisis multiespectral viene descrito como un método empírico donde ocurre una combinación algebraica de bandas espectrales usando sus valores de reflectancia o niveles digitales. Si las bandas con las que trabaja cada índice poseen errores se tendrá un resultado con mayor error (Pérez & Muñoz, 2003).

2.1.4.1 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Es un índice de vegetación que obtiene información de la vegetación partiendo de las distintas longitudes de onda. Es de gran utilidad ya que minimiza las perturbaciones del medio como la irradiancia solar, propiedades del suelo, etc. Para obtener el NDVI se calcula la relación entre la resta de la banda infrarroja y roja, y la suma de la banda infrarroja y roja (Pearson & Miller, 1972).

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red)$$

2.1.4.2 Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI)

Es uno de los índices espectrales que permite al operador distinguir el agua de la tierra, éste identifica claramente los cuerpos húmedos mediante la clasificación de la información, este método es empleado por Ghosh et al., (2015). Se utilizan las bandas del infrarrojo cercano y la banda del infrarrojo corto como se muestra en la siguiente fórmula:

$$NDWI = (NIR - SWIR)/(NIR + SWIR)$$

2.1.5 Métodos de clasificación

2.1.5.1 Clasificación de la mínima distancia (MDC)

Este método calcula y extrae el vector medio de cada objeto observado para luego obtener la distancia de la clasificación del vector espectral del píxel a cada vector medio. Se dividen los píxeles clasificados en clases que tengan la menor distancia por comparación (Yu et al., 2019).

2.1.5.2 Máquina de soporte vectorial (SVM)

De acuerdo con Yu et al. (2019) es un método estadístico que tiene como principio básico construir un clasificador que maximice el intervalo entre una clase y otra para obtener una mejor generalización y mayor precisión en la clasificación.

2.2 Cobertura y uso del suelo

Jansen y Gregorio (2000) definen la cobertura de suelo como “la cobertura biofísica que se observa sobre la superficie de la tierra”. La información adquirida a través de sensores remotos incluye entidades como agua, vegetación, sedimentos, infraestructura producto de actividades antrópicas, entre otras.

Para la interpretación de estas coberturas por medio de imágenes de sensores remotos, de acuerdo a Valero et al. (2015) se debe tomar en consideración “criterios como: forma, tamaño, textura, tonalidad, asociación contextual, entre otras de los objetos diferenciados en la imagen”. Las imágenes obtenidas de sensores remotos representan datos cualitativos que resultan útiles al momento de caracterizar, delimitar y reconocer, coberturas de secuencias pasadas, lo que a su vez podrá ser analizado para identificar cambios espacio-temporales de las entidades.

2.3 Modelo Digital de Elevación (DEM)

Gandhi & Sarkar (2016) definen un DEM como “un conjunto de datos cartográficos digitales en tres coordenadas (XYZ), derivados de líneas de contorno o métodos fotogramétricos”, representan la elevación de un conjunto de puntos de interés sobre el terreno. Los DEM pueden ser representados en formato ráster o *Triangular Irregular Network* (TIN). Los ráster pueden reconocerse como DEM calculados o secundarios, mientras que los TIN son medidos o primarios. La teledetección puede resultar muy útil para la creación de un DEM, pues esta puede ser adquiridos “mediante técnicas como fotogrametría, LiDAR, IfSAR, agrimensura”, pero siempre es recomendable que esta información se complemente con datos topográficos (Gandhi & Sarkar, 2016).

2.4 Validación de modelos

La importancia de la fase de validación de cualquier modelo radica en que permite reconocer que tan cercanas se encuentra las observaciones, el análisis y/o las predicciones que se planteen en el estudio con las condiciones reales. La forma más sencilla de reconocer la validez de un modelo es comparar la exactitud de las estimaciones con algún periodo de tiempo del cuál se tenga conocimiento certero de las condiciones estimadas, basado en técnicas de observación y comparación (Gómez, 2009).

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

En el flujograma (Figura 3.1) se muestran las dos fases en que se dividió la metodología: La recopilación de información multitemporal y el procesamiento de información. Se describe detalladamente cada una de las fases y se presenta inicialmente algunas alternativas para la metodología seleccionada.

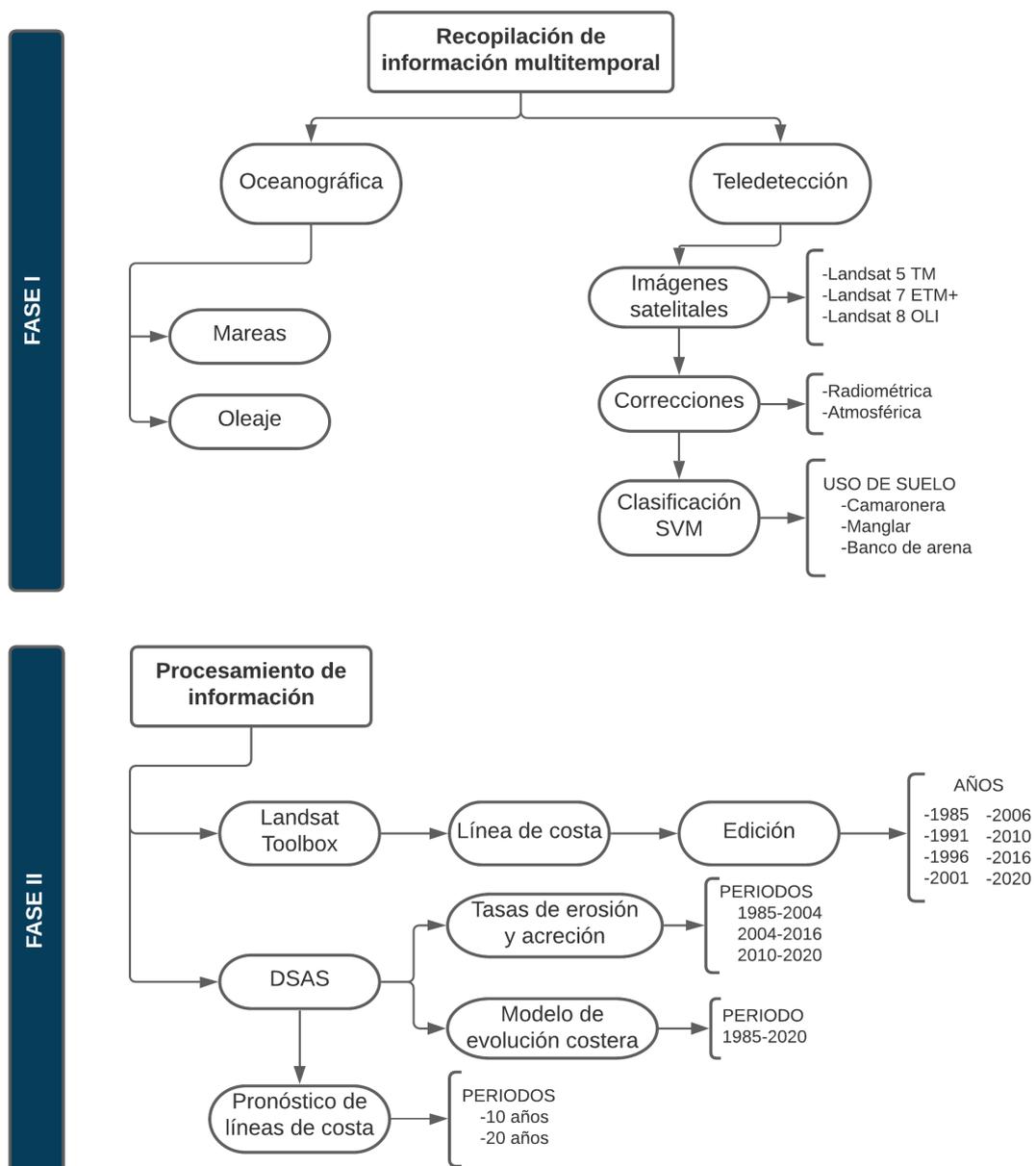


Figura 3.1 Flujograma de la metodología aplicada a el análisis multitemporal de la variación de la línea de costa.

Para cumplir con el propósito de obtener un modelo de erosión costera, existen diversas técnicas. La obtención de la topografía y batimetría en conjunto al muestreo de sedimentos de fondo, en suspensión y de playa es una metodología de gran utilidad para el análisis de la dinámica litoral usada por Martillo & Benitez (2002) y Thom & Hall (1991). Consiste en el levantamiento batimétrico a lo largo de la costa, desde la línea de costa hasta la zona *offshore*; posteriormente la realización de perfiles dispuestos perpendicularmente a la línea de costa.

De acuerdo con Morante et al. (2012) la influencia de los procesos de erosión y acreción puede determinarse gracias a varios estudios de laboratorio sobre sedimentos. Análisis como, “la determinación granulométrica por procesos de tamizado y el reconocimiento de composición mineral por difracción de rayos X” fueron realizados en Jambelí con resultados concluyentes. El archipiélago de Jambelí cuenta con dos tipos de sedimentos, aquellos de aporte fluvial, y los sedimentos marinos, más gruesos y con menor contenido de materia orgánica y carbono. Estos datos fueron analizados y se concluyó que, playas con pendiente pronunciada, como ocurre en Jambelí, tienden a erosionarse; además el tamaño de los sedimentos es un indicador de la fuerza con que el oleaje y las mareas afectan la dinámica costera.

Varios estudios en donde se usan imágenes satelitales han probado la eficiencia en el entendimiento de la variación de la línea de costa (R. C. Daniels, 2012; Duarte et al., 2018; Ghosh et al., 2015; Mujabar & Chandrasekar, 2013). Entre ellos el método utilizado por Ghosh et al. (2015) utiliza el algoritmo del índice de agua de diferencia normalizada modificado (MNDWI) mediante la combinación de las bandas verde e infrarrojo cercano para diferenciar la tierra del agua.

El estudio que más se destaca es el artículo “*Short-time análisis of shoreline base on RapidEye satellite images in the terminal area of Pecém Port, Ceará, Brazil*” en donde se aplican dos técnicas para la detección de cambios en la línea de costa, DSAS y *Change Polygon Approach*. La herramienta DSAS es la más eficiente en la realización de análisis cualitativos para estudios a una escala regional, mientras que

la segunda herramienta resulta ser mejor en análisis cuantitativos y en áreas particulares (Duarte et al., 2018).

3.1 Recopilación de información multitemporal

En este proyecto, imágenes satelitales de 8 intervalos de tiempo (Tabla 3.1) fueron usadas para cuantificar los cambios a lo largo de la línea de costa del Archipiélago de Jambelí: tres de Landsat TM adquiridas en marzo 1985, abril 1991 y octubre 1997; cuatro de Landsat ETM+ adquiridas en febrero 2001, abril 2004, marzo 2010 y abril 2020; y una de Landsat OLI adquirida en octubre 2016 en el portal de la USGS *Earth Explorer*. El porcentaje de nubosidad se lo tomó en base al *land cloud cover* de la imagen satelital.

Tabla 3.1 Información base de imágenes satelitales Landsat TM, ETM+ y OLI.

No.	Fecha	Hora	ID	%Nubosidad
	mm/dd/aaaa			
1	3/27/1985	15:03:00	LM05_L1TP_011062_19850327_20180406_01_T2	1
2	4/29/1991	14:55:13	LT05_L1TP_011062_19910429_20170127_01_T1	4
3	10/6/1997	15:06:00	LT05_L1TP_011062_19971006_20161229_01_T1	30
4	2/11/2001	15:23:28	LE07_L1TP_011062_20010211_20170206_01_T1	3
5	4/8/2004	15:22:00	LE07_L1TP_011062_20040408_20170121_01_T1	8
6	3/24/2010	15:25:14	LE07_L1TP_011062_20100324_20161216_01_T1	33
7	10/10/2016	15:33:00	LC08_L1TP_011062_20161010_20180130_01_T1	24
8	4/20/2020	15:08:03	LE07_L1TP_011062_20200420_20200516_01_T1	3

Datos de mareas fueron obtenidos de la estación de Puerto Bolívar localizada en la provincia de El Oro en las coordenadas UTM 610946,1 N y 9639493,8 S en el portal del INOCAR. Se obtuvo la altura en metros de la pleamar y bajamar para los días en que fueron adquiridas las imágenes satelitales (Tabla 3.2), además de las tablas de predicciones diarias de mareas en el Ecuador-Puerto Bolívar del año 2016 y 2020 adjuntada en la sección de Apéndice C1.

Tabla 3.2 Mareas en los días de la adquisición de las respectivas imágenes satelitales obtenidas (P: Pleamar y B: Bajamar) [INOCAR, s.f.].

Fecha	Hora (hh:mm)	Altura (metros)
4/8/2004	0:16	-0,01 B
	6:45	3,12 P
	12:34	0,26 B
	18:58	3,14 P
3/24/2010	4:31	0,77 B
	11:01	2,45 P
	17:16	1,07 B
	23:24	2,38 P
10/10/2016	4:51	1,06 B
	11:06	2,21 P
4/20/2020	3:30	2,63 P
	9:18	0,77 B
	15:48	2,84 P
	21:49	0,66 B

3.1.1 Tratamiento preliminar de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales poseen un área muy extensa en comparación a la zona de estudio por motivos de eficiencia se procedió a reducir el tamaño para que el software tenga menor información que procesar y no se vea afectada en su rendimiento. En el caso de las imágenes Landsat 7 ETM+ se procedió a corregir mediante la herramienta *Gapfill*, método de triangulación de relleno, los errores de escaneo del satélite.

Para todas las imágenes se realizó la corrección radiométrica y atmosférica en donde se pasó de nivel digital a reflectancia, además se sustrajo los objetos oscuros a su efectividad para la corrección de neblina en datos multiespectrales. El cálculo del NDWI dio como resultado una imagen en escala de grises en donde se realzan los cuerpos de agua.

3.2 Procesamiento de información

3.2.1 Generación de líneas de costa

Se trabajó con la extensión de ArcGIS, *Landsat toolbox* para la obtención de las líneas de costa a partir las imágenes satelitales multitemporales del Archipiélago de Jambelí (Figura 3.2). De acuerdo con Daniels (2012) la combinación idónea de bandas para la extracción de líneas de costa incluye el NDVI y el *Tasseled Cap*.

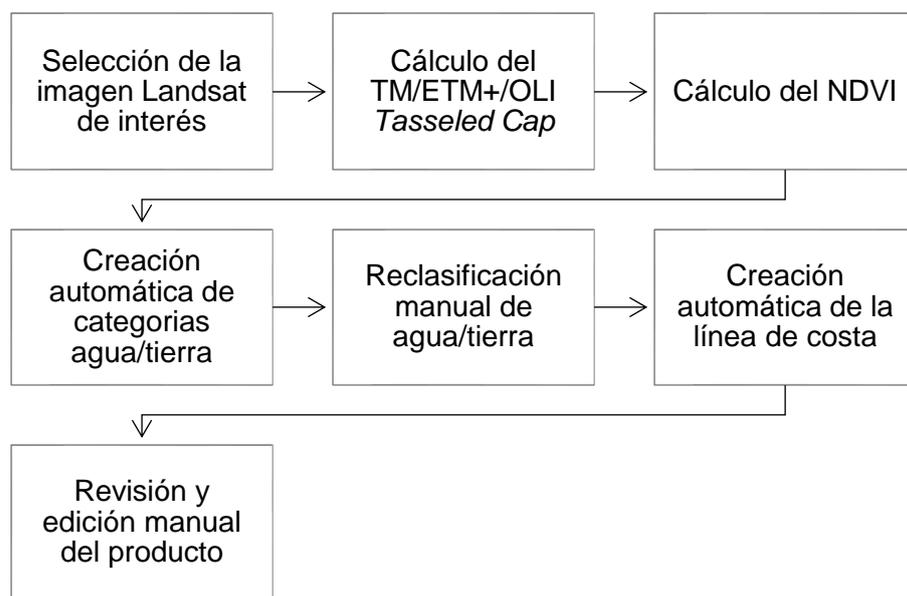


Figura 3.2 Proceso esquemático para la generación de líneas de costa.

Se obtiene el *Tasseled Cap*, una función que detecta los cambios de desarrollo urbano y de vegetación mediante el análisis de sistemas de sensores, con la combinación de las bandas RGB, NIR, SWIR-1 y SWIR-2 para Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+ (bandas 1-5 y 7) y para Landsat 8 OLI (bandas 2-6 y 7). Mientras que, el NDVI emplea la combinación de la banda roja y la NIR; además normaliza los valores de las bandas del 0-255. Con la entrada del *Tasseled Cap* y del NDVI la herramienta se obtuvo automáticamente la clasificación del ráster en 10 clases, que se reclasificó en dos clases únicas (tierra/agua).

La vectorización de esta imagen reclasificada se convirtió en polilínea a partir del vector poligonal (Ghorai & Mahapatra, 2020), aunque este puede requerir ediciones manuales. En el Archipiélago Jambelí las zonas especialmente

problemáticas fueron las entradas estuarinas y ciertas distorsiones en las bandas generadas por el error de escaneo en las imágenes Landsat 7 ETM+; los bancos de arena y zonas de turbidez cercanas a la línea de costa también se modificaron.

3.2.2 Usos de suelo

Este proyecto planteó la clasificación de uso de suelo para las entidades de agua, manglar, camaronera y banco de arena, aplicando la clasificación supervisada SVM. Posteriormente se exportó el resultado a la herramienta ArcMap para la conversión de polígonos, edición de los mismos ajustándose a la información observada en las imágenes satelitales y el cálculo de áreas. La clasificación de uso de suelo a través de los periodos de tiempo permite un mejor análisis en cuanto a la influencia antrópica en el cambio de la línea de costa.

3.2.3 Tasas de erosión y acreción

Con la herramienta para ArcGIS, *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*, desarrollado por la USGS se automatizó la obtención de los transectos entre las líneas de costa, las distancias entre ellas y las tasas de erosión y acreción (Figura 3.3) (Himmelstoss et al., 2018).

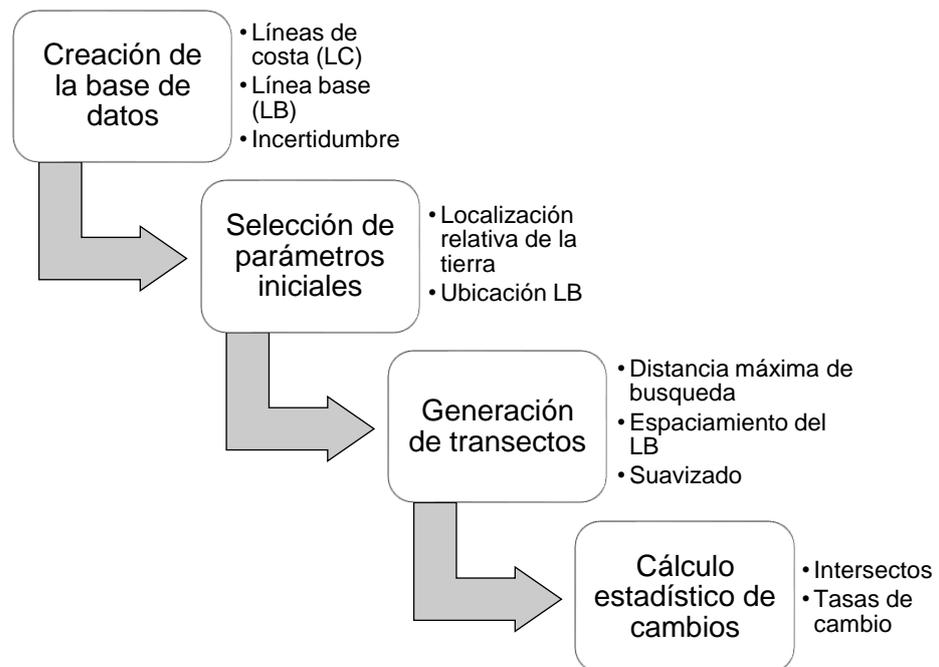


Figura 3.3 Proceso esquemático de la obtención de tasas de acreción y erosión.

Se dividió los datos en tres periodos de interés: 1985-2004, 2004-2016, 2010-2020. En la base de datos, para el *input* de las líneas de costa (LC) se consideró sólo aquellas incluidas en cada periodo; con el *merge* y *buffer* de estas líneas se generó la línea base (LB). La distancia del *buffer* depende de la forma relativa entre las LC (especialmente en las curvas). Se creó una línea base común para los tres periodos, a partir de un *buffer* de 50 m del *merge* realizado con todas las líneas de costa analizadas. La LB es el *trace* de la parte interna de este *buffer*. La incertidumbre fue de 30 m.

En la selección de los parámetros, de acuerdo a la dirección de la LB la tierra estaba ubicada a la derecha y la LB estaba *onshore*. Los demás datos se completaron de acuerdo al manual de uso. Para la generación de los transectos se solicitó el espaciado de los mismos a lo largo de la LB, que fue de 50 m para los tres periodos. La distancia máxima de búsqueda se colocó midiendo la máxima distancia entre las LC, visualmente, en los tres periodos, esta distancia se identificó en la punta sur del archipiélago. El suavizado fue de 500 de acuerdo a las recomendaciones del manual de uso de la USGS.

Posteriormente, se calcularon los datos estadísticos de manera automática, como las distancias entre las LC, y las tasas de cambio de cada transecto. También se reclasificó, de acuerdo a una escala de colores, para mejor comprensión visual de los resultados; rojo en zonas erosionadas y azul en las acrecionadas. De acuerdo con Himmelstoss et al. (2018), "cálculos de posición relativa entre líneas como el envolvente de cambio de la LC (SCE), el movimiento neto de la LC (NSM), y la tasa de punto final (EPR) requieren sólo dos líneas, mientras que las regresiones estadísticas como la tasa de regresión lineal (LRR) y la regresión lineal ponderada (WLR) requieren de tres a más LC".

3.2.4 Predicción de la evolución de la línea de costa

Las predicciones estimadas a 10 y 20 años, se realizaron también con la herramienta DSAS; aunque la opción, que se basa en el *Kalman Filter* (Kalman, 1960) está en fase beta. Esto se debe que las estimaciones extrapolan el modelo de regresión lineal, por lo que dependen de la incertidumbre de los datos y la

confiabilidad de las líneas de costa de los años anteriores. Además, hay una multitud de factores que pueden modificar las condiciones del área de estudio, como la variabilidad climática, los cambios de los factores oceanográficos y las modificaciones antrópicas.

“El *Kalman Filter* minimiza el error entre las posiciones de la línea de costa modeladas y observadas para mejorar el pronóstico, incluyendo la actualización de las tasas y las incertidumbres” (Long & Plant, 2012). Para que el modelo de regresión lineal tenga el mejor ajuste posible para el Archipiélago de Jambelí se realizó la estimación considerando todas las líneas de costa en el periodo 1985-2020. La herramienta proporciona la regresión lineal, el pronóstico Kalman y un *buffer* con la incertidumbre de la estimación.

3.3 Corrección de línea de costa

La corrección de línea de costa (Db) (Ecuación 3.4) partió de datos de bajamar y pleamar, tiempo y altura en metros, en donde el tiempo de ambos fueron el límite superior e inferior de la hora de la captura de la imagen satelital (Figura 3.4). Mediante la revisión de información bibliográfica se pudo obtener varios datos de pendientes de la costa occidental del Archipiélago de Jambelí y se utilizó un promedio de pendiente de 4.28° para todas las playas consideradas en el proyecto. Los datos fueron estandarizados a la baja mar.

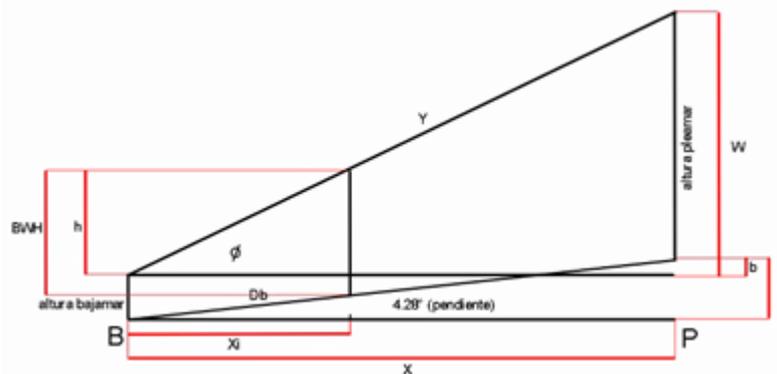


Figura 3.4 Esquema gráfico para el cálculo de la corrección de la distancia base Db .

La variable “ x ” se la calculó suponiendo que en el transcurso de una hora la marea sube un metro, también se calculó de la misma manera la variable “ x_i ”. Para

obtener la diferencia de alturas entre la bajamar y pleamar (variable “a”) considerando la pendiente se procedió a utilizar la ecuación 3.1:

$$a = \tan(4.28^\circ) * x \quad (3.1)$$

x: distancia horizontal entre pleamar y bajamar

Mientras que “b” se lo calculó mediante la diferencia entre “a” y la altura de bajamar. Por otro lado, la altura “w” se la obtuvo mediante la suma de “b” y la altura de pleamar. Para hallar la altura “h” se procedió a hallar el ángulo phi aplicando la ecuación 3.2 para luego calcular la altura de marea en la hora de captura de la imagen satelital mediante la ecuación 3.3. Por último, se calculó la altura de rompiente de ola a través de la suma de la altura de bajamar y la altura de marea en la hora de captura de la imagen satelital.

$$\phi = \arctan\left(\frac{w}{x}\right) \quad (3.2)$$

$$h = x_i * \tan(\phi) \quad (3.3)$$

$$Db = x_i / \cos(\phi) \quad (3.4)$$

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Evolución costera

El Archipiélago de Jambelí se caracteriza por costas irregulares y bajas formadas por procesos deltaico-estuarinos. Se aprecian principalmente llanos de marea en bajamar y manglares, costas sin playas con vegetación de agua salobre (Rosero, 2012).

La zona de estudio forma parte del graben de Jambelí y es una barra constituida por la acumulación de sedimentos desde los ríos Guayas y Jubones. Los cambios en las playas son principalmente controlados por las olas. Las zonas de manglares se observan en zonas de baja energía. El reemplazo de los manglares que actúan como barreras naturales en el archipiélago facilitan el ingreso del mar en las zonas más bajas de la costa y aquellas con mayor dinamismo (Rosero, 2012).

La textura de los sedimentos en el archipiélago es variada y depende del origen de los sedimentos y de su transporte. De acuerdo a (Rosero, 2012), en el periodo 1972-1975, predominaron los sedimentos del tamaño arena y arena-limosas. Mientras que, entre 2001-2005 los sedimentos fueron de tamaño limo a limo-arenosos, estos últimos ubicados en la zona del estero Santa Rosa. Finalmente, en el periodo 2006-2009 los sedimentos predominantes de fondo marino fueron arenas y limos. Para presentar los resultados se dividió el área de estudio en seis playas y 5 sectores limitados por transectos como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Resumen de los sectores y transectos incluidos a las playas del Archipiélago de Jambelí.

Playas	Sector(es)	Transectos	
		Inicio	Fin
Jambelí	A, B	434	635
"Las dos hermanas"	E	299	427
Las Huacas	E	166	298
"Las Casitas"	-	24	155
Costa Rica	C2	1861	1945
San Gregorio	C1, D	1732	1860

En el Apéndice A1 se presenta un gráfico de los transectos iniciales y finales más representativos para las seis playas contempladas para el análisis del archipiélago.

Se calculó la distancia desde la línea de costa obtenida a partir de la imagen satelital hasta el punto en donde la marea señala la línea de costa real. Se recopiló datos con diferentes ángulos de inclinación en la zona intermareal de la playa de Jambelí como se muestra en el Apéndice B1. Para la corrección de la distancia base se utilizó la mediana de estos datos con un ángulo de 4,28° para toda el área de estudio.

La distancia Db se la calculó tomando como referencia a la hora de bajamar. Cuando la diferencia entre la hora de la imagen satelital y la hora de marea en bajamar es mayor, la corrección Db es mayor. La altura de rompiente de ola se correlaciona de manera directa con la corrección Db. El ambiente fue considerado de alta energía cuando el incremento de la marea y el oleaje hacia la costa coinciden (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Correcciones de la distancia base (Db) a partir de los datos de marea, incluyendo la altura del rompimiento de las olas y la energía del oleaje.

Año	Hora imagen sat	Hora pleamar	Altura pleamar (m)	Hora bajamar	Altura bajamar (m)	Delta Altura marea (m)	Correc. Db (m)	Breaking wave high (m)	Energía del oleaje
2004	15:22	18:58	3,14	12:34	0,26	2,88	2,81	1,73	Alta
2010	15:25	11:01	2,45	17:16	1,07	1,38	1,86	1,62	Baja
2016	15:33	11:06	2,21	17:19	0,9	1,31	1,77	1,40	Baja
2020	15:08	15:48	2,84	9:18	0,77	2,07	5,85	3,06	Alta

En el Apéndice B1 se muestra una tabla de las pendientes de la playa Jambelí recopilado de varios autores. También aparecen las variables requeridas para obtener las correcciones de distancia base (Db) para los años 2004, 2010, 2016 y 2020.

A partir del año 1985 hasta el 2001 no se obtuvieron datos oceanográficos, por lo tanto, no se pudo corregir la distancia base (Db). Se calculó el área de playa (Tabla 4.3) a partir de la longitud y espesor promedio de la misma. Se midió el espesor máximo, medio y mínimo de las playas como se muestran en el Apéndice B1. Para el año 1985 y el año 1991 la playa Jambelí y San Gregorio presentaron el área máxima respectivamente, mientras que la playa Costa Rica se mantuvo como la playa de menor extensión para ambos años.

Tabla 4.3 Medidas de longitud, espesor y corrección de la distancia base en las playas de Jambelí para los años 1985-1991.

Playa	1985				1991			
	Longitud (m)	Espesor (m)	Db (m)	Área (m ²)	Longitud (m)	Espesor (m)	Db (m)	Área (m ²)
Jambelí	11002,23	69,24	-	761757,6	10817,4	44,81	-	484691,6
"Las dos hermanas"	6546,77	56,82	-	372009,2	6382,07	37,86	-	241646,4
Las Huacas	8107,07	61,14	-	495666,3	8430,8	37,36	-	314974,7
"Las casitas"	6503,23	46,87	-	304784,7	7317,98	26,67	-	195194,9
Costa Rica	4827,20	35,49	-	171333,3	5054,81	33,97	-	171711,9
San Gregorio	9618,06	44,37	-	739212	7102,43	110,79	-	786878,2

La playa Costa Rica y San Gregorio fueron las playas de menor y mayor extensión respectivamente para los años mostrados en la Tabla 4.4. La playa Jambelí tuvo mayor extensión de playa para el año 2004 y asimismo la playa San Gregorio para el año 2010 (Tabla 4.5). Por otro lado, en el año 2004 y 2010 la playa Costa Rica tuvo la menor área de playa en el archipiélago.

Tabla 4.4 Medidas de longitud, espesor y corrección de la distancia base en las playas de Jambelí para los años 1997-2001.

Playa	1997				2001			
	Longitud (m)	Espesor (m)	Db (m)	Área (m ²)	Longitud (m)	Espesor (m)	Db (m)	Área (m ²)
Jambelí	10636,68	68,71	-	730846,3	10489,57	37,64	-	394862,4
"Las dos hermanas"	6036,06	82,55	-	498276,4	6096,46	31,06	-	189376,4
Las Huacas	8161,92	40,78	-	332870,2	8546,75	21,39	-	182815
"Las casitas"	6500,54	82,45	-	535991,1	7526,41	18,46	-	138912,4
Costa Rica	4783,95	61,14	-	292490,7	4679,76	25,93	-	121346,2
San Gregorio	8150,34	137,57	-	1121242	7622,46	57,74	-	440120,8

Tabla 4.5 Medidas de longitud, espesor y corrección de la distancia base en las playas de Jambelí para los años 2004-2010.

Playa	2004				2010			
	Longitud (m)	Espesor (m)	Db (m)	Área (m ²)	Longitud (m)	Espesor (m)	Db (m)	Área (m ²)
Jambelí	10163,29	56,79	2,808	605676,2	10159,23	37,59	1,855	400766,5
"Las dos hermanas"	6133,89	25,60	2,808	174270,8	5507,4	32,78	1,855	190749,8
Las Huacas	8110,38	7,64	2,808	84708,83	8273,49	1,72	1,855	29579,16
"Las casitas"	5972,7	9,29	2,808	72276,62	7843,2	1,09	1,855	23073,44
Costa Rica	4756,96	7,63	2,808	49652,32	4732,4	1,19	1,855	14395,2
San Gregorio	9074,51	48,28	2,808	463597	11529,01	34,29	1,855	416679,6

Para los años 2016 y 2020 la playa con mayor área fue la de San Gregorio y las de menor extensión fueron Costa Rica y Las Casitas respectivamente (Tabla 4.6).

Tabla 4.6 Medidas de longitud, espesor y corrección de la distancia base en las playas de Jambelí para los años 2016-2020.

Playa	2016				2020			
	Longitud (m)	Espesor (m)	Db (m)	Área (m ²)	Longitud (m)	Espesor (m)	Db (m)	Área (m ²)
Jambelí	10815,99	51,05	1,772	571281,9	10585,4	23,23	5,850	307819,7
"Las dos hermanas"	6101,38	16,49	1,772	111421	8111,43	6,02	5,850	96306,85
Las Huacas	8004,54	6,17	1,772	63542,23	6105,6	4,13	5,850	72283,36
"Las casitas"	6248,61	10,04	1,772	73806,07	7240,66	4,50	5,850	47857,18
Costa Rica	4609,54	3,89	1,772	26097,41	4625,53	3,68	5,850	117590
San Gregorio	9797,87	73,67	1,772	739167,1	12343,71	58,28	5,850	791556,6

En la Tabla 4.7 se muestra el crecimiento neto en km² y la tasa para los tres periodos antes de las correcciones. En el primer periodo predominó la acreción mientras que en los otros dos periodos hubo mayor erosión, aunque en el último periodo la tasa de crecimiento neto fue menor. En la Tabla 4.8 para el periodo 1985-2004 todas las playas se erosionaron a excepción de la playa San Gregorio, siendo este periodo el de mayor decrecimiento neto. El periodo 2004-2016 hubo acreción principalmente por los procesos de acreción en la playa San Gregorio. En el periodo 2016-2020 predominaron los procesos erosivos debido a que la acreción en la playa San Gregorio fue menor al periodo anterior.

Tabla 4.7 Área de los cambios en el área de erosión y acreción para los periodos analizados.

Periodo		Erosión (km ²)	Acreción (km ²)	Crecimiento neto (km ²)	Tasa de crecimiento neto (km ² /año)
1985	2004	3,146	7,785	4,639	0,232
2004	2016	7,219	2,992	-4,227	-0,352
2016	2020	4,698	4,052	-0,646	-0,162

Tabla 4.8 Crecimiento de playa corregidos para los periodos 1985-2004, 2004-2016 y 2016-2020.

Playa	Área por periodo (km ²)		
	1985-2004*	2004-2016	2016-2020
Jambelí	-0,156	-0,034	-0,263
"Las dos hermanas"	-0,198	-0,063	-0,015
Las Huacas	-0,411	-0,021	0,009
"Las casitas"	-0,233	0,002	-0,026
Costa Rica	-0,122	-0,024	0,091
San Gregorio	0,037	0,276	0,052
Crecimiento Neto	-1,082	0,135	-0,152

*Los datos del periodo de 1985-2004 no incluyen las correcciones de Db (1985).

Para los tres periodos las tasas LRR en las seis playas se obtuvieron a partir de los transectos tal como se muestra en la Tabla 4.1. Entre los transectos 434 y 635 predominaron los procesos erosivos en los periodos 1985-2004 y 2004-2016, caso contrario a lo que sucedió en el periodo 2016-2020 en la playa Jambelí. La mayor tasa de acreción se presentó durante el primer periodo en la playa San Gregorio. Durante el periodo 2004-2016 solo hubo tasas negativas (erosión) en todas las playas. El cambio lineal de la línea de costa (Tabla 4.9) se calculó a partir de las correcciones realizadas anteriormente de cada año. Se cumplen la misma tendencia de retroceso y avance de la línea de costa en cada playa.

Tabla 4.9 Tasas de regresión lineal (LRR) y el cambio lineal de la línea de costa para los periodos 1985-2004, 2004-2016 y 2016-2020.

Playa	Tasas LRR			Cambio lineal de la línea de costa		
	1985-2004*	2004-2016	2016-2020	1985-2004*	2004-2016	2016-2020
Jambelí	-1,35	-7,93	2,51	-1,20±0,15	-8,02±0,09	3,53±1,02
"Las dos hermanas"	0,52	-4,38	3,11	0,67±0,15	-4,47±0,09	4,13±1,02
Las Huacas	0,03	-0,78	6,28	0,18±0,15	-0,87±0,09	7,30±1,02
"Las casitas"	1,73	-1,19	-7,47	1,88±0,15	-1,27±0,09	-6,45±1,02
Costa Rica	0,08	-1,07	-6,32	0,23±0,15	-1,15±0,09	-5,30±1,02
San Gregorio	6,94	-0,62	-6,29	7,08±0,15	-0,71±0,09	-5,27±1,02

*Los datos del periodo de 1985-2004 no incluyen las correcciones de Db (1985), las incertidumbres para el cambio real de la línea de costa se corresponden al error absoluto.

4.2 Análisis de erosión y acreción costera

Se estimó estadísticamente la influencia de los procesos en cada periodo (Figura 4.1) de acuerdo a los datos de regresión lineal (LRR) y tasa de punto final (EPR) (Figura 4.7).

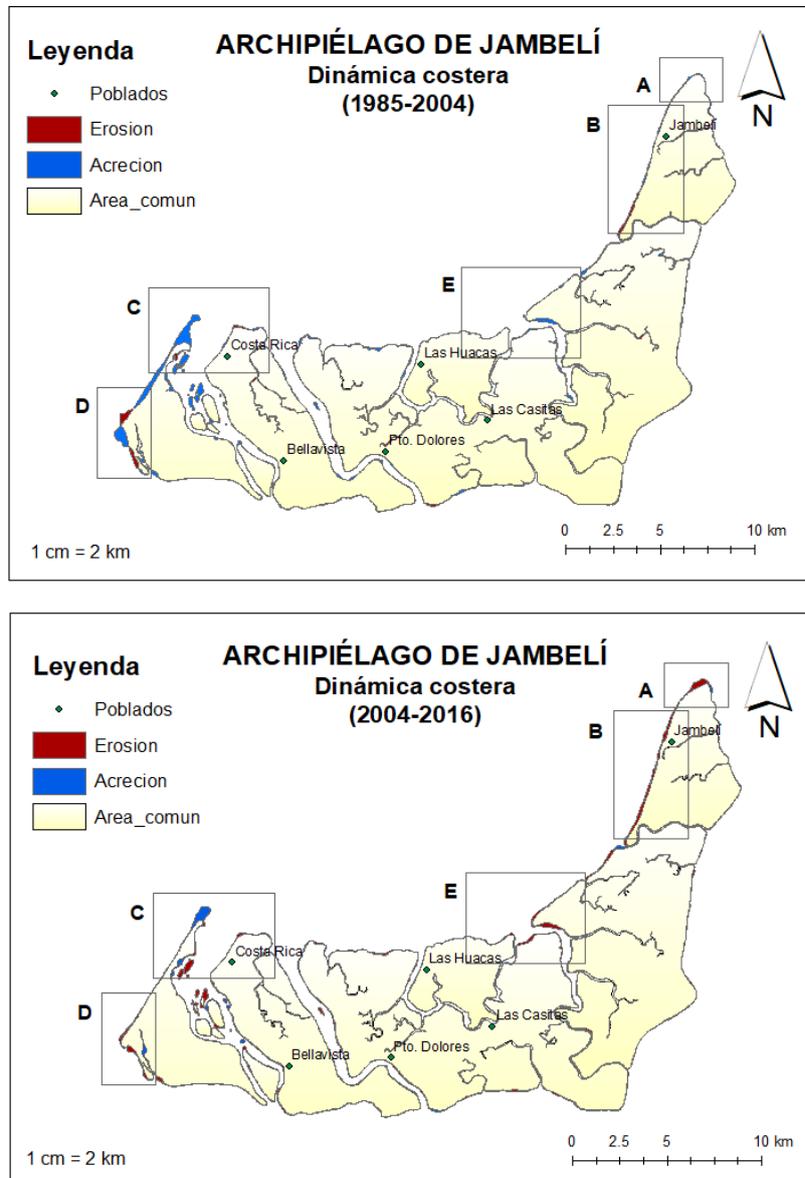


Figura 4.1 Dinámica costera para los años a) 1985-2004 b) 2004-2016.

En el Apéndice A1 se muestra a detalle los gráficos de dinámica costera para los tres periodos, 1985-2004, 2004-2016, y 2016-2020. En la playa Jambelí en el sector A (Figura 4.2) del Archipiélago se observa que durante el periodo 2004-2016 se presentó mayor erosión en la costa occidental, a diferencia de los otros dos periodos, 1985-2004 y 2016-2020, en el que se evidencia muy poca acreción y erosión respectivamente.

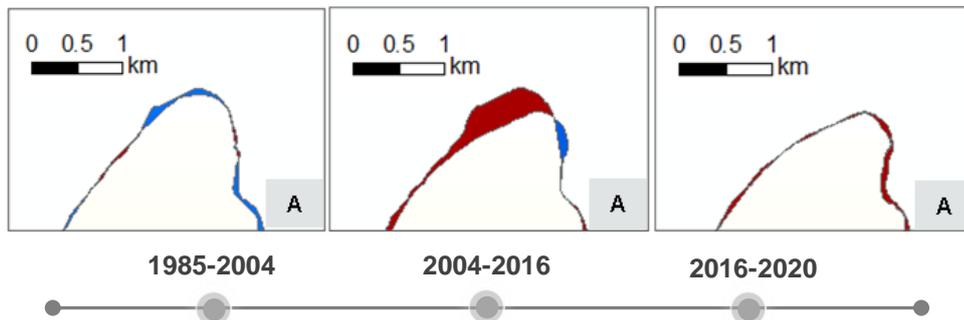


Figura 4.2 Comparación de la zona A en los tres periodos desde 1985-2020.

En la playa Jambelí en el sector B (Figura 4.3), durante el primer periodo, desde 1985-2004, al norte cerca del poblado de Jambelí hubo acreción, mientras que la zona sur resultó erosionada. Durante 2004-2016 la erosión fue continua a lo largo del borde occidental, este proceso tuvo mayor intensidad que en el primer periodo. Mientras que, entre 2016-2020 la intensidad de los procesos erosivos y acrecivos disminuyó.

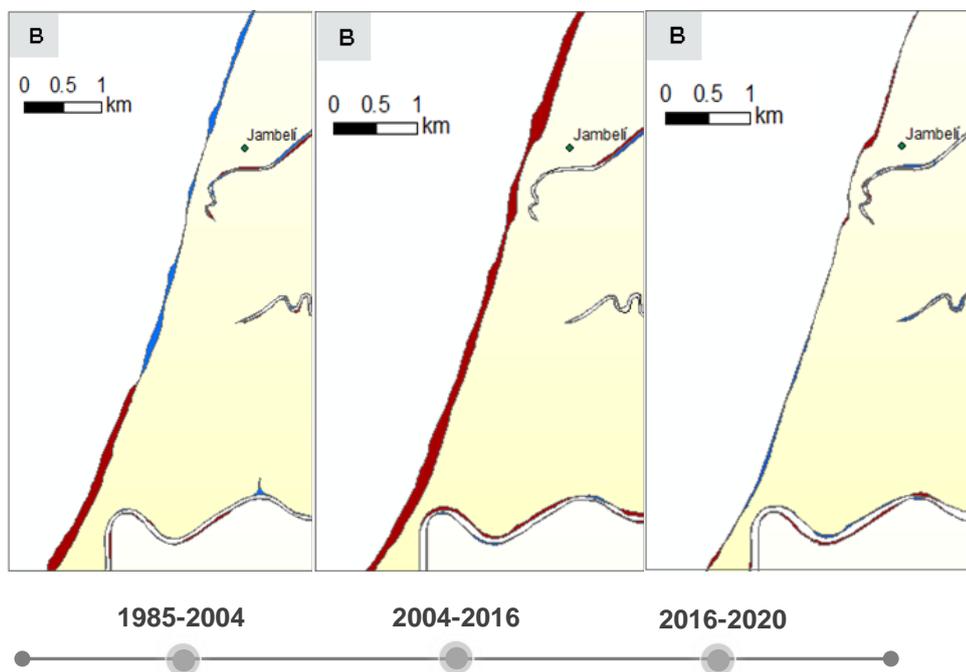


Figura 4.3 Comparación de la zona B en los tres periodos desde 1985-2020.

Los procesos de acreción en la playa San Gregorio en el sector C incrementaron con el transcurso de los años (Figura 4.4). No obstante, en el periodo 1985-2004 se observa que el área de sedimentos acrecionados es mayor con respecto a los otros

periodos, extendiéndose progresivamente en dirección NE. Mientras que en la playa de Costa Rica tuvo una mínima erosión en los periodos restantes.

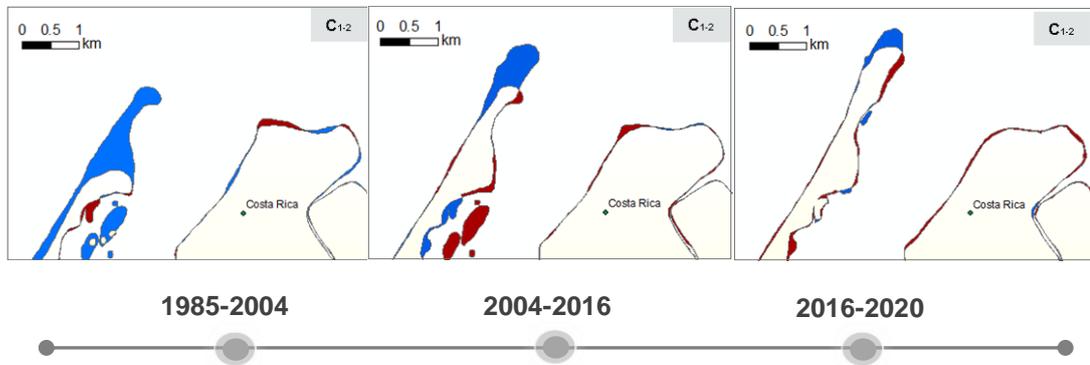


Figura 4.4 Comparación de la zona C₁₋₂ en los tres periodos desde 1985-2020

En la playa San Gregorio en el sector D (Figura 4.5), durante 1985-2004 se aprecia una alternancia en los procesos erosivos y acrecivos, con una intensidad mayor que la presente en los periodos posteriores. Entre el 2004-2016, mayormente se tuvo erosión a lo largo de todo el margen de playa. En el periodo 2016-2020, al nor-occidente hubo erosión, mientras que en la zona sur-occidental se tuvo una mínima acreción.

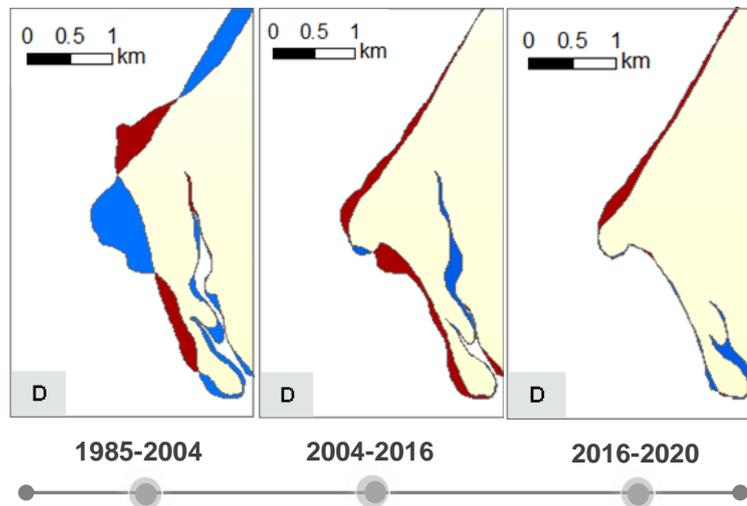


Figura 4.5 Comparación de la zona D en los tres periodos desde 1985-2020.

La playa Las Huacas y Las dos hermanas contenidas en la zona E (Figura 4.6) presentó procesos erosivos mínimos en la zona costera para todos los periodos, sin embargo los sedimentos que fueron acrecionados en el primer periodo en los canales se erosionaron en el periodo 2004-2016. Finalmente, para el periodo 2016-2020 hubo un

desequilibrio en la entrada y salida de sedimentos, siendo los procesos erosivos mayores que los acrecivos (Figura 4.7).

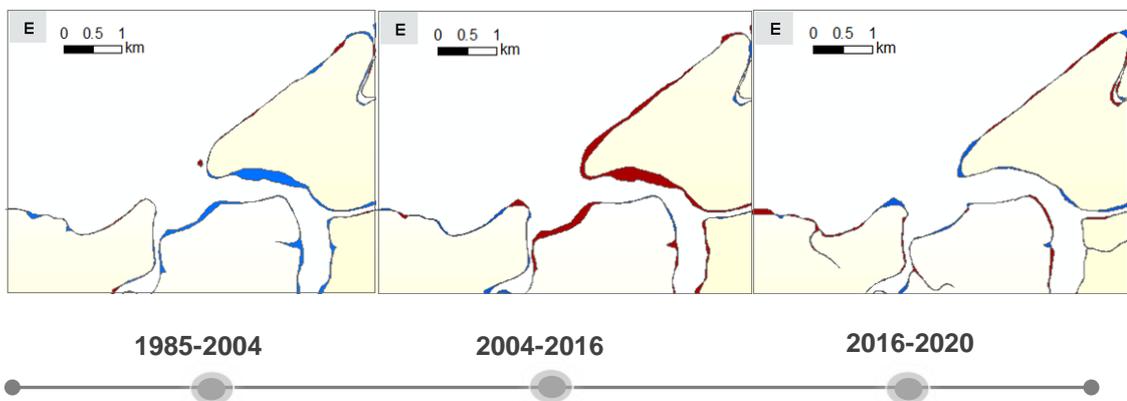


Figura 4.6 Comparación de la zona E en los tres periodos desde 1985-2020.

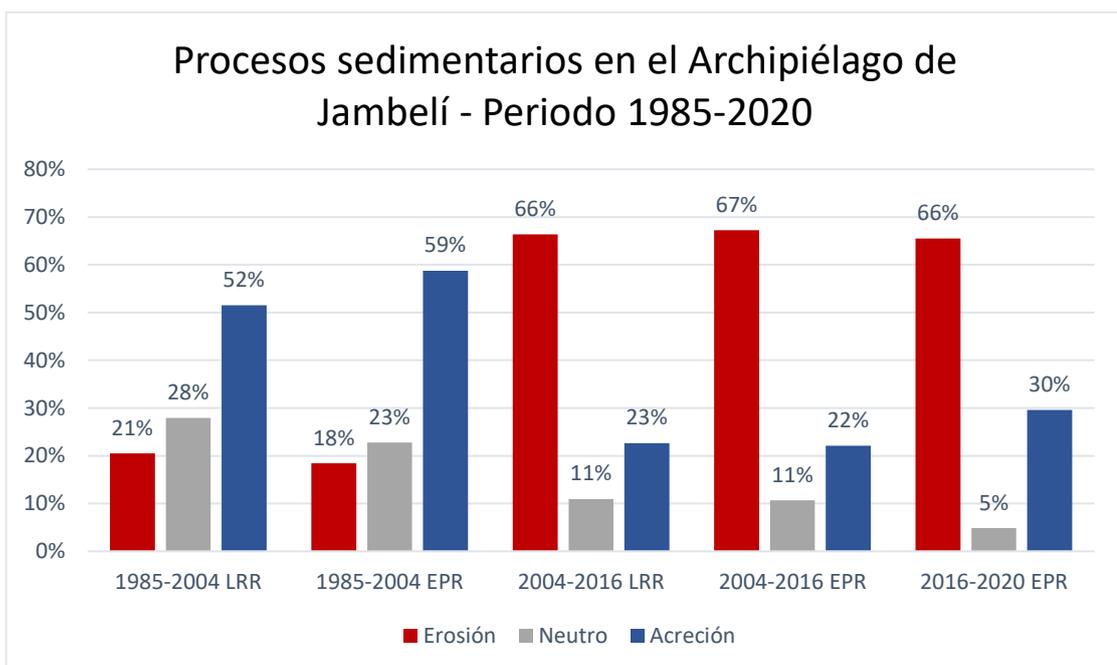


Figura 4.7 Influencia de los procesos de erosión y acreción en los periodos (1985-2004), (2004-2016), (2016-2020), de acuerdo al LRR y EPR obtenidos en DSAS.

PERIODO 1985-2004

La playa de Jambelí en la zona B (Figura 4.8), hubo una erosión mínima al sur del Balneario de Jambelí, la máxima tasa erosiva fue 8 m/año. Por otro lado, se tuvo una acreción en el sector norte y centro con una tasa máxima de 3 m/año.

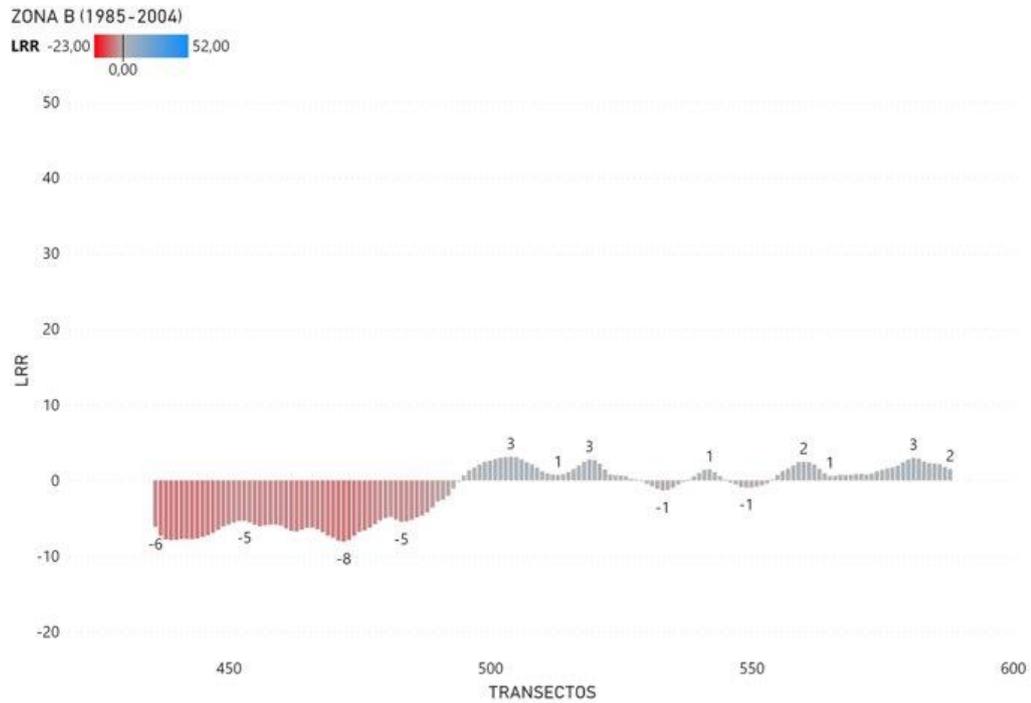


Figura 4.8 Gráfico de barras ID de transectos vs LRR en la zona B, periodo 1985-2004.

La playa de San Gregorio en la zona C₁ (Figura 4.9) registró únicamente acreción, y esta mantuvo un crecimiento constante y progresivo con un pico de 52 m/año junto en la punta sur del Archipiélago de Jambelí.

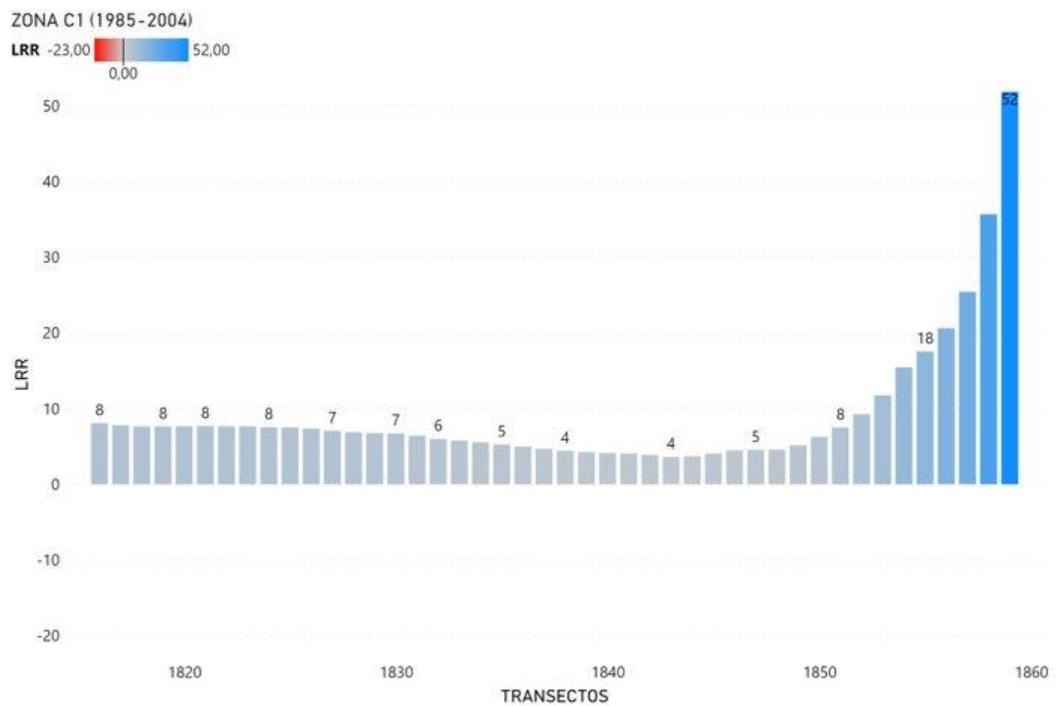


Figura 4.9 Gráfico de barras ID de transectos vs LRR en la zona C₁, periodo 1985-2004.

En la playa San Gregorio en la zona D (Figura 4.10) muestra en alternancia áreas de transectos acrecivos y erosivos, estos transectos no se presentan aislados, sino que se encuentran agrupados en ciertos sectores dando continuidad a los procesos. Las tasa máximas y mínimas son 29 y -22 m/año respectivamente.

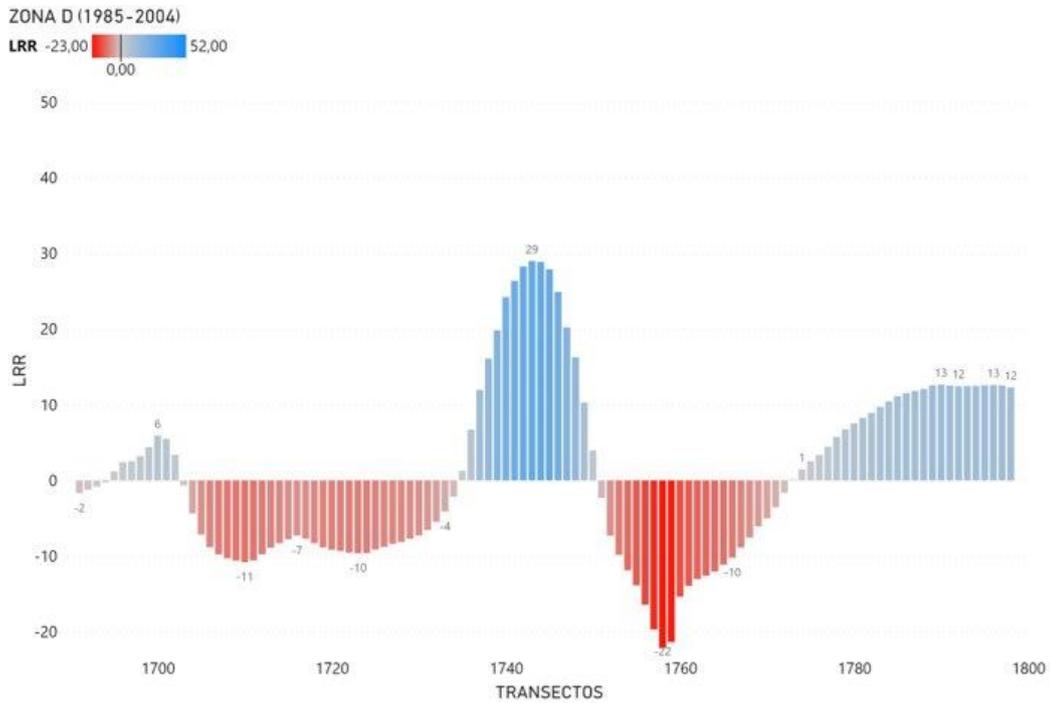


Figura 4.10 Gráfico de barras ID de transectos vs LRR en la zona D, periodo 1985-2004.

PERIODO 2004-2016

Los procesos erosivos fueron los que más se presentaron en todas las zonas del archipiélago. En la playa Jambelí en la zona A tuvo la mayor tasa de erosión durante el periodo 2004-2016, siendo 24 m/año. Esto quiere decir que en tan solo 12 años retrocedió la línea de costa 288 m aproximadamente en gran parte de esta zona (Figura 4.11).

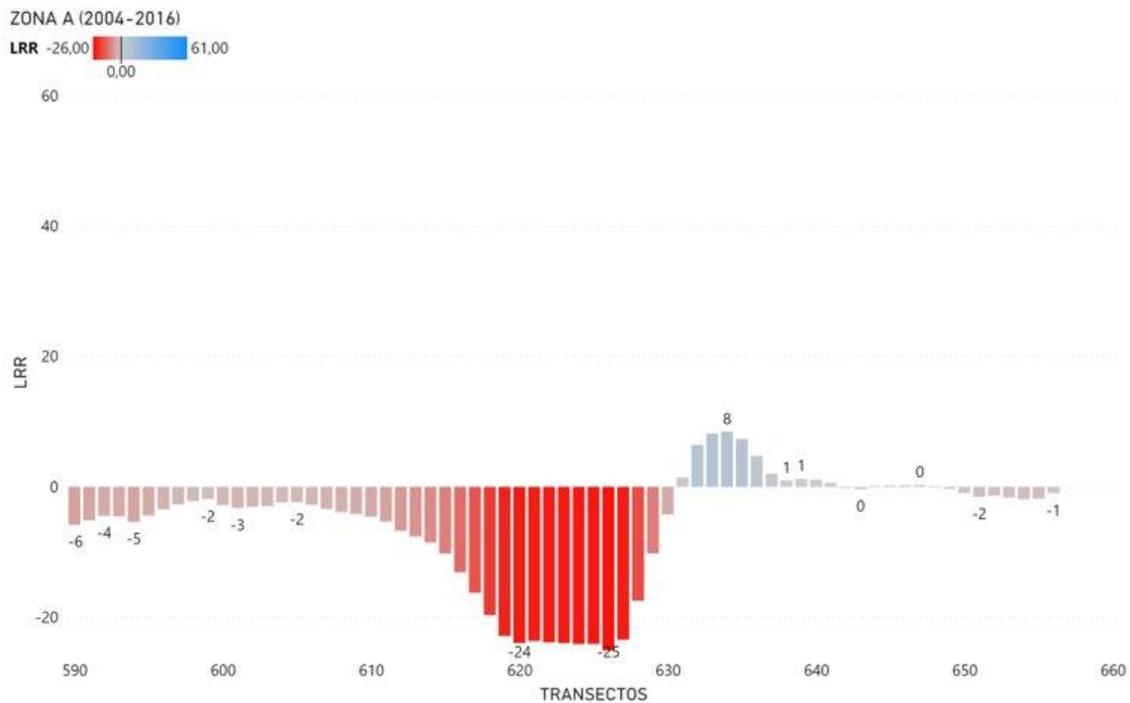


Figura 4.11 Gráfico de barras ID de transectos vs LRR en la zona A periodo 2004-2016.

En la playa Jambelí en la zona B del archipiélago se observó solo procesos erosivos con tasas que oscilan desde los 3 m/año hasta 15 m/año (Figura 4.12).

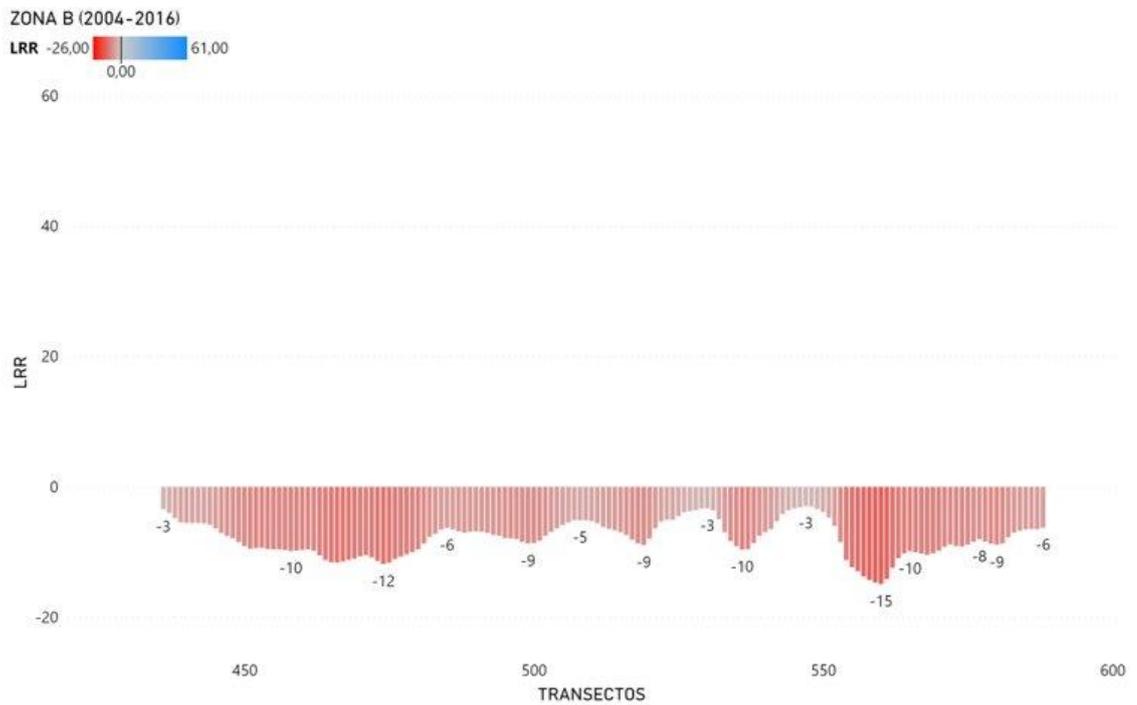


Figura 4.12 Gráfico de barras ID de transectos vs LRR en la zona B periodo 2004-2016.

PERIODO 2016-2020

En la playa Jambelí en la zona B (Figura 4.13) la acreción fue mayor que la erosión, aunque las tasas de EPR de ambos procesos no fueron elevadas, oscilando entre -19 y 14 m/año. Los transectos erosivos se concentraron al norte del Balneario de Jambelí.

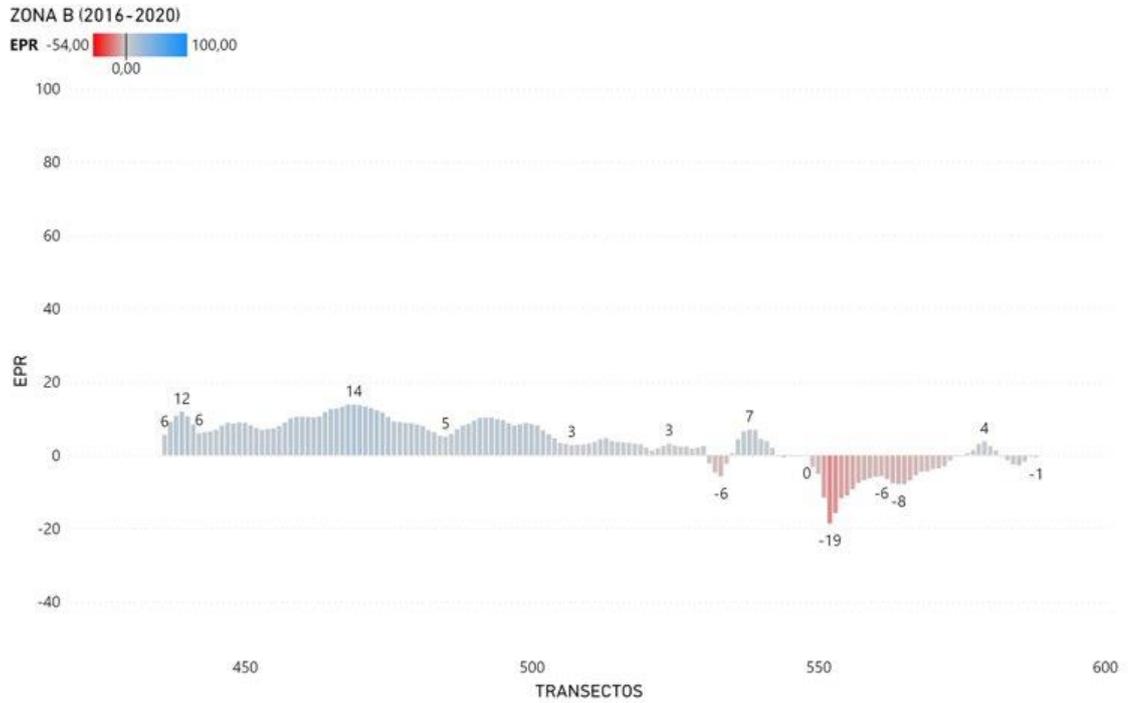


Figura 4.13 Gráfico de barras ID de transectos vs EPR en la zona B, periodo 2016-2020.

En la playa Costa Rica en la zona C₂ (Figura 4.14), los transectos fueron principalmente erosivos, y esta erosión se mantuvo constante a lo largo de toda el área entre los transectos 1860 y 1950, con tasas entre -18 y -1 m/año.

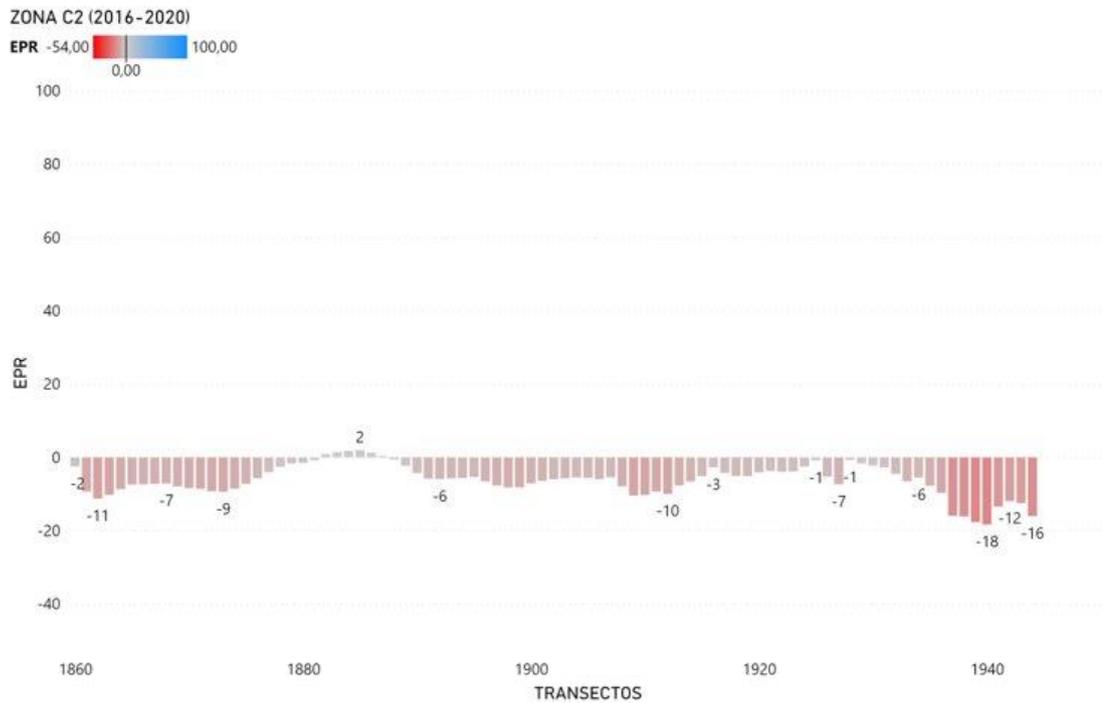


Figura 4.14 Gráfico de barras ID de transectos vs EPR en la zona C₂, periodo 2016-2020.

En la playa San Gregorio en la zona D (Figura 4.15), los transectos del 1700 al 1740 son principalmente acrecivos, comúnmente la tasa de acreción no sobrepasa los 18 m/año, exceptuando un transecto con 61 m/año. Mientras que, los transectos de 1740 a 1800, presentan una continuidad erosiva, siendo las tasas mayores cerca de la interfase entre los procesos con un EPR DE -44 m/año y decreciendo progresivamente hasta los -3 m/año.

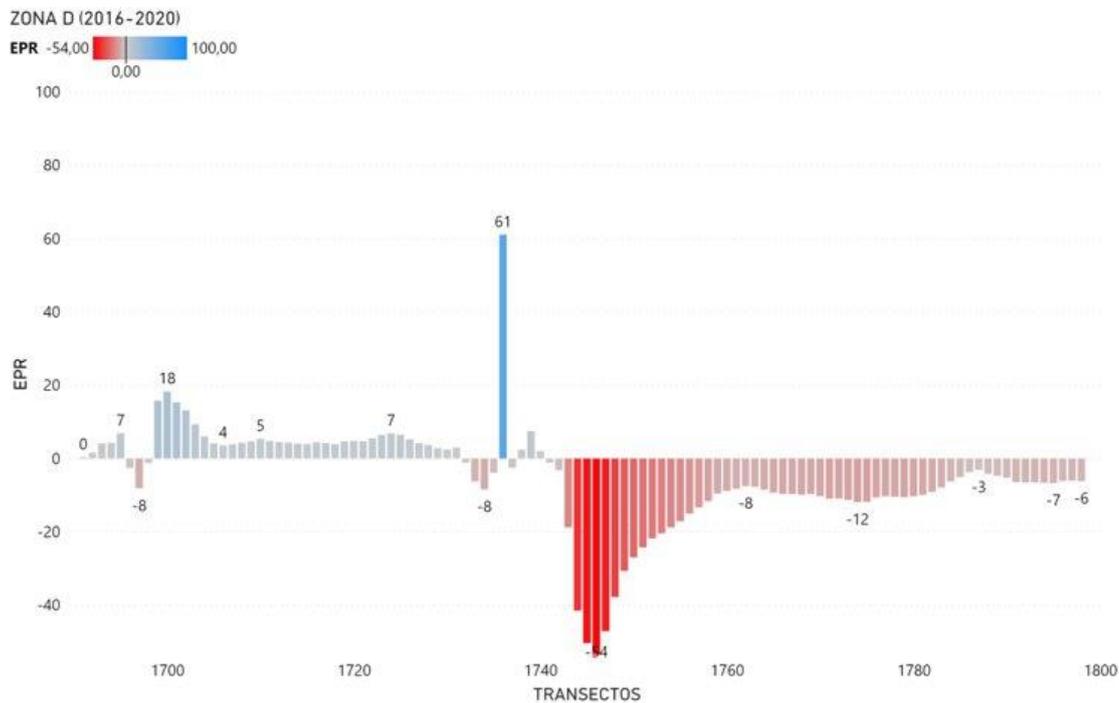


Figura 4.15 Gráfico de barras ID de transectos vs EPR en la zona D, periodo 2016-2020.

La playa las Hacas en la zona E (Figura 4.16), se caracterizó por presentar erosión en los extremos del sector, mientras que, en el centro, entre los transectos 270 y 320 tuvo una acreción representativa, con tasas elevadas de 43 m/año.

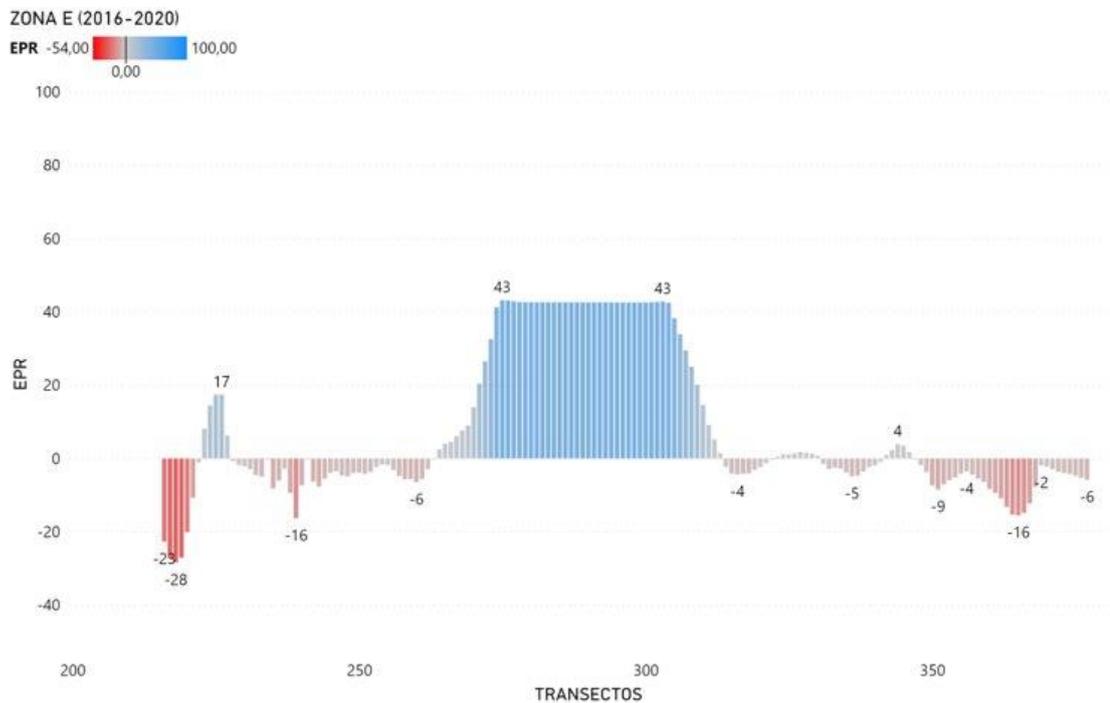


Figura 4.16 Gráfico de barras ID de transectos vs EPR en la zona E, periodo 2016-2020.

En el Apéndice A2 se muestra los gráficos de barras de todas las secciones para los tres periodos, 1985-2004, 2004-2016 y 2016-2020.

4.3 Uso de suelo

La clasificación supervisada de las imágenes mostró un cambio evidente en la cobertura de suelo (Figura 4.18). Para el año 1985, más de la mitad del área total del archipiélago estuvo constituido por manglares y la presencia de bancos de arena fue mínima en relación con los otros años. Esta anomalía vino acompañada con el incremento de las camaroneras entre los años 1985 y 2001. No obstante, entre los años 2004 y 2020 los manglares aumentaron progresivamente, además se pudo evidenciar el contraste de uso de suelo desde el 1985 hasta la actualidad en la Figura 4.17.

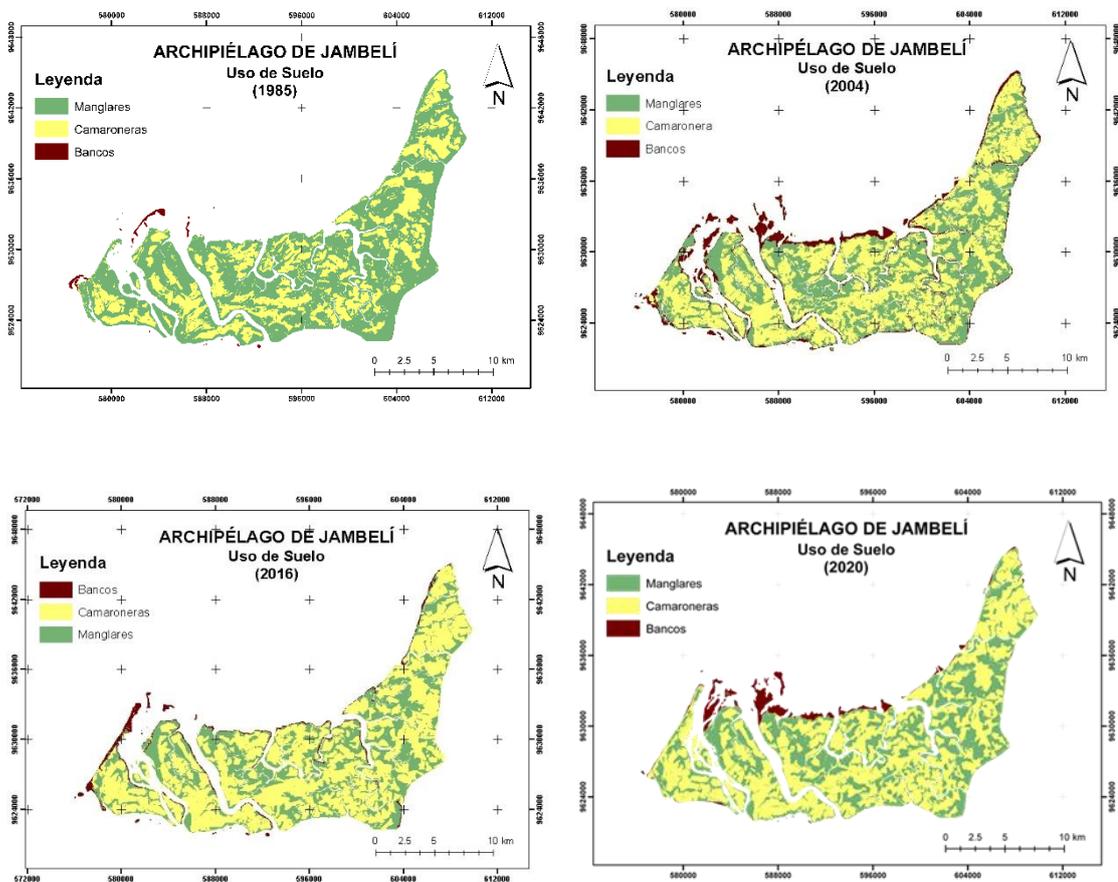


Figura 4.17 Mapas de uso de suelo del año 1985, 2014, 2016 y 2020: manglar (verde), camaroneras (amarillo) y Bancos de arena (rojo).

Durante el periodo 2001-2004 se registraron las áreas más altas de bancos de arena en el intervalo de tiempo analizado, coincidiendo con el registro histórico de diciembre de 2002. No obstante, el 2001 registró la cobertura más baja de manglares y una de las más altas para camaroneras.

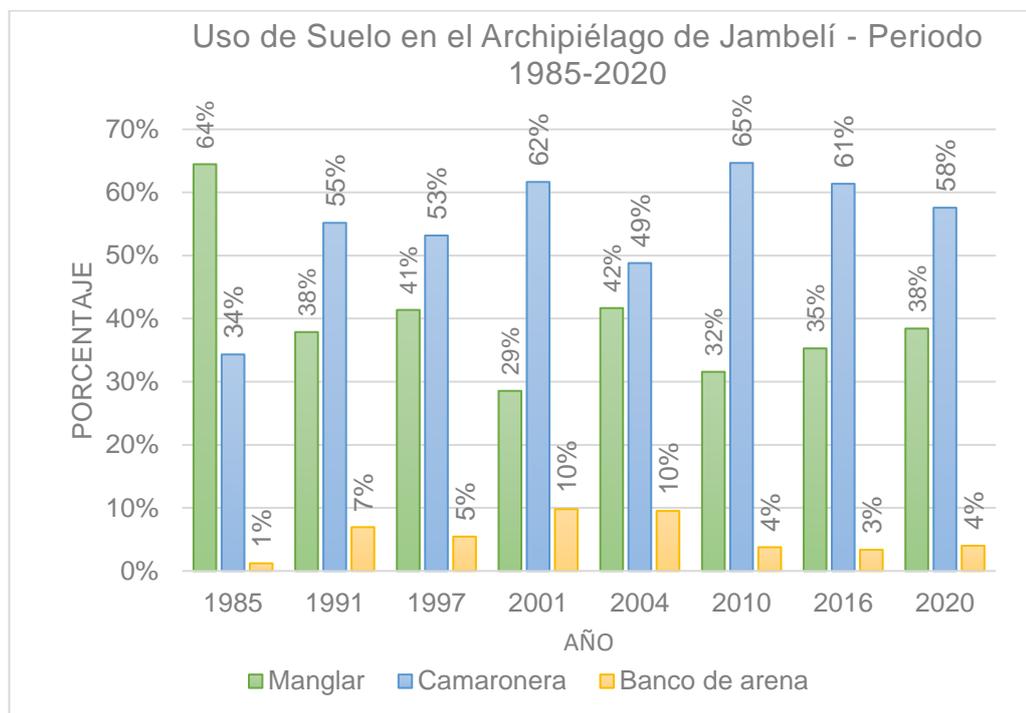


Figura 4.18 Gráfico de barras de cobertura de suelo: manglar, color verde; camaronera, azul; banco de arena, naranja.

En el Apéndice A3 se presenta la tabla de áreas de uso de suelo desde 1985-2020, la tabla de volumen potencial mínimo de uso de suelo, y los gráficos de uso de suelo de cada año analizado en los tres periodos.

4.4 Aporte de sedimentos

De acuerdo a la densidad de drenaje la playa de Las Huacas tiene el potencial para recibir mayor aporte de sedimentos, en segundo lugar, está la playa San Gregorio. La isla con mayor número de esteros es la playa Las dos hermanas que tiene una de las menores densidades de drenaje.

El radio de entrega de sedimentos (SDR), refleja la relación entre la erosión de la cuenca y el aporte sedimentario de los ríos. El mayor SDR corresponde a la Isla Las Huacas como se muestra en la Tabla 4.10. El SDR se obtuvo mediante la ecuación propuesta por Renfro (1975) que considera únicamente variable el área de la cuenca en kilómetros cuadrados.

Tabla 4.10 Densidad de drenaje para cada isla del Archipiélago de Jambelí.

Isla	Longitud de drenaje (m)	Área (m ²)	Área de drenaje (m ²)	Núm. Esteros	Densidad de drenaje	SDR
Isla Jambelí	8196,82	25221000,98	266593,88	2	0,000325	4,896629
Isla Pongal	32847,22	67695931,66	2598408,28	10	0,000485	4,226327
Isla Chupadores	41580,31	85130925,52	5172840,61	9	0,000488	4,084360
Isla Patria o Las Huacas	18192,66	16216407,85	4595498,89	2	0,001122	5,229929
Isla Costa Rica	21220,61	38315330,75	11676434,16	3	0,000554	4,600650
Isla Payana	19360,39	21324772,54	43167487,08	2	0,000908	5,020689

En la Tabla 4.11 se muestran los volúmenes potenciales de manglares y camarónicas, donde la máxima contribución de sedimentos aportados por las camarónicas para la formación de bancos de arena en 1985 es de 0.41%. Los años con mayor tasa de sedimentación debido a la antropización fueron 1991 y 2001. Uno de los mayores problemas que tiene el archipiélago de Jambelí es la sobre sedimentación en los esteros ya que obstruye el flujo de agua, lo cual en ocasiones dificulta la movilidad de sus habitantes.

Tabla 4.11 Volumen potencial mínimo.

Año	Volumen potencial mínimo (km ³)			%
	Manglar	Camaroneras	Bancos de arena	Bancos en relación a camarónicas
1985	0,17001	0,27147	0,00111	0,41
1991	0,10716	0,46839	0,17155	36,63
1997	0,10897	0,42012	0,07511	17,88
2001	0,08385	0,54342	0,25117	46,22
2004	0,11594	0,40734	0,09244	22,69
2010	0,08342	0,51282	0,00868	1,69
2016	0,09237	0,48213	0,00766	1,59
2020	0,10496	0,47187	0,03813	8,08

4.5 Análisis de resultados

De acuerdo a los procesos sedimentarios en el archipiélago, la tasa de erosión es menor a la tasa de acreción durante el 1985-2004 y para el primer periodo el porcentaje de manglar que se tenía ocupaba inicialmente el 50% del uso de suelo minimizando la erosión, para el final del periodo el manglar había disminuido en más del 20%.

Para los periodos 2004-2016 y 2016-2020 la tasa de erosión fue similar en un 68% aproximadamente, del mismo modo aumento el porcentaje de camaroneras en el archipiélago y continuó la pérdida de manglar. Por otro lado, en el 2016-2020 se puede observar un incremento en los procesos de acreción los cuales podrían relacionarse con la reforestación de manglar en ese periodo, aumentando en un 5% respecto al 2010.

En los tres periodos seleccionados, la erosión y acreción de las playas se corresponde con las secciones realizadas de tasas por transecto, excepto en la playa Costa Rica en el periodo 2016-2020 donde de acuerdo a la sección la erosión tiene tasas de hasta 16 km/año.

La playa San Gregorio presenta continua acreción en los tres periodos, siendo el periodo 2004-2016 el de mayor crecimiento neto. La playa San Gregorio ubicada en la isla Payana posee la segunda mayor densidad de drenaje, y el canal más amplio del archipiélago se ubica en la misma el cual facilita el transporte de sedimentos en su desembocadura.

En el archipiélago, la isla Chupadores y Pongal son unas de las que poseen mayor longitud, área de isla y número de esteros y son estas las que no presentan una gran densidad de drenaje.

En el periodo 2004-2016 la corrección de distancia D_b fue negativa, lo que provocó que el cambio lineal de la línea de costa aumentase las tasas de erosión. Por otro lado, en el periodo 2016-2010 la corrección de distancia D_b fue positiva lo que provocó el efecto contrario en las tasas de LRR de casi un metro.

4.5.1 Análisis del balance sedimentario

La mayor variabilidad en dirección del oleaje se encuentra en la punta Jambelí y en el balneario Jambelí que comprende la zona A y la zona B, respectivamente. Estas zonas presentan transectos de mayor tasa de erosión anual respecto a todo el archipiélago durante el periodo 2004-2016.

Los cambios en los patrones de erosión y acreción tienen que ver, también, con la energía y dirección del oleaje ya que a mayor cambio de dirección el suelo será más propenso a ser removido y a su vez a la abrasión de los sedimentos. Un ejemplo de los procesos acrecivos de mayor relevancia en el archipiélago, es el cordón litoral que se formó con el pasar de los años en la Playa San Gregorio por acción del transporte de sedimentos y por la deriva litoral. El aporte sedimentario en los esteros más amplios suele ser mayor, mientras que la dirección de las corrientes hacia zonas de entrapamiento favorece la acumulación de bancos de arena que se acrecionan en progradación generando estos cambios en la morfología costera.

De acuerdo al uso de suelo cuando se tiene mayor cobertura de manglar predominan los procesos acrecivos, por el contrario, cuando aumenta la cobertura de camarónicas se evidencian procesos erosivos para todos los periodos analizados. Cuando la ola incide perpendicular a la playa no existe ninguna tendencia de dirección en el transporte del sedimento para áreas en que los transectos son neutros en el periodo 2004-2016.

Los transectos 480-500 y 550-570 presentaron mayor transporte neto de sedimentos, izquierda y derecha respectivamente. Esto pudo haber sido provocado por la colocación de medidas estructurales artesanales en el Balneario de Jambelí entre los transectos 530-550.

El pico que existe en el gráfico de transectos erosivos coincide con la ubicación del Balneario de Jambelí en la zona B del año 2010 y a su vez con el mayor transporte por año (2009-2010) de sedimentos hacia al noreste.

El cambio de uso de suelo debido al desarrollo poblacional en la zona de playa puede tener incidencia en el incremento de las pendientes de playa como en se

evidencia en el Balneario de Jambelí. La disminución de manglar facilitó el ingreso del oleaje provocando la exposición a la erosión.

Desde el año 2004 hasta la actualidad se ha incrementado la cobertura de manglar en el archipiélago debido a la reforestación lo que disminuyó las tasas de erosión para todas las zonas. El transporte de material ocurre desde la zona en la que se encuentra el mayor tamaño de grano y se distribuye hacia sus extremos.

Los canales sirven como medios de transporte de sedimentos que desembocan en la zona c y estos se van acumulando en la punta sur por la dirección SW del oleaje en la costa occidental. Se deduce que las escolleras y los espigones que fueron colocados entre los años 2011-2014 promovieron la erosión en la punta Jambelí.

Se logró constatar en los resultados del volumen potencial mínimo, la influencia que las camaroneras ejercen sobre la formación de bancos de arena es clara. En el año 2001, por ejemplo, el 46,22% de la producción de bancos de arena se infiere que se debió al desbalance del aporte sedimentario y la remoción de suelo como resultado de esta actividad productiva, aunque la producción sedimentaria no se debe únicamente a la antropización, sino que también se relaciona con el aporte de sedimentos desde el continente.

La cantidad de mangle probablemente actuó como una barrera erosiva en el periodo 1985-2004 además de favorecer el depósito de sedimentos. Las alturas de mareas del año 2004-2010 en pleamar fueron mayores a las del 2016-2020, esto pudo ser una causa de la disminución de los procesos erosivos para este último periodo.

De acuerdo con los datos de mareas en el año 2004 (tabla 3.2) se obtuvo alturas máximas y se puede inferir que estas influyeron en la mayor acumulación de bancos de arena de todos los años en el sector sur que comprenden las zonas c y d, entre el 2001 y 2004. En el Apéndice C2 se presentan algunos datos oceanográficos del oleaje del archipiélago de Jambelí, de otras fuentes, los cuales se correlacionó con los resultados que se presentaron previamente.

4.5.2 Impacto obras estructurales

Las construcciones de muros para las piscinas camaroneras en el periodo 1985-1991, alteraron y canalizaron las aguas del estuario (USAID, 1993). A su vez incrementó el volumen de los sedimentos y sólidos suspendidos, que alteró la calidad del agua reduciendo los niveles de oxígeno para los manglares. Por este motivo desde el 1985 hasta el 1991 la superficie cubierta por manglar se redujo en un 26% equivalente a 68,56 km².

Durante el periodo 2001-2010 se observó que las estructuras artesanales, estacas y geotextiles, que fueron colocados en la zona de playa provocó que las corrientes se canalizaran y erosionaran el perfil costero. Los sedimentos se depositaron en el sector Sur del Archipiélago que se caracteriza por ser un ambiente de poca energía y como resultado se formaron grandes bancos de arena (Figura 4.1).

Además, los sedimentos de los estuarios son transportados y acumulados en su desembocadura con una tasa LRR máxima aproximada de 60 m/año durante el periodo 2004-2016. Por último, la construcción de las escolleras redujo la tasa de erosión anual en el periodo 2016-2020 (Figura 4.2). No obstante, existe erosión mínima en la zona b y se incrementa en las zonas a, d y e que corresponden al 66% de los transectos erosivos en el archipiélago.

4.6 Modelo de evolución y predicciones

De acuerdo al *Kalman Filter*, para una mejor estimación de los datos a partir de las regresiones lineales, se agrupó las líneas de costa de los tres periodos (1985-2020). La estimación a 10 años de la evolución de la línea de costa (celeste), mantuvo la tendencia de erosión en A, B y D. Por lo contrario, la zona C se caracterizó por la acreción de sedimentos. La estimación a 20 años mantuvo la misma tendencia en las cuatro zonas (A-D). La incertidumbre fue de ± 30 m, de acuerdo a los datos estadísticos del LRR y el EPR.

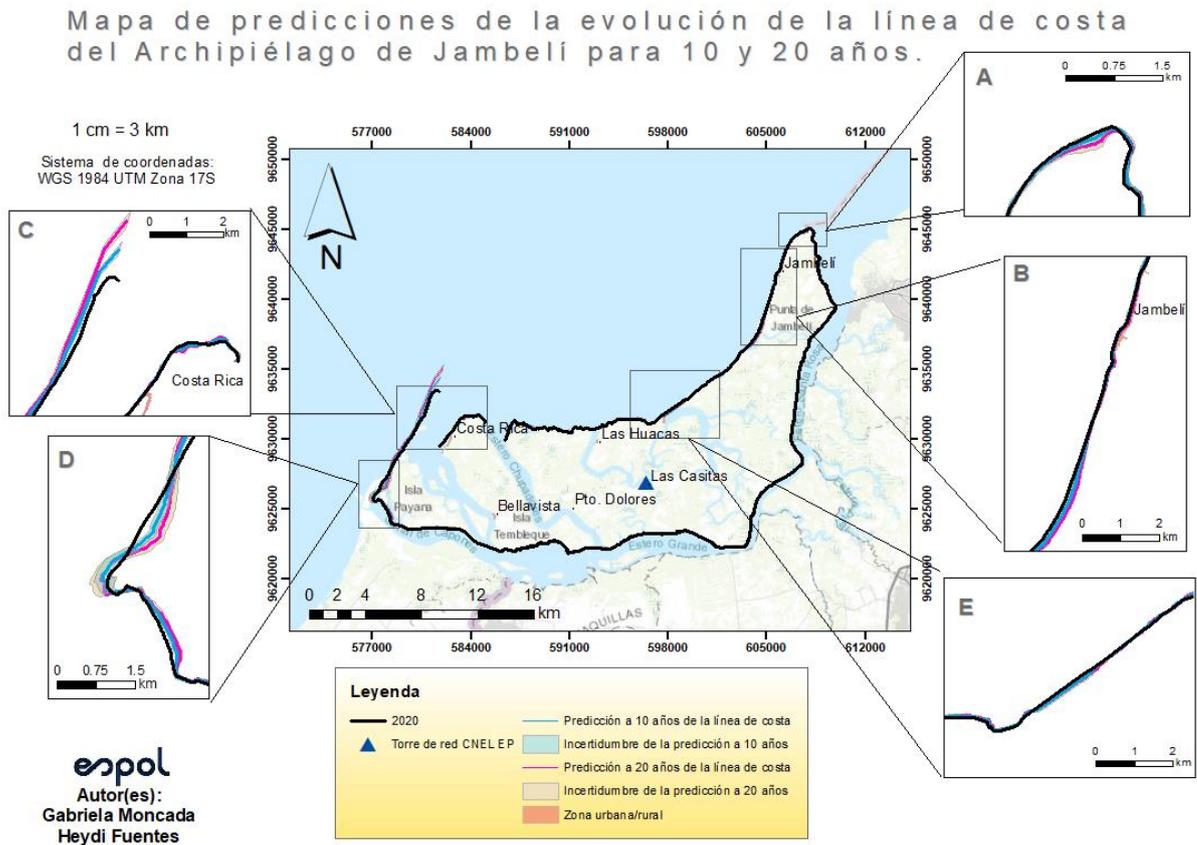


Figura 4.19 Modelo de estimación de la línea de costa para el Archipiélago Jambelí a 10 años (celeste) y 20 años (rosa).

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

A partir de las imágenes satelitales desde 1985-2020 se observó que las islas con mayores cambios en superficie son la Isla Jambelí y la Isla Payana en el sector norte y oeste de las misma.

De 1985 a 2001, el incremento en la construcción de camaroneras y una disminución en los manglares provocó la aparición de bancos de arena con una superficie de 28,77 km², los cuales inicialmente tenían sólo 3,19 km² en todo el archipiélago. Mientras que, del 2001 al 2020, la superficie de manglar aumentó 21,11 km² generando menos sedimentos en suspensión y provocando la disminución de los bancos en arena en 17,85 km².

La disminución de los manglares provocó que se estrecharan los canales en su desembocadura debido a la acumulación de bancos de arena dificultando el tránsito costero.

De acuerdo a las tasas de regresión lineal (LRR) los procesos de acreción sedimentaria en el archipiélago predominaron en el periodo de 1985 a 2004. Por otro lado, entre el 2004 y el 2020 las tasas de erosión se encontraban entre -8,02 a -0,71 m/año, a excepción de las playas Jambelí, Las dos hermanas, y las Huacas, donde de 2016-2020 hubo acreción que puede justificarse por la implementación de escolleras y espigones en el Balneario Jambelí.

Las predicciones para 10 y 20 años del archipiélago mostraron que la zona central no presentará cambios significativos en la morfología costera. No obstante, en la zona sur, que comprende los sectores C y D se incrementarán las tasas de acreción y erosión en 2 km y 0,5 km, respectivamente. Por otro lado, en Jambelí disminuirá la tasa erosiva, donde la línea de costa tendrá un retroceso aproximado de 0,3 km en 20 años.

No se tienen suficientes datos oceanográficos multitemporales. Sin embargo, de acuerdo a las fases lunares de las imágenes satelitales que nos dan a conocer si estas se encuentran en marea de sicigia o de cuadratura, para los años 1985, 1997, 2010, 2016 con marea de cuadratura no presentan grandes superficies de bancos de arena, al contrario de lo que ocurre en 1991, 2020 con marea de sicigia.

Se corroboró la variabilidad costera en el Archipiélago de Jambelí, en mayor medida en la isla Jambelí y en la isla Payana. La información multitemporal procesada y las predicciones que se generaron, ayudarán a las entidades públicas a identificar y delimitar las zonas de mayor peligrosidad por erosión con mayor precisión.

Recomendaciones

Realizar estudios de granulometría en las playas del archipiélago debido a que la erodabilidad del suelo depende de la textura del mismo. Además, es recomendable que se realice un levantamiento topográfico cada 100 metros de la zona intermareal para definir las pendientes de playa en el archipiélago.

Se recomienda el uso de imágenes satelitales y fotografías aéreas con mayor resolución para que la incertidumbre al generar las líneas de costa, el uso de suelo y el cálculo del espesor de playa disminuya.

Es recomendable que INOCAR instale boyas en la costa del archipiélago para recoger información de datos oceanográficos como mareas, alturas y dirección del oleaje e información de sedimentos de fondo marino debido a que estos datos se emplean en las correcciones de línea de costa y facilitan el análisis y correlación de los resultados.

Se recomienda utilizar dos imágenes por año con baja nubosidad, una en verano y otra en invierno, para determinar la incidencia del aporte de sedimentos fluviales desde el continente.

También se recomienda complementar los resultados con perfiles de costa incluyendo las pendientes de playa en las distintas islas del archipiélago para mejorar la exactitud de las correcciones.

Se sugiere para el análisis del balance sedimentario, el STC (Phillips & Slattery, 2006), el cual considera parámetros como caudal, pendiente de playa y el peso específico del agua, pueda resultar de mayor utilidad que el SDR basado únicamente en el área de la cuenca debido a que es el mejor índice aplicado en estuarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Altamirano, M., Steenbergen, J., De Keijzer, O., Perdon, R., & Zambrano, G. (2016). *DRR-Team Scoping Mission Report Ecuador version Dutch water sector*. https://drrteam-dsswater.nl/wp-content/uploads/2016/02/DRR-Mission-Report_Version-Ecuador-100616final-for-NL.pdf
- Catuneanu, O. (2006). *Principles of Sequence Stratigraphy* (1st Editio). Elsevier Science.
- CLIRSEN, & PMRC. (2007). *Actualización del estudio multitemporal de manglares, camarонерas y áreas salinas en la costa continental ecuatoriana al año 2006*. http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/planaccion/docs2013/manglares/Informe_Final_PMRC-CLIRSEN.PDF
- Cruz, M., & Takashi, R. (2015). *Análisis Multitemporal de la dinámica superficial del embalse de la presa Villa Victoria, Estado de México*. Univerdid Nacional Autónoma de México.
- Daniels, R. (2012). Using ArcMap to Extract Shorelines from Landsat TM & ETM+ Data. *Thirty-Second ESRI International Users Conference Proceedings*, 1–23.
- Daniels, R. C. (2012). Using ArcMap to Extract Shorelines from Landsat TM & ETM+ Data. *Thirty-Second ESRI International Users Conference Proceedings*, 1–23.
- Devoy, R. J. N. (2015). Sea-Level Rise: Causes, Impacts, and Scenarios for Change. In *Coastal and Marine Hazards, Risks, and Disasters*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396483-0.00008-X>
- Dos Santos, E. P., Carcedo, M. C., Zotelo, C., & Fiori, S. M. (2018). Effects of erosion-accretion processes on a community dominated by *Brachidontes rodriguezii* (Mollusca: Mytilidae) on a rocky outcrop of the South Atlantic coast. *Journal of Marine Systems*, 187(January), 146–155. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.07.006>
- Duarte, C. R., de Miranda, F. P., Landau, L., Souto, M. V. S., Sabadia, J. A. B., Neto, C. Â. da S., Rodrigues, L. I. de C., & Damasceno, A. M. (2018). Short-time analysis of shoreline based on RapidEye satellite images in the terminal area of Pecém Port, Ceará, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 39(13), 4376–4389. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1457229>
- Eguez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M. N., Costa, C., & Dart, R. L. (2003). *Database and Map of Quaternary Faults and Folds in Perú and its Offshore Region*. June, 1–64.
- GAD Cantón Santa Rosa. (n.d.). *santarosa.gob.ec - Geografía y Ubicación*. Retrieved November 16, 2020, from <http://www.santarosa.gob.ec/index.php/santa-rosa/mnu-geografia>
- GAD Parroquial de Jambelí. (2015). *Fase uno iagnóstico del territorio de Jambelí D*. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0760030760001_DIA_GNOSTICO_ACTUALIZADO_30-10-2015_13-20-06.pdf
- Gandhi, S. M., & Sarkar, B. C. (2016). *Essentials of Mineral Exploration and Evaluation*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04648-2>
- Ghorai, D., & Mahapatra, M. (2020). Extracting Shoreline from Satellite Imagery for GIS Analysis. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, 3(1), 13–22. <https://doi.org/10.1007/s41976-019-00030-w>
- Ghosh, M. K., Kumar, L., & Roy, C. (2015). Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques. *ISPRS Journal of*

Photogrammetry and Remote Sensing, 101, 137–144.

- Gómez, Á. (2009). *Estudio multitemporal de la dinámica de transformación espacial de la cobertura por crecimiento urbano, en una zona de la localidad de suba, Bogotá-Colombia, en el periodo 1955–2006*. Bogotá: Universidad Javeriana.
- HARRIS Geospatial Solutions. (2020). *SPEAR Atmospheric Correction*. Documentation Center.
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., & Farris, A. S. (2018). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.0 User Guide. *Open-File Report 2018-1179*, 126.
- INEC. (2001). *VI Censo de Población y V de Vivienda del Cantón Santa Rosa*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Fasciculos_Censales/Fasc_Cantoniales/El_Oro/Fasciculo_Santa_Rosa.pdf
- INOCAR. (n.d.). *Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada - Tabla de mareas puertos del Ecuador*. Retrieved November 27, 2020, from <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/productos/tabla-mareas>
- INOCAR. (2002). *Informe de comisión (Mediciones oceanográficas en la Isla de Jambelí)*.
- Jacobs, D. K., & Sahagian, D. L. (1995). Milankovitch fluctuations in sea level and recent trends in sea-level change: ice may not always be the answer. *Sequence Stratigraphy and Depositional Response to Eustatic, Tectonic and Climatic Forcing*, 329–366. https://doi.org/10.1007/978-94-015-8583-5_11
- Jansen, J. M., & Gregorio, A. D. (2000). Land Cover Classification System (LCCS): classification concepts and user manual. *FAO Land and Water Development Division, FAO–2000*.
- Kalman, R. E. (1960). Contributions to the theory of optimal control. *Bol. Soc. Mat. Mexicana*, 5(2), 102–119.
- Lario, J., & Bardají, T. (2017). *INTRODUCCIÓN A LOS RIESGOS GEOLÓGICOS*. https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=_WgYDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Lario+%26+Badají,+2017&ots=7BoTzhf1IP&sig=ECyBjwPnqVFsQSCMFaDe4IWJG_Q&redir_esc=y#v=onepage&q=Lario%26Badají%2C2017&f=false
- Long, J., & Plant, N. G. (2012). Extended Kalman Filter framework for forecasting shoreline evolution. *Geophysical Research Letters*, 39(13). <https://doi.org/10.1029/2012GL052180>
- Lor, F. (2015). *ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE ESCOLLERA QUE ACTUAN COMO DISIPADORES DE ENERGÍA DEBIDO AL OLEAJE; UBICADO EN LA ISLA JAMBELÍ, CANTÓN SANTA ROSA, PROVINCIA DE EL ORO*.
- Martillo, C., & Benitez, S. (2002). *Geología marina en el área de bajo alto- provincia de El Oro, y su aplicación al manejo costero*. 239. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/3443>
- Miall, A. D. (2006). *The Geology of Fluvial Deposits* (4th ed.). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03237-4>

- Morante, F., Gonzalez, M., Olaya, P., & Garcés, D. (2012). Valoración de procesos erosivos y de depositación mediante aplicación de métodos granulométricos y de difracción de Rayos X en sedimentos de borde litoral en el Archipiélago Jambelí, Ecuador. *Técnicas Aplicadas a La Caracterización y Aprovechamiento de Recursos Geológico-Mineros. Vol III: Interacción Con La Sociedad*, 63–73.
- Mujabar, P. S., & Chandrasekar, N. (2013). Shoreline change analysis along the coast between Kanyakumari and Tuticorin of India using remote sensing and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(3), 647–664. <https://doi.org/10.1007/s12517-011-0394-4>
- Orme, A. R. (2013). The Four Traditions of Coastal Geomorphology. In *Treatise on Geomorphology* (Vol. 10). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00270-0>
- Ortiz, J. C. (2016). *Introducción a la oceanografía física - Juan Carlos Ortiz - Google Libros* (Universidad del Norte (ed.)). [https://books.google.com.ec/books?id=wmamCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Ortiz,+J.+C.+\(2016\).+Introducción+a+la+oceanografía+física.+Universidad+del+Norte.&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjm9lu87lftAhVPmVkJHbkFAMcQ6AEwAXoECAIQAg#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=wmamCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Ortiz,+J.+C.+(2016).+Introducción+a+la+oceanografía+física.+Universidad+del+Norte.&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjm9lu87lftAhVPmVkJHbkFAMcQ6AEwAXoECAIQAg#v=onepage&q&f=false)
- Pearson, R. L., & Miller, L. D. (1972). Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie. *Rse*, 1355.
- Peralta, E., & Tapia, Z. (2002). *Escuela Superior Politécnica Del Litoral Facultad De Ingeniería Marítima Y Ciencias Del Mar*.
- Pérez, C., & Muñoz, Á. (2003). *Teledetección: nociones y aplicaciones*.
- Phillips, J. D., & Slattery, M. C. (2006). Sediment storage, sea level, and sediment delivery to the ocean by coastal plain rivers. *Progress in Physical Geography*, 30(4), 513–530. <https://doi.org/10.1191/0309133306pp494ra>
- Rani, N., Mandla, V. R., & Singh, T. (2017). Evaluation of atmospheric corrections on hyperspectral data with special reference to mineral mapping. *Geoscience Frontiers*, 8(4), 797–808.
- Rasmussen, E. (2004). *The interplay between true eustatic sea-level changes , tectonics , and climatic changes : what is the dominating factor in sequence formation of the Upper Oligocene – Miocene succession in the eastern North Sea Basin , Denmark ?* 41, 15–30. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2003.08.004>
- Renfro, W. (1975). Use of erosion equation and sediment delivery ratios for predicting sediment yield. *Present and Prospective Tecnology for Predicting Sediment Yields and Sources. US Dept. Agric, Publ. ARS-S-40*, 33–45.
- Rosero, J. (2012). *Aplicación de los SIG para análisis de los riegos por variabilidad costera - Ecuador*.
- Rovere, A., Stocchi, P., & Vacchi, M. (2016). Eustatic and Relative Sea Level Changes. *Current Climate Change Reports*, 2(4), 221–231. <https://doi.org/10.1007/s40641-016-0045-7>
- Sabins, F. F. (2007). *Remote Sensing: Principles and Interpretation* (3rd ed.). W. H. Freeman.
- Sobrinho, J. A., Raissouni, N., Kerr, Y., Oliosio, A., López-García, M. J., Belaid, A., El Kharraz, M. H., Cuenca, J., & Dempere, L. (2000). *Teledetección* (J. A. Sobrinho (ed.);

Ed.). Universidad de Valencia.

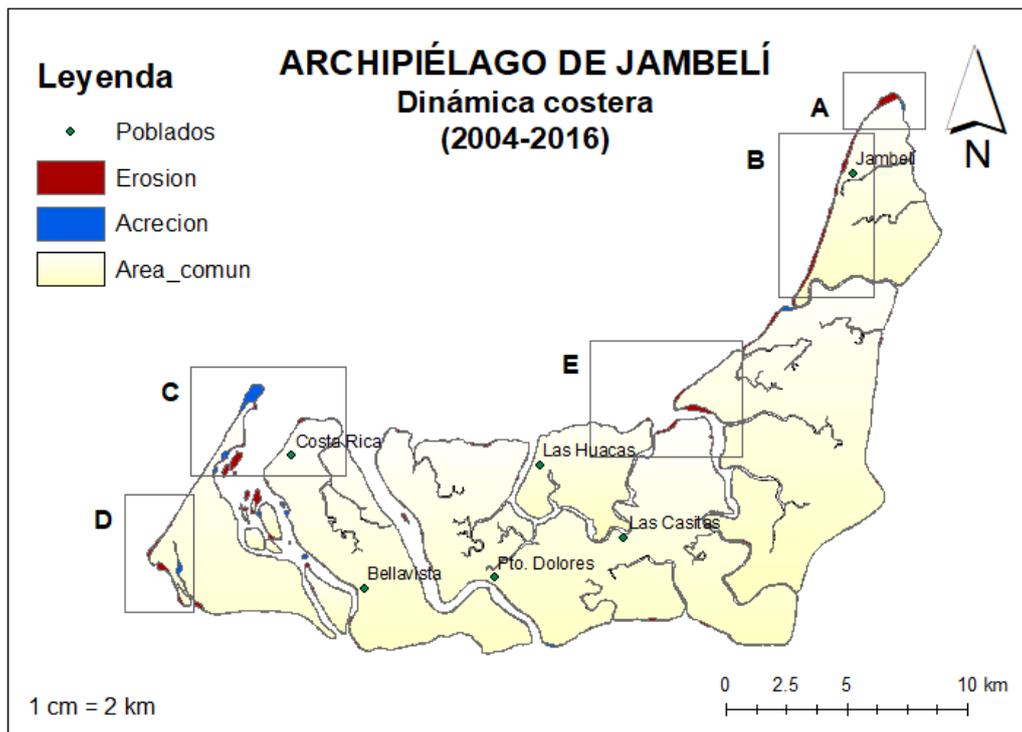
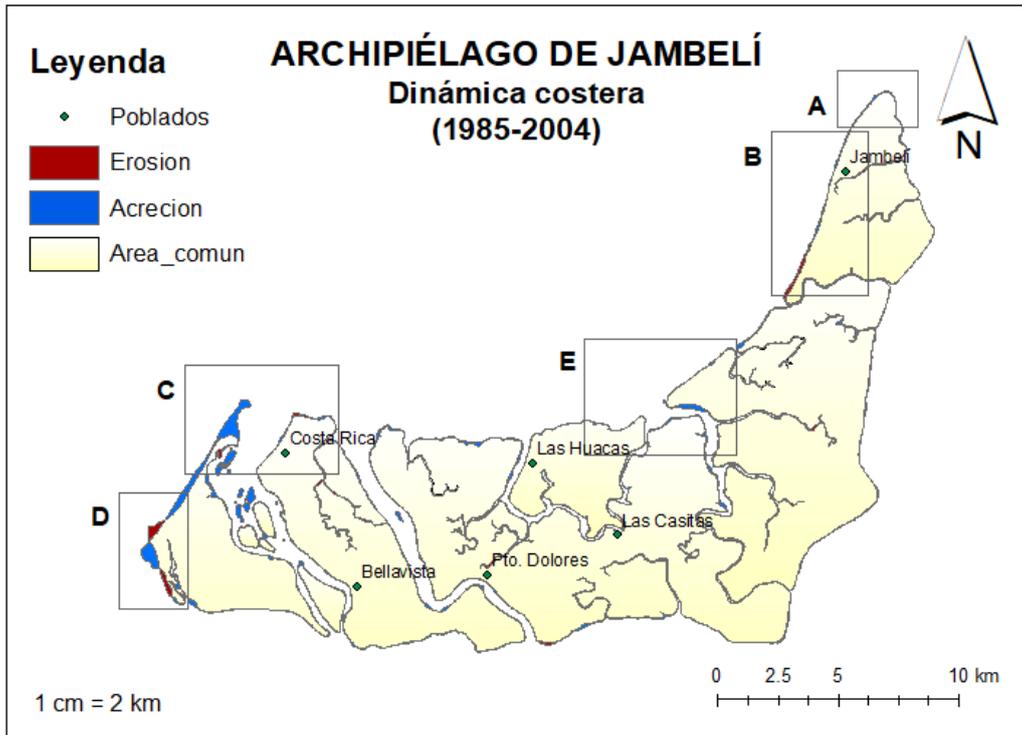
- Soledispa, B. (2004). *La acelerada erosión de la playa del balneario de Jambelí (varios métodos para su regeneración)*.
- Thom, B. G., & Hall, W. (1991). Behaviour of beach profiles during accretion and erosion dominated periods. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16(2), 113–127. <https://doi.org/10.1002/esp.3290160203>
- USAID. (1993). *Plan de Manejo de la ZEM*.
- USGS. (2013, March). *Landsat 7*.
- Valero, J., Padilla, O., & Cruz, M. (2015). *Estudio multitemporal y análisis prospectivo del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca del río Cristal mediante el uso de autómatas celulares*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Vera, L. (2007). *Comparación de la tasa anual de transporte de sedimentos de playa en la Isla Jambelí, utilizando formulación sugerida por varios autores*.
- Yincan et al, Y. (2017). Coastal Erosion. *Marine Geo-Hazards in China*, 269–296. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812726-1.00007-3>
- Yu, L., Lan, J., Zeng, Y., & Zou, J. (2019). Comparison of Land Cover Types Classification Methods Using Tiangong-2 Multispectral Image. *Proceedings of the Tiangong-2 Remote Sensing Application Conference*, 241–253.

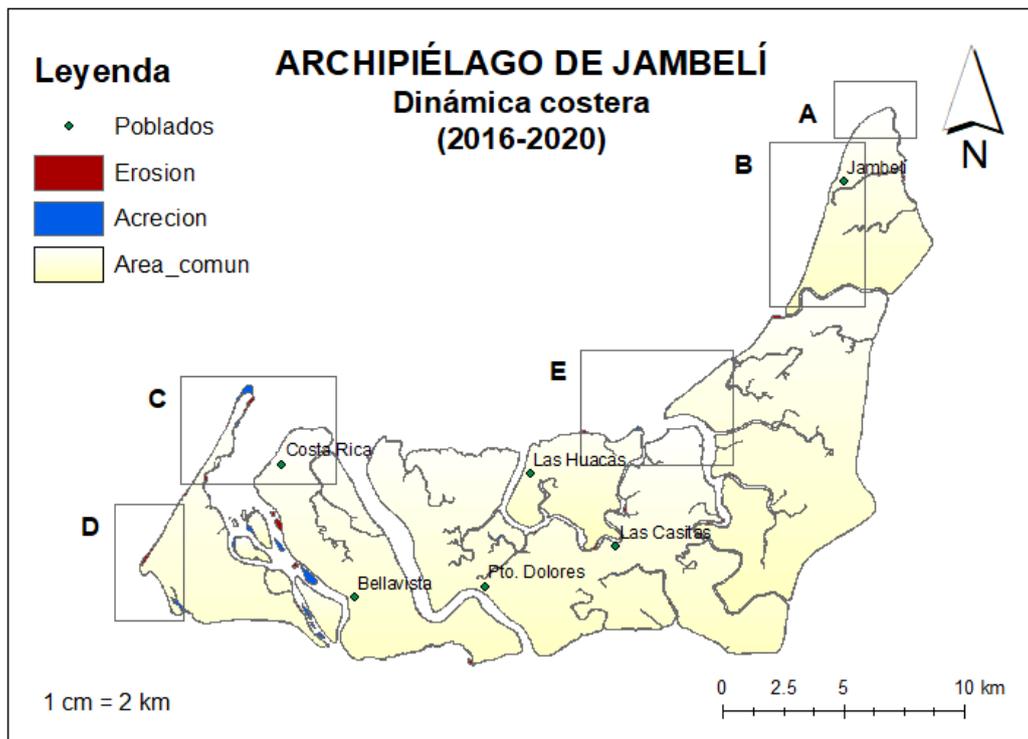
APÉNDICES

APÉNDICE A
Erosión y acreción

Apéndice A1: Áreas

1.1 Dinámica costera





1.2 Mapa de ubicación de transectos

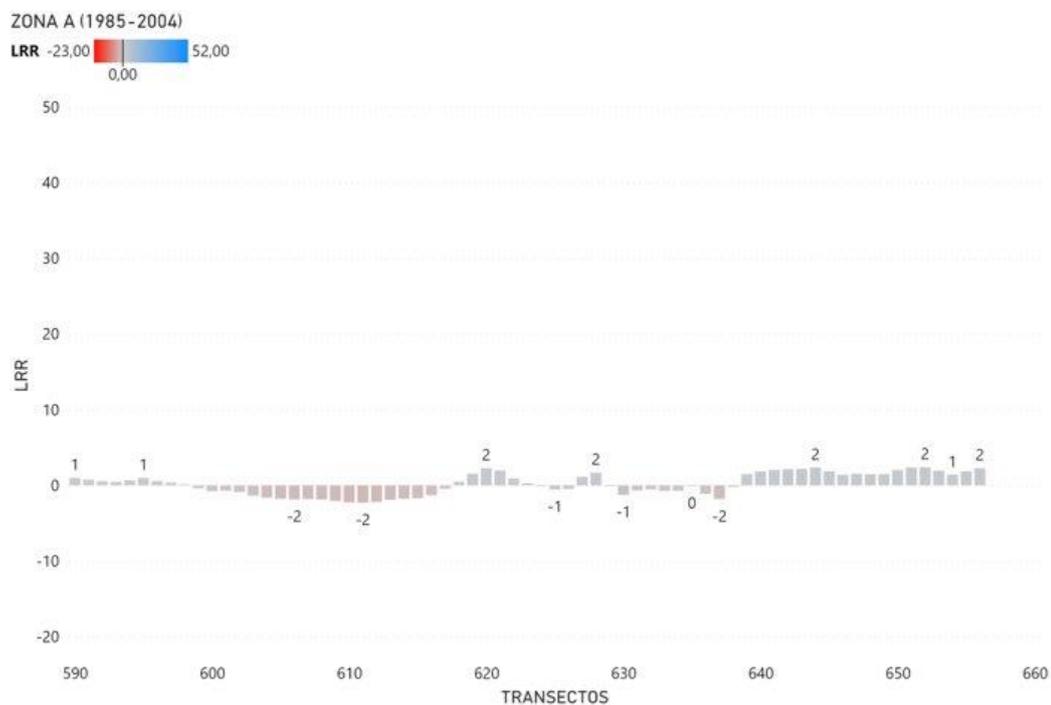


Apéndice A2: Tasas

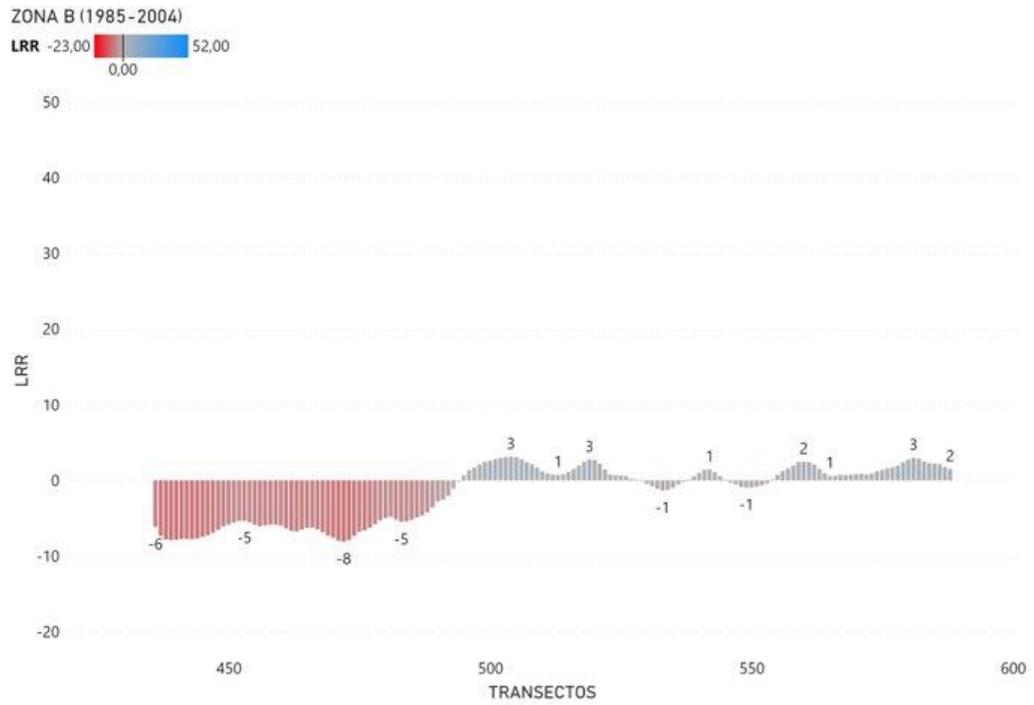
2.1 Tasas de acreción y erosión

1985-2004

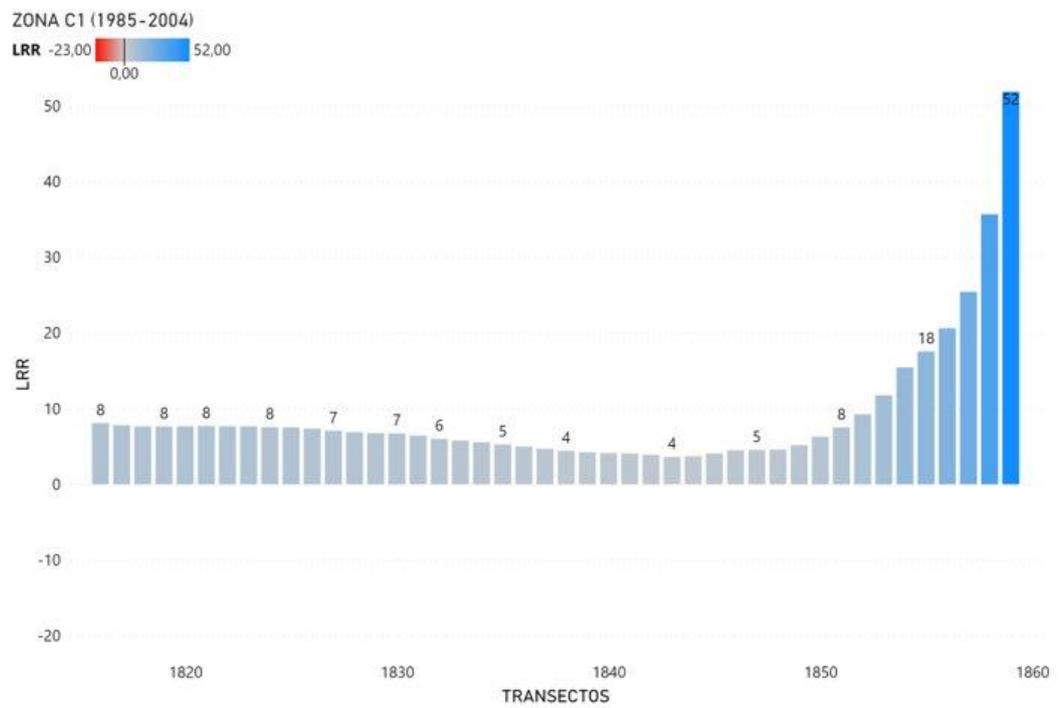
La zona A no tuvo transectos con erosión ni acreción significativa, con tasas de LRR oscilando entre los -2 a 2 m/año.



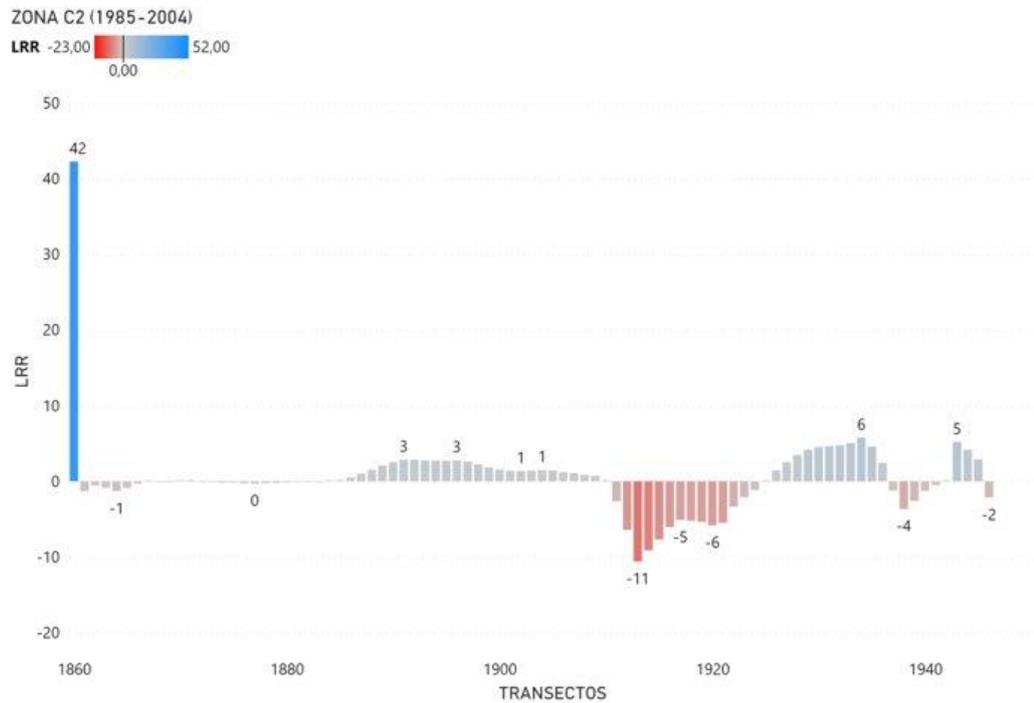
La zona B, donde se encuentra el poblado de Jambelí tuvo una erosión mínima al sur del balneario de Jambelí, la máxima tasa erosiva fue 8 m/año. Por otro lado, se tuvo una acreción en el sector norte y centro con una tasa máxima de 3 m/año.



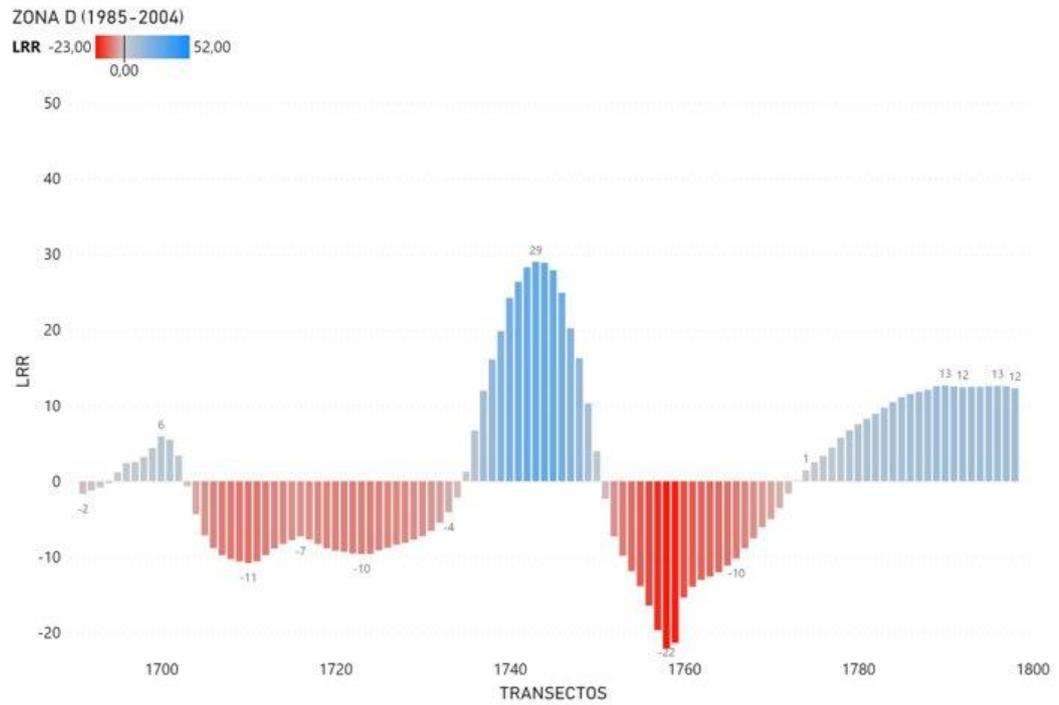
La zona C₁ registró únicamente acreción, y esta mantuvo un crecimiento constante y progresivo con un pico de 52 m/año junto en la punta sur del Archipiélago de Jambelí.



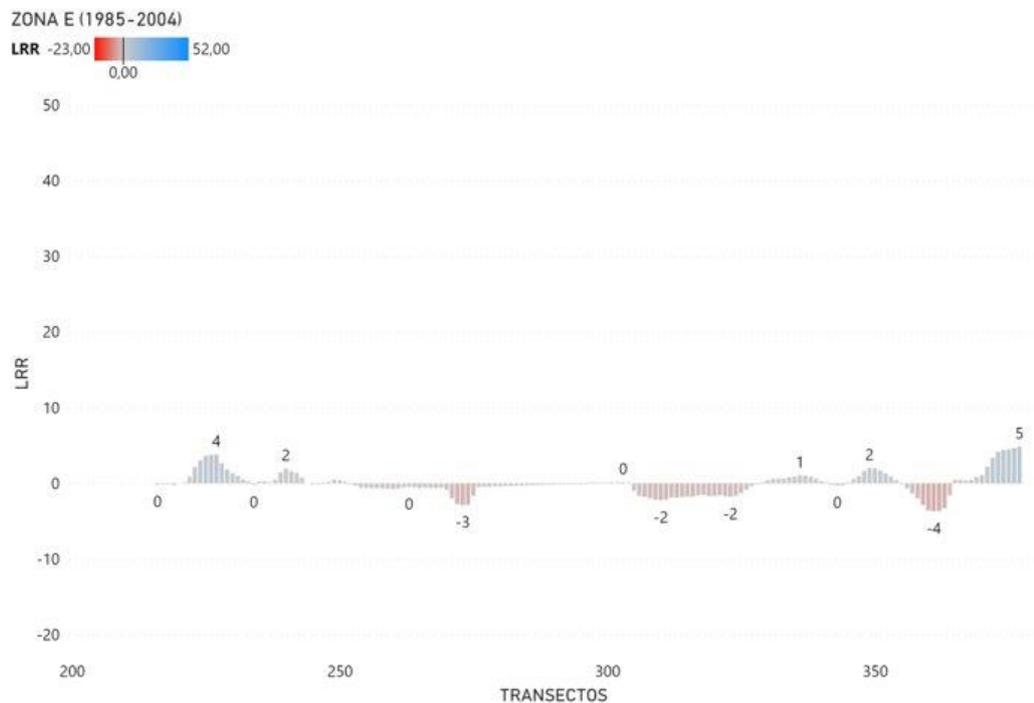
La zona C₂, donde se asienta el poblado de Costa Rica, tiene un único transecto donde la tasa de acreción fue de 42 m/año, el restó de la zona no registró cambios significativos. La máxima tasa de erosión fue de 11 m/año.



La zona D muestra en alternancia áreas de transectos acrecivos y erosivos, estos transectos no se presentan aislados, sino que se encuentran agrupados en ciertos sectores dando continuidad a los procesos. Las tasa máximas y mínimas son 29 y -22 m/año respectivamente.

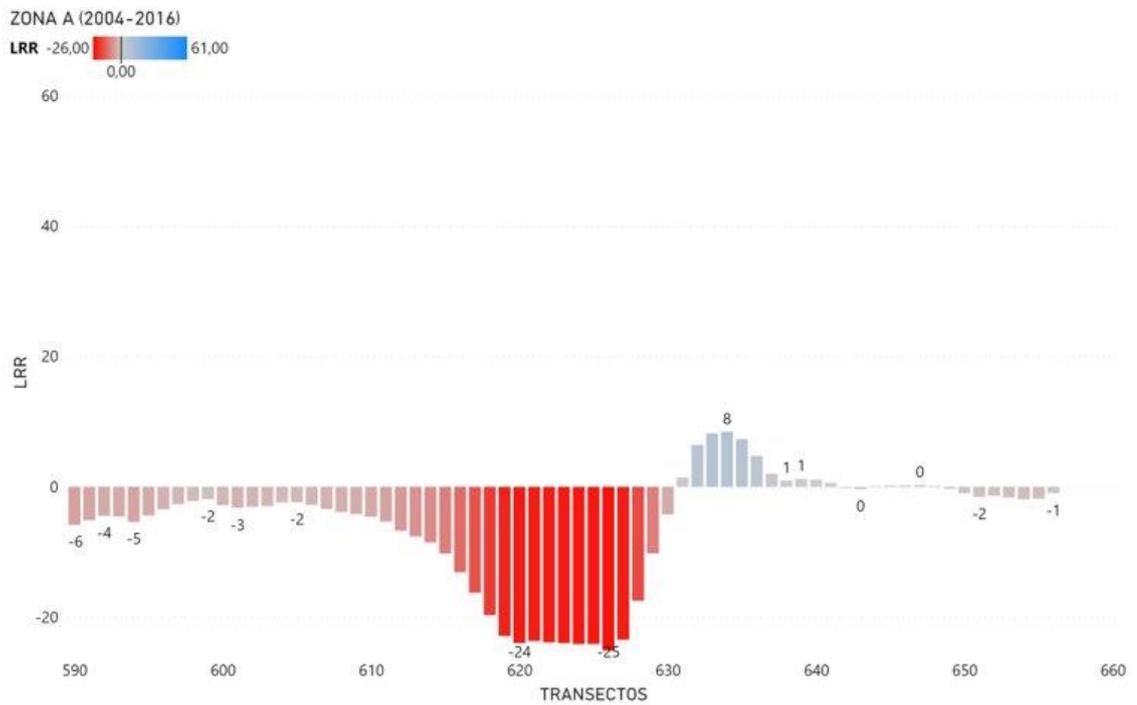


La zona E no presentó cambios significativos en los transectos, las tasas de LRR no sobrepasaron el rango entre -4 y 5 m/año, tanto para procesos de erosión y de acreción.

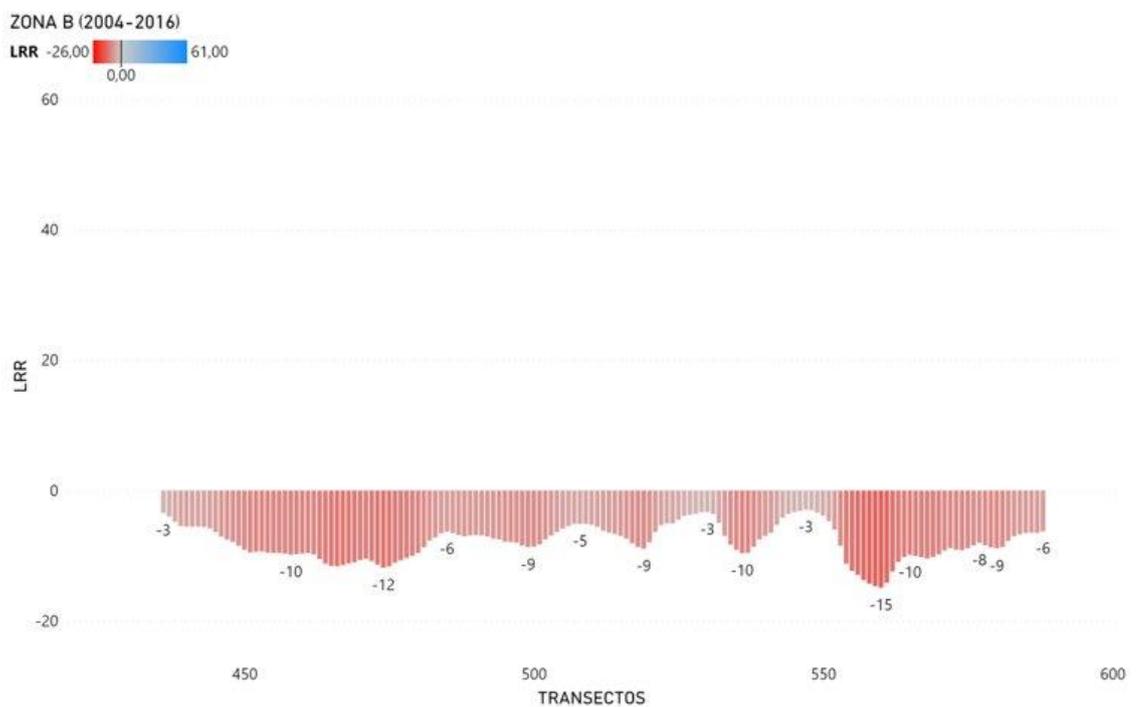


2004-2016

Los procesos erosivos fueron los que más se presentaron en todas las zonas del archipiélago. La zona A tuvo la mayor tasa de erosión durante el periodo 2004-2016, siendo 24 m/año. Esto quiere decir que en tan solo 12 años retrocedió la línea de costa 288 m aproximadamente en gran parte de esta zona. Por otro lado, en el archipiélago los procesos de acreción predominaron en la zona C₁ con una tasa de LRR de 61 m/año.

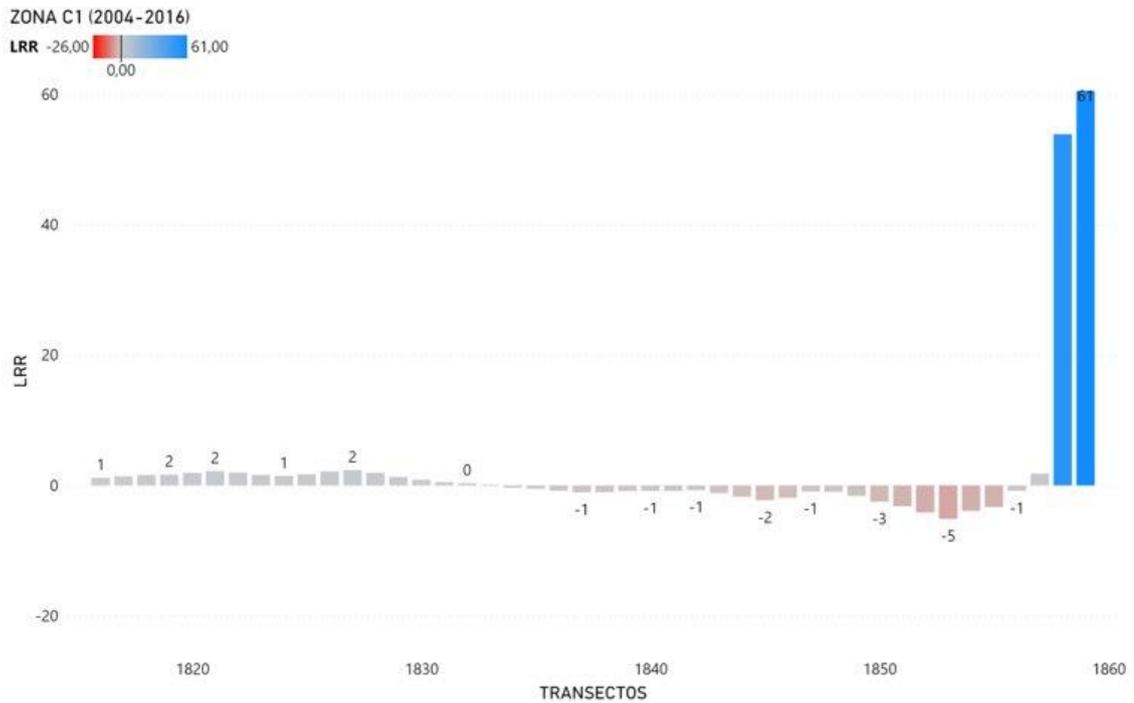


En la zona B del archipiélago se observó solo procesos erosivos con tasas que oscilan desde los 3 m/año hasta 15 m/año.

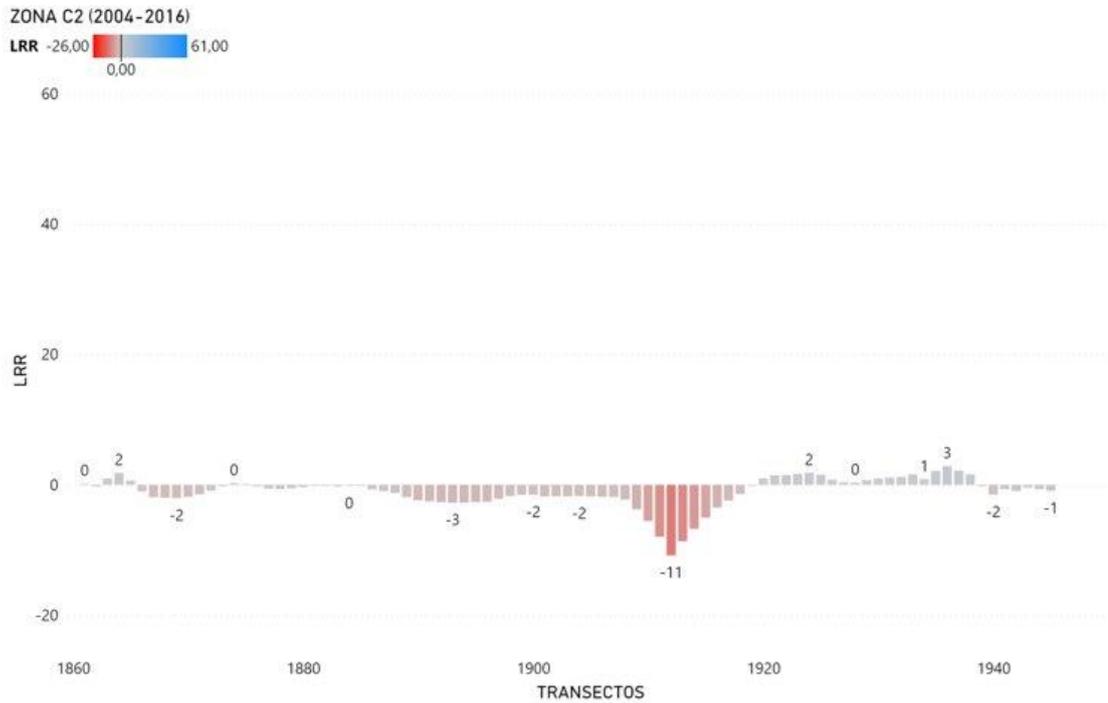


Los procesos acrecivos en la zona C₁ no fueron homogéneos a lo largo de los transectos, la acreción aumenta espontáneamente en dos transectos con valores

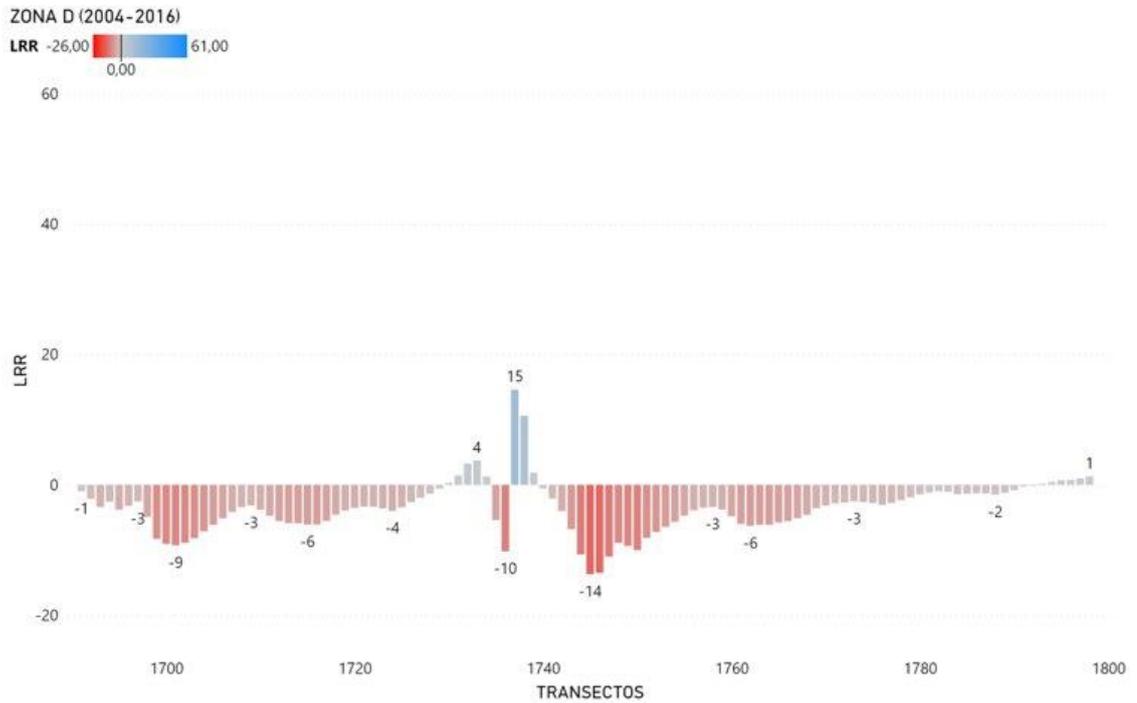
muy altos como se observa en la figura. La tasa de LRR máxima representó el límite de procesos acrecivos en el periodo 2004-2016.



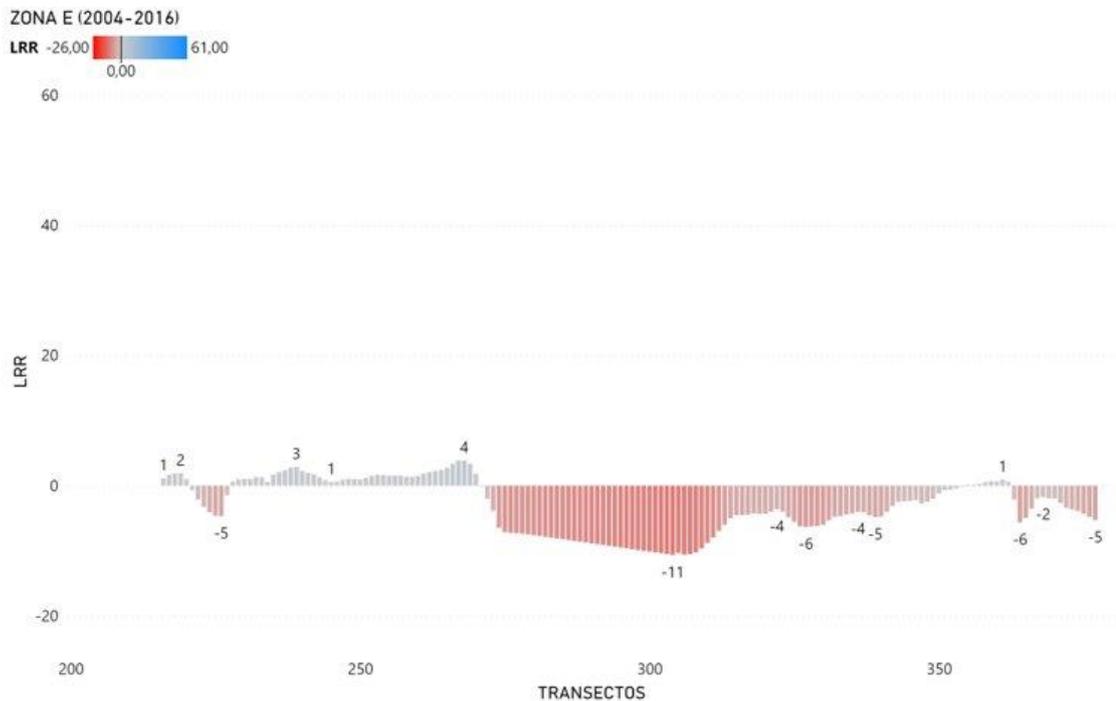
En la zona C₂ presentó un pequeño grupo de transectos que no seguían a la media. Las tasas de LRR de acreción y erosión se encontraban entre 0-3 m/año y 0-11 m/año, respectivamente.



En la zona D predominaron los procesos erosivos, no obstante, se presentaron transectos acrecivos con tasas entre 1-15 m/año. Por otro lado, las tasas de LRR de procesos erosivos se encontraron desde 1 m/año hasta los 14 m/año.

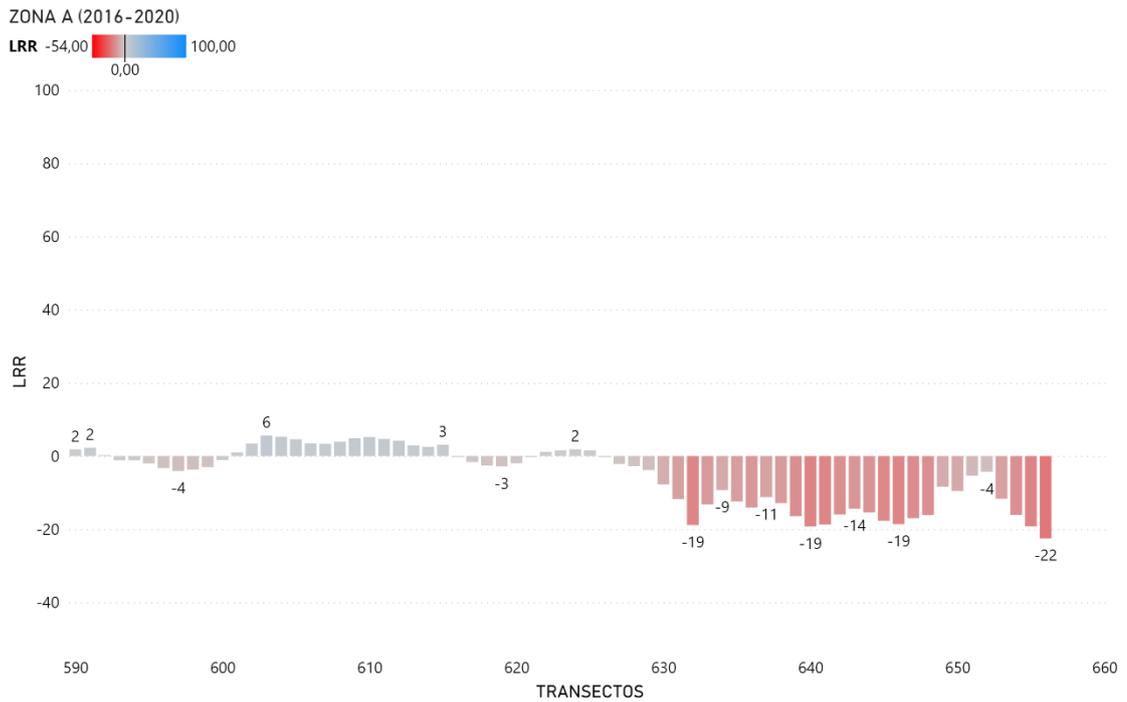


En la zona E las tasas de LRR de acreción 1-4 m/año no fueron significativas en comparación con los procesos erosivos, debido a que se presentaron tasas de 1-11 m/año y por la cantidad de transectos que mostraban erosión en la zona.



2016-2020

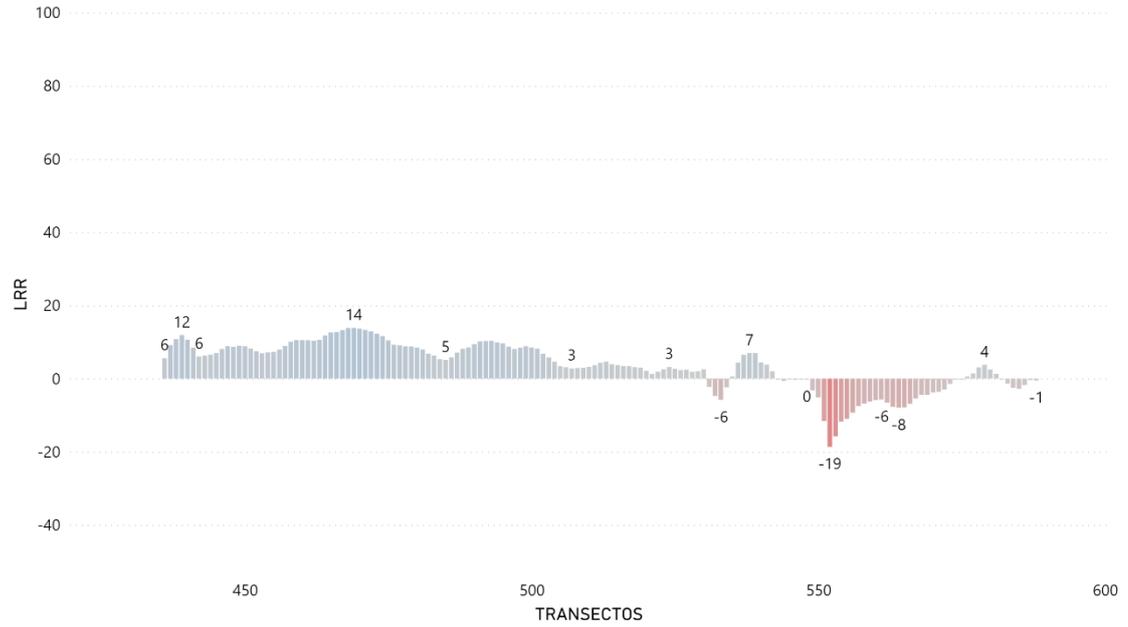
La zona A, en Punta Jambelí presentó una erosión constante abarcando los transectos del 630 al 660, las tasas oscilaron entre -22 y -4 m/año. La acreción en el resto de la zona fue casi imperceptible.



En la zona B la acreción fue mayor que la erosión, aunque las tasas de EPR de ambos procesos no fueron elevadas, oscilando entre -19 y 14 m/año. Los transectos erosivos se concentraron al norte del Balneario de Jambelí.

ZONA B (2016-2020)

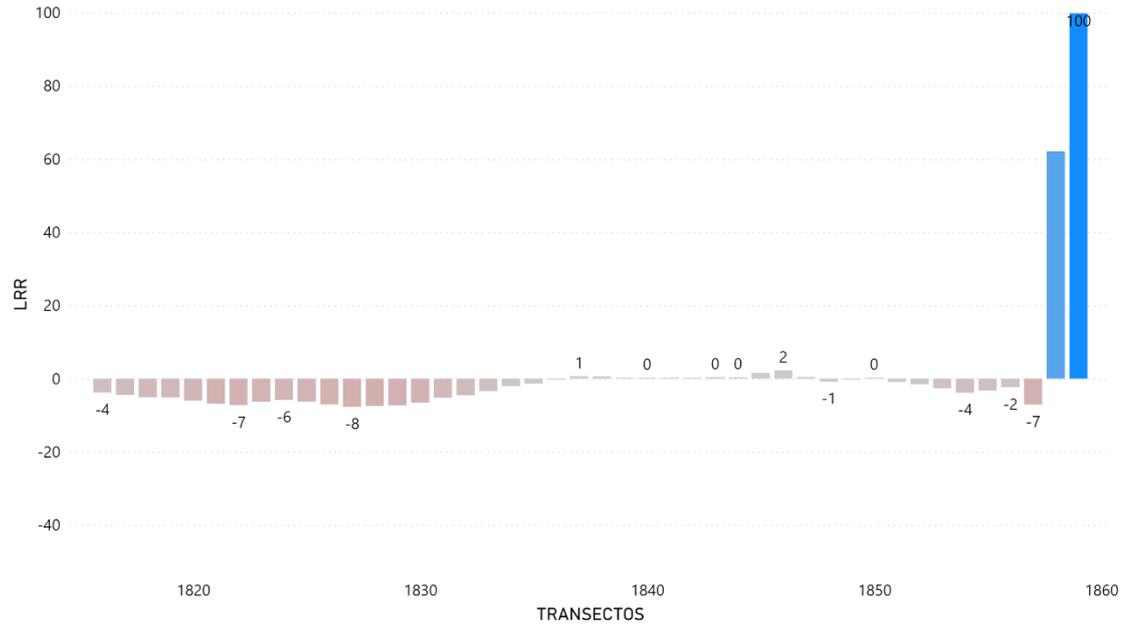
LRR -54,00 0,00 100,00



La zona C₁ casi no presentó cambios a excepción de dos transectos que se dispararon en la punta sur del archipiélago de Jambelí con tasas acrecivas de EPR de 60 y 100 m/año. La erosión del resto de la zona fue insignificante en comparación.

ZONA C1 (2016-2020)

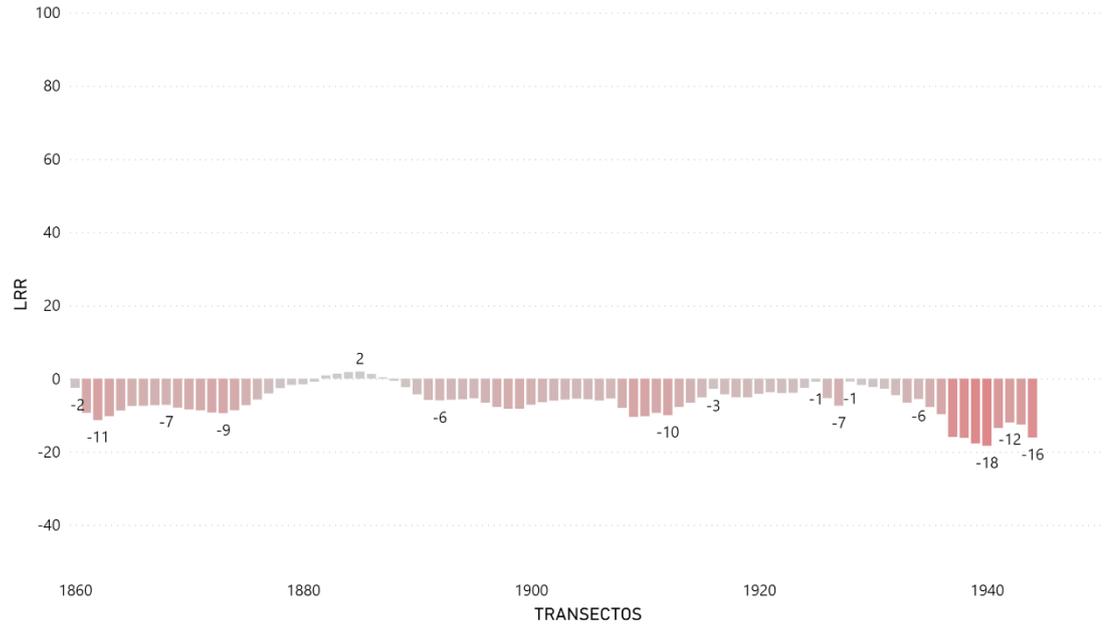
LRR -54,00 0,00 100,00



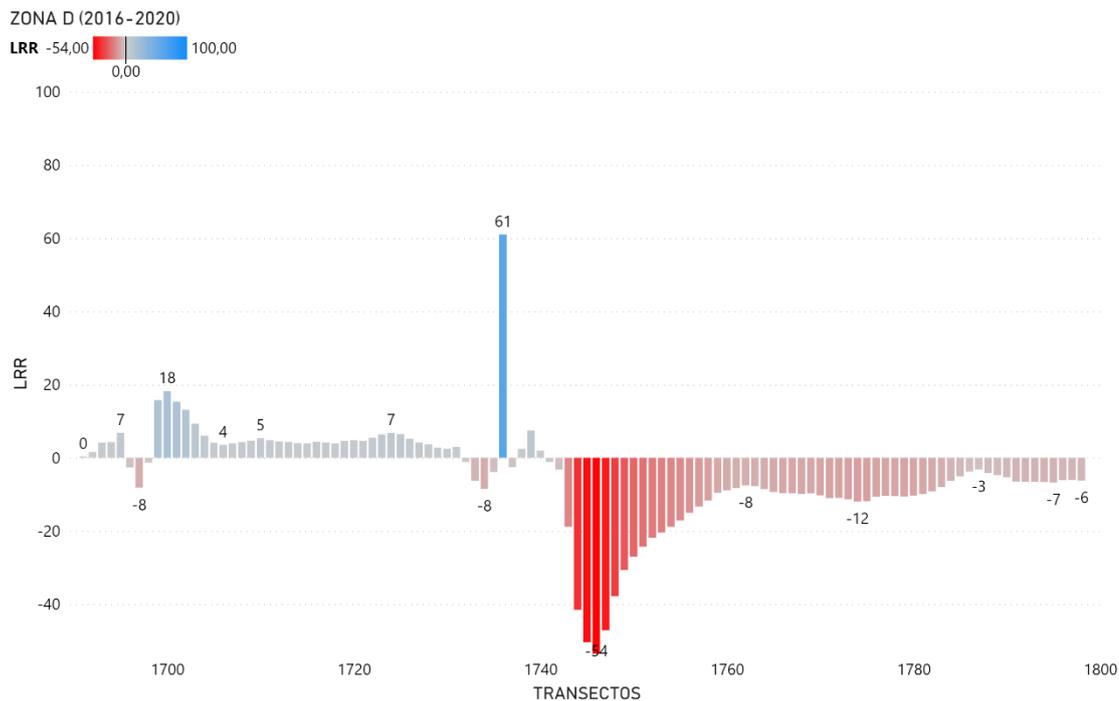
En la zona C₂, los transectos fueron principalmente erosivos, y esta erosión se mantuvo constante a lo largo de toda el área entre los transectos 1860 y 1950, con tasas entre -18 y -1 m/año.

ZONA C2 (2016-2020)

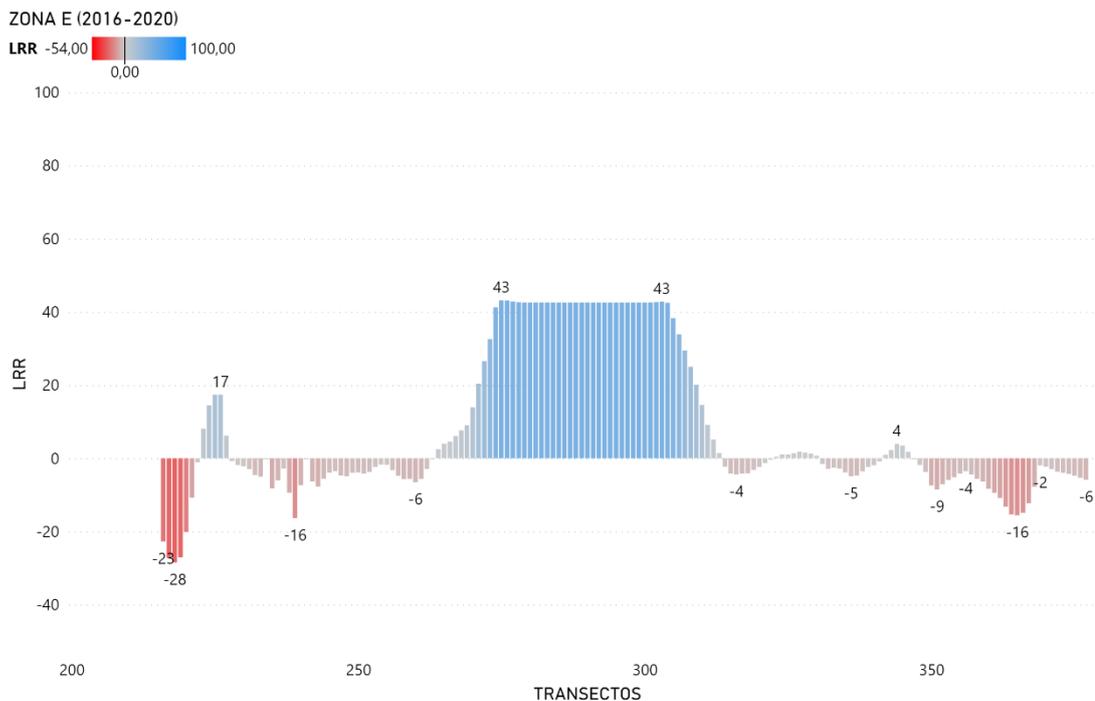
LRR -54,00 0,00 100,00



En la zona D, los transectos del 1700 al 1740 son principalmente acrecivos, comúnmente la tasa de acreción no sobrepasa los 18 m/año, exceptuando un transecto con 61 m/año. Mientras que, los transectos de 1740 a 1800, presentan una continuidad erosiva, siendo las tasas mayores cerca de la interfase entre los procesos con un EPR DE -44 m/año y decreciendo progresivamente hasta los -3 m/año.



La zona E, se caracterizó por presentar erosión en los extremos del sector, mientras que, en el centro, entre los transectos 270 y 320 tuvo una acreción representativa, con tasas elevadas de 43 m/año.



Apéndice A3: Uso de suelo

3.1 Tabla resumen de uso de suelo

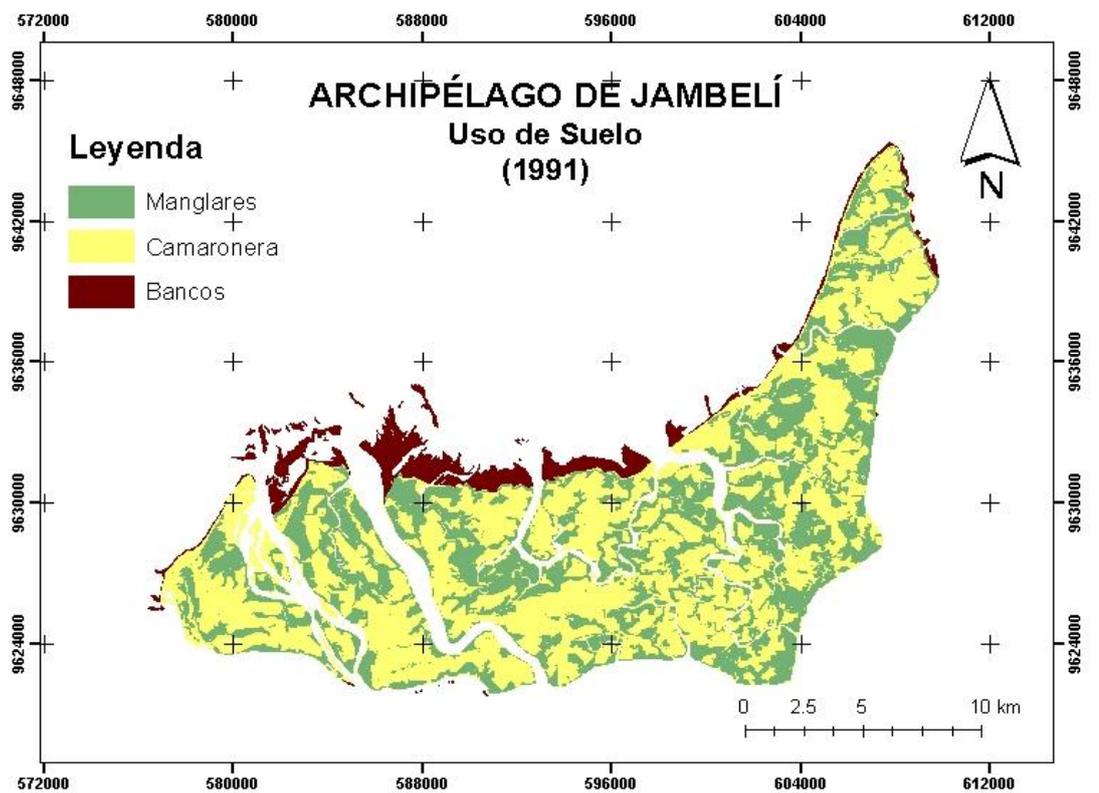
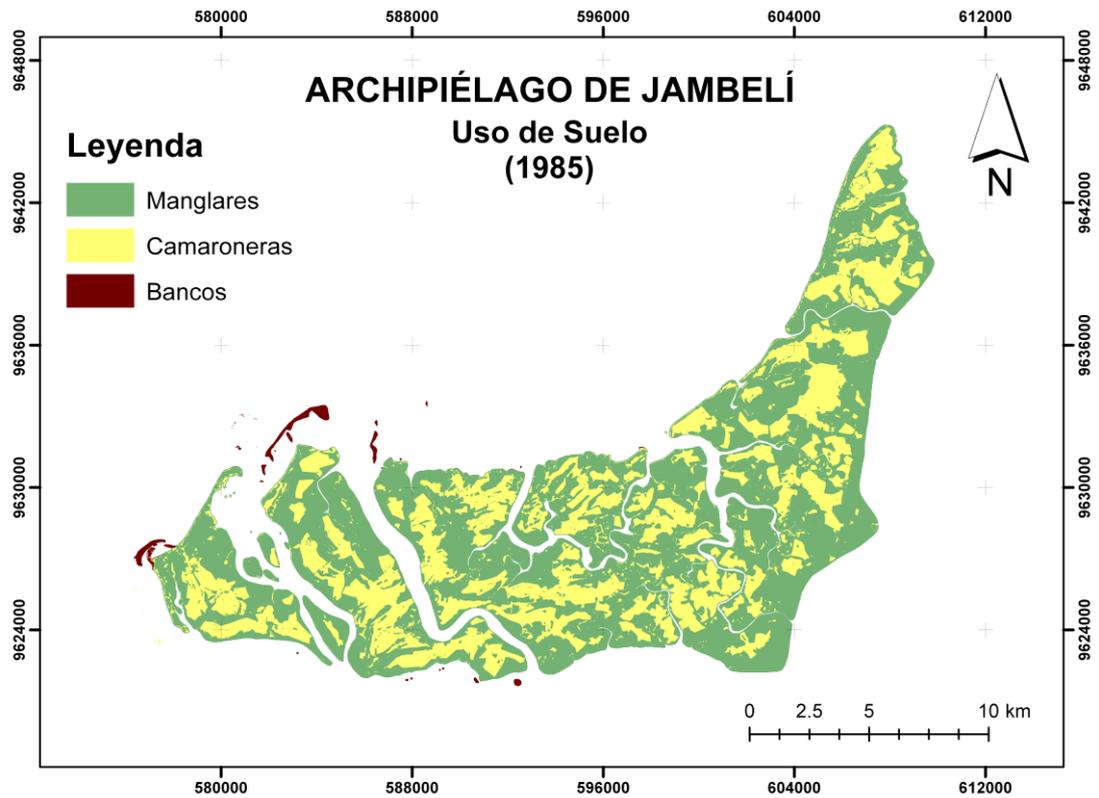
USO DE SUELO								
Año	AREA (km ²)				%			
	Manglar	Camaroneras	Bancos de arena	Total	Manglar	Camaroneras	Bancos de arena	Total
1985	170,01	90,49	3,19	263,69	64,47%	34,32%	1,21%	100,00%
1991	107,16	156,13	19,65	282,94	37,87%	55,18%	6,94%	100,00%
1997	108,97	140,04	14,34	263,35	41,38%	53,18%	5,45%	100,00%
2001	83,85	181,14	28,77	293,76	28,54%	61,66%	9,79%	100,00%
2004	115,94	135,78	26,47	278,19	41,68%	48,81%	9,52%	100,00%
2010	83,42	170,94	9,94	264,30	31,56%	64,68%	3,76%	100,00%
2016	92,37	160,71	8,77	261,85	35,28%	61,37%	3,35%	100,00%
2020	104,96	157,29	10,92	273,17	38,42%	57,58%	4,00%	100,00%

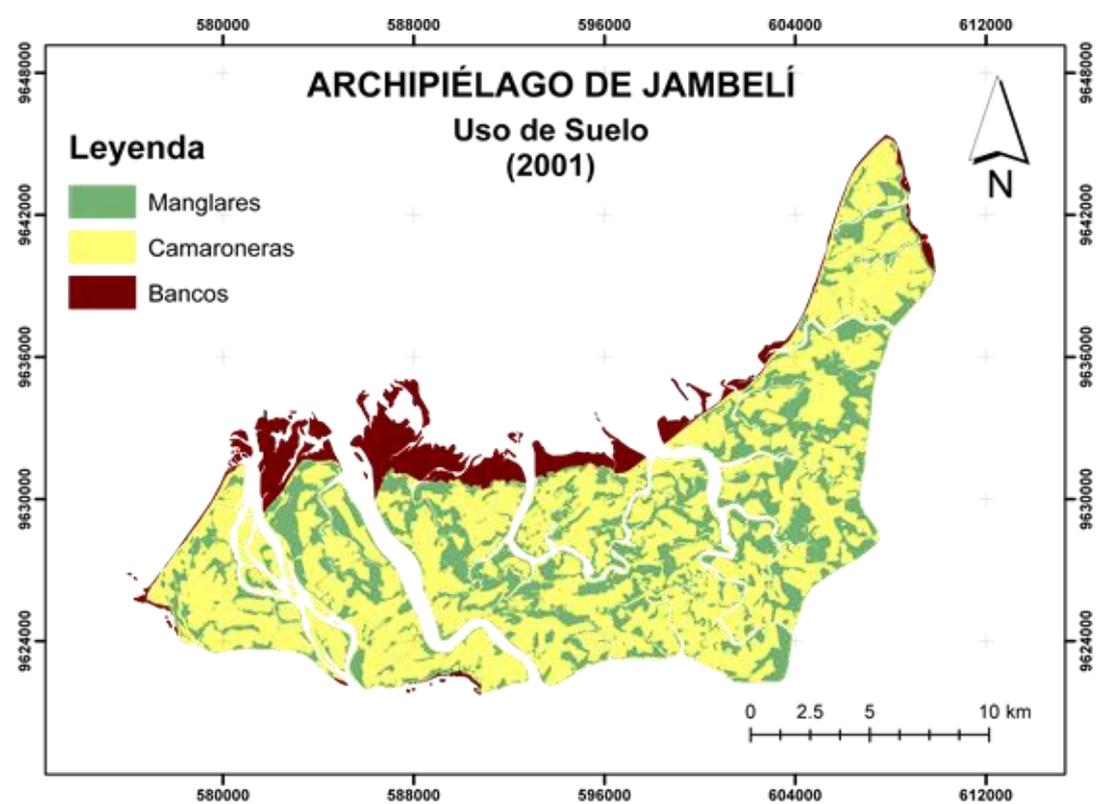
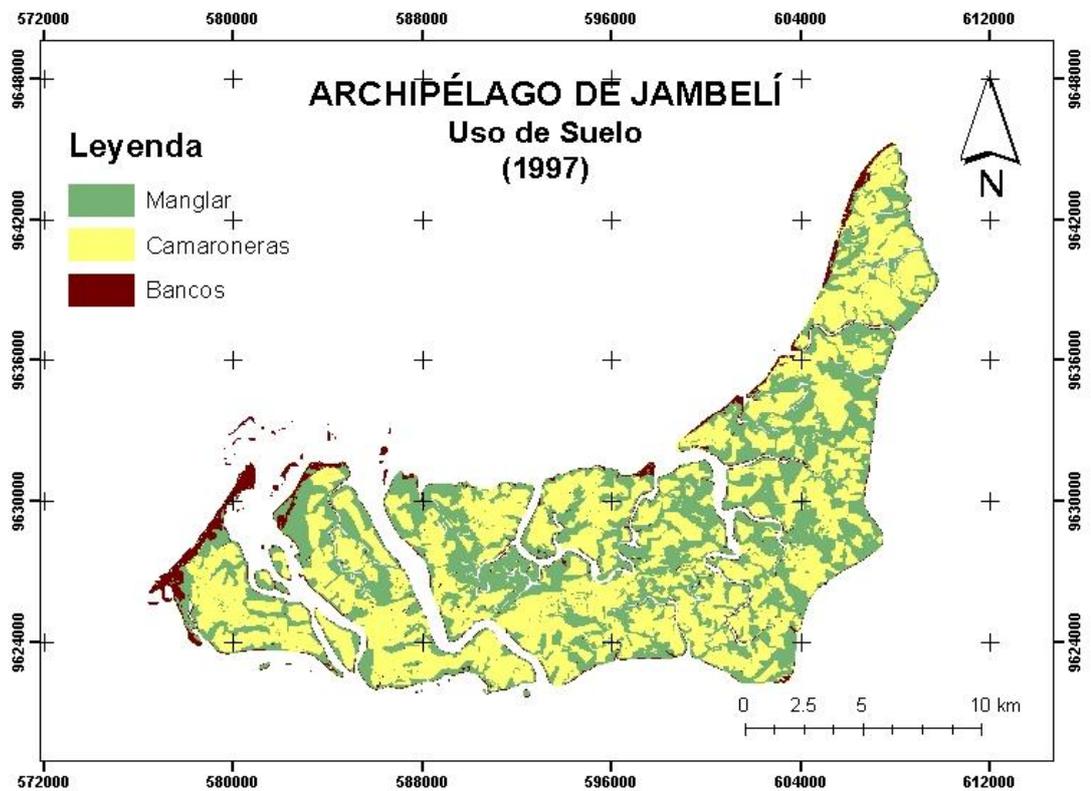
Se estimó el volumen potencial mínimo con el uso de un espesor medio de 1 m para manglar y bancos de arenas mientras que para camaroneras se escogió un espesor de 3 m.

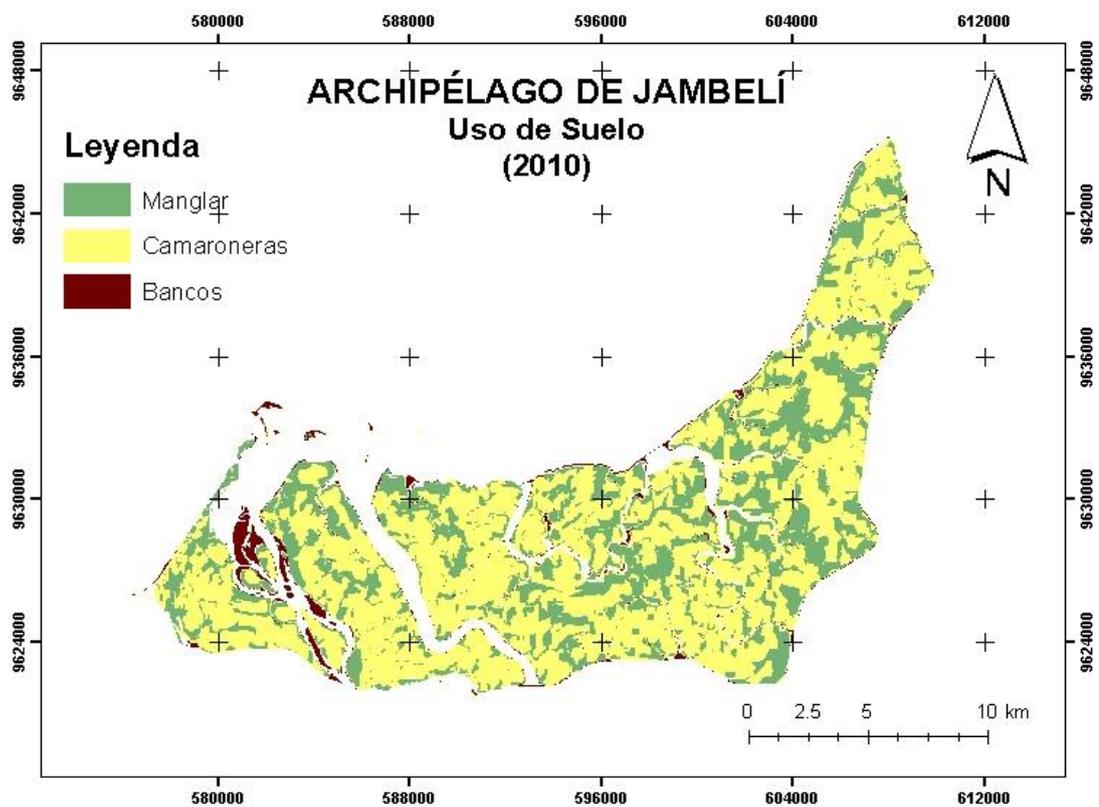
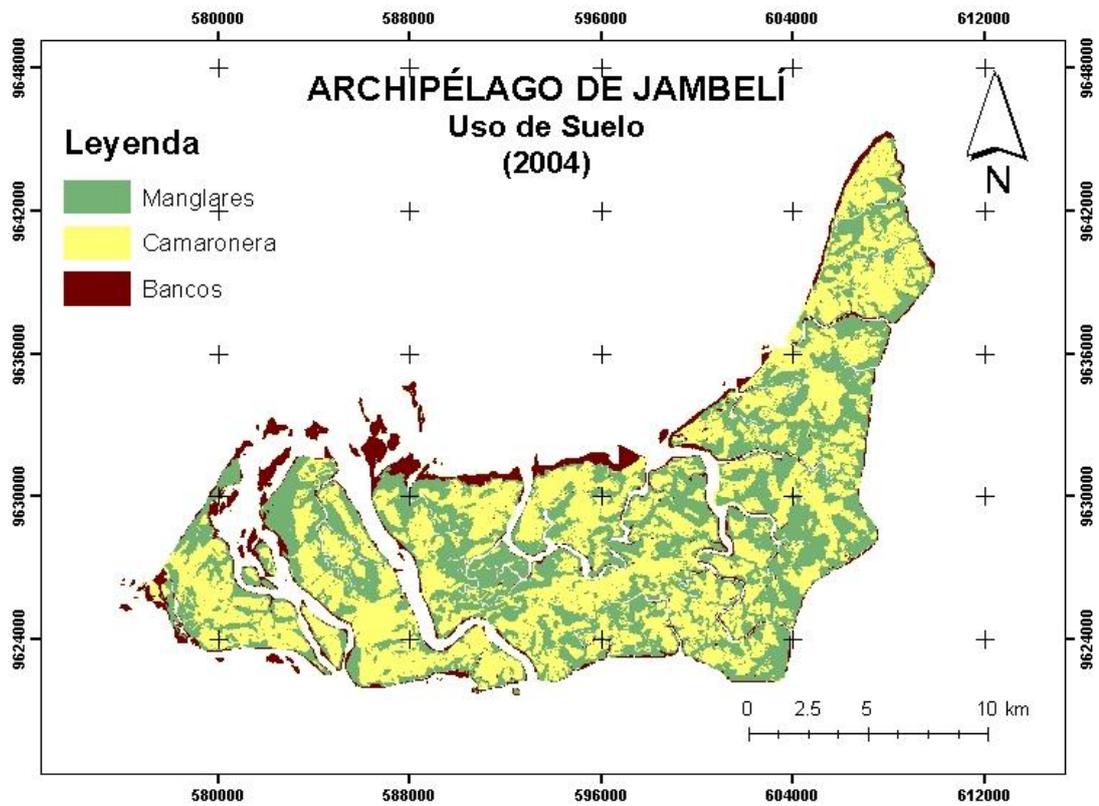
3.2 Cálculos de volumen potencial mínimo de bancos de arena

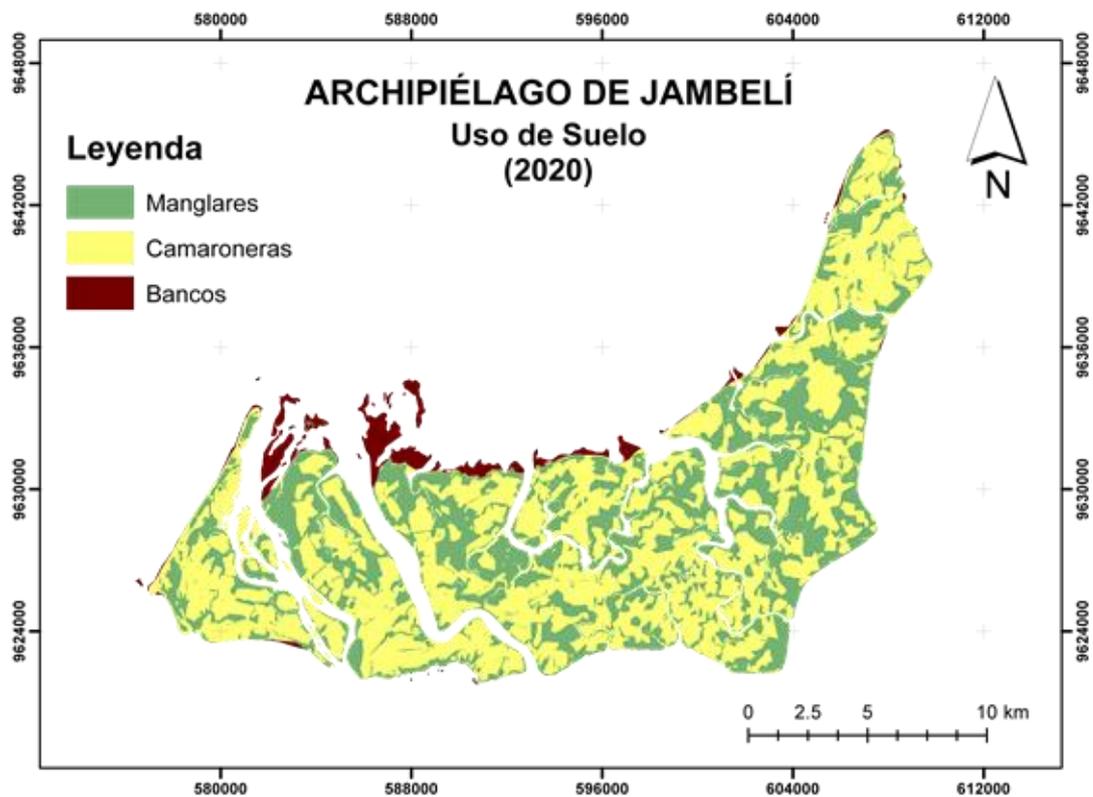
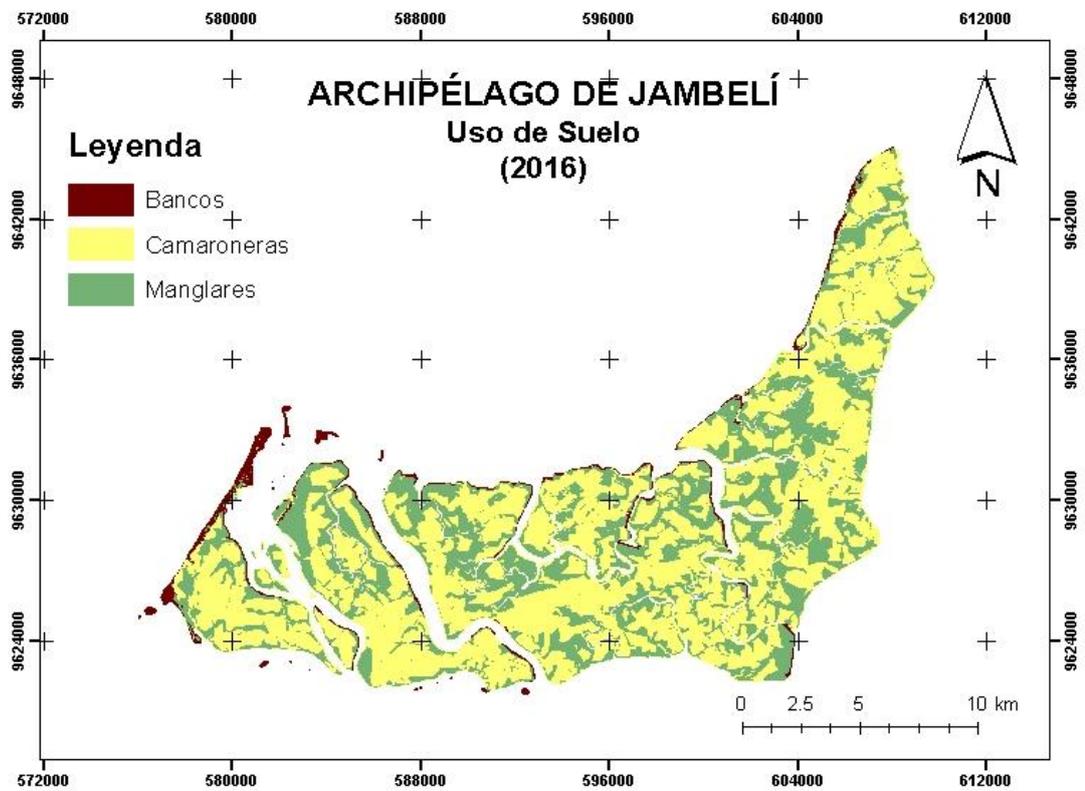
x(km)	$x \cdot \tan(2^\circ)$	Área (km ²)	Espesor	Volumen bancos de arena (km ³)	% Bancos de arena en relación a camaroneras
0,02	0,000698415	6,98415E-06	0,00034921	0,001113973	0,41
0,5	0,017460385	0,004365096	0,00873019	0,17154828	36,63
0,3	0,010476231	0,001571435	0,00523812	0,075114575	17,88
0,5	0,017460385	0,004365096	0,00873019	0,251167635	46,22
0,2	0,006984154	0,000698415	0,00349208	0,092435277	22,69
0,05	0,001746038	4,3651E-05	0,00087302	0,008677811	1,69
0,05	0,001746038	4,3651E-05	0,00087302	0,007656379	1,59
0,2	0,006984154	0,000698415	0,00349208	0,03813348	8,08

3.3 Mapas de uso de suelo







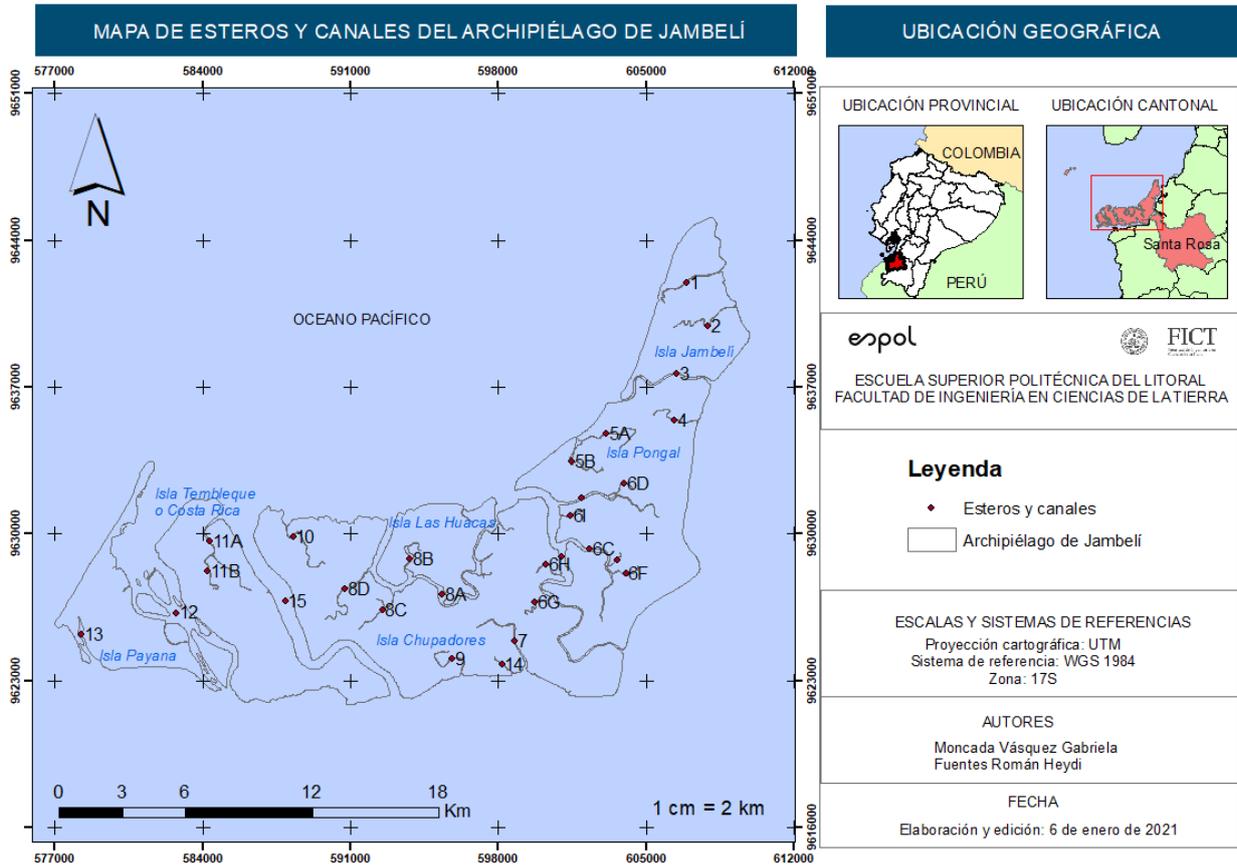


Apéndice A4: Esteros y canales

4.1 Drenajes

Estuario	Bifurcación	Longitud	Ancho	Área de drenaje
1		3751,63	3751,63	3751,63
2		4445,19	4445,19	4445,19
3		5516,17	5516,17	5516,17
4		2786,55	2786,55	2786,55
5	A	4358,65	4358,65	4358,65
5	B	3278,24	3278,24	3278,24
6	A	15475,69	15475,69	15475,69
6	B	5800,49	5800,49	5800,49
6	C	5762,82	5762,82	5762,82
6	D	1591,49	1591,49	1591,49
6	E	983,44	983,44	983,44
6	F	1618,90	1618,90	1618,90
6	G	2161,69	2161,69	2161,69
6	H	1741,51	1741,51	1741,51
6	I	1150,46	1150,46	1150,46
7		4447,96	4447,96	4447,96
8	A	15322,91	15322,91	15322,91
8	B	2869,75	2869,75	2869,75
8	C	3846,63	3846,63	3846,63
8	D	4823,28	4823,28	4823,28
9		3396,80	3396,80	3396,80
10		4451,94	4451,94	4451,94
11	A	4958,83	4958,83	4958,83
11	B	2450,93	2450,93	2450,93
12		16505,85	16505,85	16505,85
13		2854,54	2854,54	2854,54
14		1234,80	1234,80	1234,80
15		13810,85	13810,85	13810,85

4.2 Mapa de esteros y canales



APÉNDICE B
Correcciones

Apéndice B1: Línea de Costa

1.1 Pendientes

Perfil	Año	Este	Norte	Jambelí
1	2012	606273,895	9643491,542	3,17
2	2012	606268,365	9643461,862	4,16
3	2012	606221,648	9643346,569	3,79
4	2012	606035,738	9642885,662	4,16
5	2012	605869,036	9642410,073	5,61
6	2012	604692,172	9641921,493	6,21
7	2012	605548,894	9641480,894	5,53
8	2012	605292,847	9640439,267	4,78
9	2012	605127,826	9639968,101	5,58
10	2012	604981,399	9639500,181	6,86
11	2012	604935,688	9639354,442	6,33
12	2012	604822,361	9639044,047	5,38
13	2012	604425,488	9638042,440	4,19
14	2012	604436,905	9638020,242	3,42
15	2012	604265,131	9637605,409	4,11
16	2012	604026,112	9637158,097	3,42
17	2012	Jambelí 5, (Morante et al., 2012).		4,28
18	2012	Jambelí 2, (Morante et al., 2012).		6,84
19	2012	Jambelí 3, (Morante et al., 2012).		6,84
20	2010	E1, (Loor, 2015).		1,03
21	2010	E2, (Loor, 2015).		3,12
22	2010	E3, (Loor, 2015).		6,51
23	2010	E4, (Loor, 2015).		4,00
24	2010	E5, (Loor, 2015).		4,28
Promedio				4,73
Mediana				4,28
Moda				4,16

1.2 Tabla de corrección de marea

Año	Hora imagen sat	x(m)	xi(m)	a	b	w	phi	h
2004	15:22	6,400	2,800	0,479	0,219	3,359	27,692	1,470
2010	15:25	6,250	1,850	0,468	-0,602	1,848	16,470	0,547
2016	15:33	6,217	1,767	0,465	-0,435	1,775	15,937	0,504
2020	15:08	6,500	5,833	0,486	-0,284	2,556	21,470	2,294

1.3 Tabla de espesores de playa

AÑO 1985

PLAYA	Max	Med	Min	Promedio	Corrección db	Base de transectos
Jambelí	86,45	62,41	58,85	69,24	-	-
"Las dos hermanas"	70,89	55,64	43,94	56,82	-	-
Las Huacas	62,03	62,52	58,87	61,14	-	-
"Las casitas"	62,09	39,29	39,22	46,87	-	-
Costa Rica	39,56	39,50	27,42	35,49	-	-
San Gregorio	66,25	44,59	22,27	44,37	-	-

AÑO 1991

PLAYA	Max	Med	Min	Promedio	Corrección db	Base de transectos
Jambelí	42,09	42,92	49,41	44,81	-	-
"Las dos hermanas"	51,66	39,43	22,50	37,86	-	-
Las Huacas	39,33	32,72	40,03	37,36	-	-
"Las casitas"	30,08	28,78	21,16	26,67	-	-
Costa Rica	37,41	41,2	23,30	33,97	-	-
San Gregorio	176,65	93,6	62,12	110,79	-	-

AÑO 1997

PLAYA	Max	Med	Min	Promedio	Corrección db	Base de transectos
Jambelí	88,06	62,44	55,63	68,71	-	-
"Las dos hermanas"	98,31	78,45	70,89	82,55	-	-
Las Huacas	55,21	39,34	27,80	40,78	-	-
"Las casitas"	117,66	70,89	58,81	82,45	-	-
Costa Rica	80,91	62,75	39,76	61,14	-	-
San Gregorio	191,44	158,89	62,38	137,57	-	-

AÑO 2001

PLAYA	Max	Med	Min	Promedio	Corrección db	Base de transectos
Jambelí	42,01	49,92	21,00	37,64	-	-
"Las dos hermanas"	33,67	39,68	19,84	31,06	-	-
Las Huacas	19,66	10,76	33,75	21,39	-	-
"Las casitas"	20,11	17,06	18,20	18,46	-	-
Costa Rica	28,23	31,46	18,10	25,93	-	-
San Gregorio	103,05	44,49	25,68	57,74	-	-

AÑO 2004

PLAYA	Max	Med	Min	Promedio	Corrección db	Base de transectos
Jambelí	77,79	62,22	30,35	56,79	2,808	59,59
"Las dos hermanas"	52,71	17,48	6,62	25,60	2,808	28,41
Las Huacas	12,29	7,95	2,67	7,64	2,808	10,44
"Las casitas"	13,10	7,93	6,85	9,29	2,808	12,10
Costa Rica	9,33	7,66	5,9	7,63	2,808	10,44
San Gregorio	101,62	23,85	19,36	48,28	2,808	51,08

AÑO 2010

PLAYA	Max	Med	Min	Promedio	Corrección db	Base de transectos
Jambelí	72,66	26,40	13,72	37,59	1,855	39,45
"Las dos hermanas"	78,89	14,36	5,09	32,78	1,855	34,64
Las Huacas	1,14	2,17	1,85	1,72	1,855	3,58
"Las casitas"	1,14	0,70	1,42	1,09	1,855	2,94
Costa Rica	0,94	1,05	1,57	1,19	1,855	3,04
San Gregorio	30,18	34,77	37,91	34,29	1,855	36,14

AÑO 2016

PLAYA	Max	Med	Min	Promedio	Corrección db	Base de transectos
Jambelí	100,51	31,09	21,54	51,05	1,772	52,82
"Las dos hermanas"	28,83	11,40	9,24	16,49	1,772	18,26
Las Huacas	9,24	6,08	3,18	6,17	1,772	7,94
"Las casitas"	15,96	9,37	4,79	10,04	1,772	11,81
Costa Rica	4,28	4,25	3,14	3,89	1,772	5,66
San Gregorio	128,03	65,63	27,35	73,67	1,772	75,44

AÑO 2020

PLAYA	Max	Med	Min	Promedio	Corrección db	Base de transectos
Jambelí	8,41	39,08	22,2	23,23	5,850	29,08
"Las dos hermanas"	11,01	4,13	2,93	6,02	5,850	11,87
Las Huacas	5,81	4,63	1,96	4,13	5,850	9,98
"Las casitas"	2,84	3,00	7,65	4,50	5,850	10,35
Costa Rica	3,72	2,49	4,82	3,68	5,850	9,53
San Gregorio	113,17	43,43	18,23	58,28	5,850	64,13

APÉNDICE C
Datos oceanográficos

Apéndice C1: Mareas

1.1 Tabla de predicción diaria de mareas: Estación Puerto Bolívar 2016

TABLA II.- PREDICCIÓN DIARIA DE MAREAS EN EL ECUADOR
PUERTO BOLÍVAR 2016

ENERO						FEBRERO						MARZO					
DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.
	H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.
1	0308	0.7	16	0259	0.4	1	0358	0.8	16	0435	0.5	1	0307	0.7	16	0410	0.6
VI	0914	2.4	SA	0921	2.7	LU	1010	2.3	MA	1111	2.5	MA	0925	2.4	MI	1052	2.6
	1512	0.8		1512	0.5		1606	1.0		1705	0.8	MI	1519	1.0	DO	1649	0.9
	2143	2.6		2145	2.9		2228	2.4		2327	2.6	DO	2138	2.4		2307	2.5
2	0400	0.8	17	0357	0.5	2	0457	0.9	17	0546	0.6	2	0401	0.8	17	0521	0.7
SA	1007	2.3	DO	1022	2.6	MA	1114	2.2	MI	1230	2.5	MI	1022	2.3	JU	1210	2.5
	1604	0.9		1614	0.6		1713	1.1		1827	0.9		1621	1.1		1811	1.0
	2233	2.4		2243	2.8		2333	2.3					2239	2.3			
3	0458	0.9	18	0503	0.5	3	0602	0.9	18	0645	2.5	3	0508	0.9	18	0627	2.4
DO	1110	2.2	LU	1133	2.5	MI	1228	2.2	JU	0700	0.6	JU	1134	2.3	VI	0637	0.8
	1706	1.0		1726	0.8		1830	1.1		1349	2.6		1741	1.2		1329	2.6
	2332	2.4		2350	2.7					1945	0.9		2356	2.3		1930	0.9
4	0559	0.9	19	0612	0.5	4	0045	2.3	19	0200	2.5	4	0620	0.9	19	0145	2.4
LU	1220	2.2	MA	1250	2.5	JU	0707	0.8	VI	0808	0.5	VI	1253	2.4	SA	0750	0.7
	1815	1.1		1843	0.8		1340	2.3		1456	2.7		1901	1.1		1435	2.7
							1940	1.0		2050	0.7					2034	0.8
5	0036	2.3	20	0103	2.6	5	0152	2.4	20	0304	2.6	5	0113	2.4	20	0249	2.6
MA	0659	0.8	MI	0720	0.4	VI	0805	0.6	SA	0905	0.4	SA	0727	0.8	DO	0848	0.6
	1327	2.3		1404	2.6		1443	2.5		1551	2.8		1405	2.5		1528	2.8
	1922	1.0		1955	0.7		2039	0.9		2142	0.6		2008	0.9		2124	0.7
6	0137	2.4	21	0212	2.6	6	0250	2.5	21	0357	2.7	6	0220	2.5	21	0341	2.7
MI	0754	0.6	JU	0822	0.3	SA	0856	0.4	DO	0952	0.3	DO	0825	0.6	LU	0934	0.6
	1425	2.4		1509	2.8		1535	2.7		1636	2.9		1505	2.7		1611	2.9
	2020	0.9		2059	0.6		2129	0.7		2225	0.5		2102	0.7		2204	0.6
7	0232	2.5	22	0314	2.7	7	0341	2.7	22	0441	2.8	7	0317	2.7	22	0423	2.8
JU	0841	0.5	VI	0917	0.2	DO	0942	0.3	LU	1033	0.3	LU	0915	0.4	MA	1013	0.5
	1516	2.5		1604	2.9		1622	2.9		1715	3.0		1555	3.0		1648	3.0
	2109	0.8		2152	0.5		2213	0.5		2302	0.4		2149	0.5		2239	0.5
8	0320	2.6	23	0407	2.8	8	0429	2.8	23	0519	2.9	8	0408	2.9	23	0459	2.9
VI	0925	0.3	SA	1005	0.1	LU	1025	0.1	MA	1109	0.3	MA	1001	0.2	MI	1048	0.4
	1601	2.7		1652	3.0		1705	3.1		1748	3.1		1640	3.2		1720	3.0
	2153	0.6		2238	0.4		2255	0.4		2337	0.4		2233	0.3		2312	0.4
9	0404	2.7	24	0454	2.9	9	0514	3.0	24	0553	2.9	9	0456	3.1	24	0532	2.9
SA	1005	0.2	DO	1048	0.1	MA	1106	0.0	MI	1143	0.3	MI	1045	0.0	JU	1120	0.4
	1643	2.8		1734	3.1		1746	3.2		1819	3.1		1723	3.3		1749	3.0
	2234	0.5		2320	0.4		2336	0.2					2315	0.1		2343	0.4
10	0447	2.8	25	0535	2.9	10	0557	3.0	25	0610	0.4	10	0542	3.2	25	0602	2.9
DO	1045	0.1	LU	1128	0.1	MI	1147	0.0	JU	0625	2.9	JU	1128	0.0	VI	1152	0.4
	1724	2.9		1811	3.1		1827	3.3		1216	0.3		1805	3.4		1817	3.0
	2314	0.4		2358	0.4					1847	3.0		2357	0.0			
11	0529	2.9	26	0612	2.9	11	0018	0.1	26	0042	0.4	11	0627	3.2	26	0013	0.4
LU	1124	0.0	MA	1205	0.1	JU	0641	3.1	VI	0655	2.8	VI	1212	0.0	SA	0632	2.9
	1804	3.0		1845	3.0		1230	0.0		1248	0.4		1847	3.4		1223	2.5
	2354	0.4					1908	3.3		1914	2.9					1844	2.9
12	0611	2.9	27	0635	0.4	12	0101	0.1	27	0114	0.4	12	0041	0.0	27	0044	0.4
MA	1205	0.0	MI	0647	2.8	VI	0726	3.0	SA	0727	2.7	SA	0712	3.2	DO	0702	2.8
	1845	3.1		1241	0.2		1314	0.1		1321	0.5		1257	0.1		1254	0.6
				1916	3.0		1950	3.2		1943	2.8		1929	3.3		1913	2.9
13	0035	0.3	28	0111	0.4	13	0146	0.2	28	0148	0.5	13	0126	0.0	28	0115	0.5
MI	0654	2.9	JU	0720	2.7	SA	0813	2.9	DO	0801	2.6	DO	0758	3.1	LU	0735	2.8
	1246	0.1		1316	0.4		1401	0.2		1355	0.7		1345	0.2		1327	0.7
	1926	3.1		1947	2.9		2034	3.1		2015	2.7		2014	3.1		1944	2.8
14	0119	0.3	29	0147	0.5	14	0236	0.3	29	0224	0.6	14	0214	0.2	29	0150	0.6
JU	0739	2.8	VI	0755	2.6	DO	0904	2.8	LU	0839	2.5	LU	0848	2.9	MA	0811	2.7
	1331	0.1		1352	0.5		1453	0.4		1432	0.8		1437	0.5		1403	0.8
	2008	3.1		2018	2.8		2122	2.9		2052	2.6		2102	2.9		2020	2.6
15	0206	0.4	30	0226	0.6	15	0332	0.4	15	0308	0.4	15	0308	0.4	30	0230	0.7
VI	0827	2.8	SA	0833	2.5	LU	1002	2.7	MA	0945	2.8	MA	0945	2.8	MI	0854	2.6
	1419	0.3		1430	0.7		1553	0.6		1537	0.7		1537	0.7		1448	1.0
	2054	3.0		2054	2.6		2219	2.7		2159	2.7		2159	2.7		2104	2.5
			31	0308	0.7										31	0320	0.8
			DO	0917	2.4										JU	0947	2.5
				1513	0.9											1547	1.1
				2136	2.5											2202	2.4

HUSO HORARIO + 5

TABLA II.- PREDICCIÓN DIARIA DE MAREAS EN EL ECUADOR

PUERTO BOLÍVAR 2016

JULIO

AGOSTO

SEPTIEMBRE

DÍA	HORA	ALT.													
	H.M.	MTS.													
1	0135	2.8	16	0204	2.4	1	0333	2.9	16	0314	2.6	1	0452	3.0	
VI	0730	0.8	SA	0802	1.1	LU	0923	0.6	MA	0911	0.8	JU	1040	0.4	
	1351	2.9		1415	2.5		1540	2.9		1523	2.7	●	1701	2.9	
	2005	0.4		2026	0.7		2141	0.3		2125	0.4		●	2252	0.2
2	0243	2.9	17	0258	2.6	2	0426	3.0	17	0401	2.8	2	0530	3.1	
SA	0833	0.7	DO	0853	0.9	MA	1014	0.5	MI	0954	0.6	VI	1117	0.3	
	1454	3.0		1504	2.6	●	1632	3.0		1609	2.8		1739	3.0	
	2101	0.3		2111	0.6		●	2228	0.2		2207	0.3		2328	0.3
3	0344	3.0	18	0345	2.7	3	0513	3.1	18	0444	3.0	3	0604	3.1	
DO	0931	0.6	LU	0938	0.8	MI	1059	0.4	JU	1035	0.5	SA	1152	0.3	
	1551	3.1		1549	2.7		1717	3.0		●	1653	3.0		1812	2.9
	2153	0.2		2152	0.5		2311	0.2		○	2247	0.2			
4	0438	3.1	19	0428	2.8	4	0555	3.2	19	0525	3.1	4	0003	3.0	
LU	1024	0.5	MA	1019	0.7	JU	1140	0.4	VI	1114	0.4	DO	0635	3.0	
●	1644	3.1	○	1632	2.8		1759	3.0		1736	3.0		1226	0.4	
	2242	0.1		2231	0.4		2351	0.2		2327	0.1		1845	2.9	
5	0528	3.2	20	0509	2.9	5	0633	3.1	20	0605	3.2	5	0037	0.4	
MA	1113	0.4	MI	1058	0.6	VI	1219	0.4	SA	1154	0.3	LU	0704	2.9	
	1732	3.1		1713	2.9		1837	3.0		1819	3.1		1300	0.4	
	2327	0.1		2310	0.3								1917	2.8	
6	0614	3.2	21	0548	3.0	6	0029	0.3	21	0008	0.1	6	0111	0.5	
MI	1159	0.4	JU	1137	0.6	SA	0708	3.1	DO	0645	3.2	MA	0733	2.8	
	1817	3.1		1754	3.0		1257	0.5		1235	0.2		1334	0.5	
				2349	0.2		1913	2.9		1902	3.1		1950	2.7	
7	0011	0.2	22	0628	3.1	7	0106	0.4	22	0051	0.1	7	0147	0.7	
JU	0657	3.2	VI	1216	0.5	DO	0741	3.0	LU	0726	3.2	MI	0806	2.6	
	1243	0.5		1835	3.0		1335	0.6		1319	0.2		1412	0.6	
	1859	3.0					1948	2.8		1947	3.0		2028	2.5	
8	0054	0.3	23	0029	0.2	8	0144	0.6	23	0136	0.3	8	0227	0.8	
VI	0737	3.1	SA	0707	3.1	LU	0814	2.8	MA	0809	3.1	JU	0844	2.5	
	1326	0.6		1257	0.5		1414	0.7		1407	0.3		1455	0.8	
	1940	2.9		1918	2.9		2026	2.6		2036	2.9		2113	2.4	
9	0136	0.4	24	0110	0.3	9	0223	0.7	24	0227	0.4	9	0314	1.0	
SA	0816	3.0	DO	0748	3.1	MA	0849	2.7	MI	0857	2.9	VI	0931	2.4	
	1409	0.7		1341	0.5		1457	0.8		●	1501	0.4	●	1549	0.9
	2022	2.8		2003	2.9		2108	2.5		●	2132	2.7	●	2209	2.3
10	0218	0.6	25	0156	0.4	10	0307	0.9	25	0325	0.6	10	0415	1.1	
DO	0855	2.9	LU	0831	3.1	MI	0930	2.6	JU	0952	2.8	SA	1033	2.3	
	1455	0.8		1430	0.5	●	1546	0.9		1602	0.5		1654	0.9	
	2105	2.6		2053	2.8		●	2158	2.4		2236	2.6		2317	2.3
11	0303	0.8	26	0246	0.5	11	0359	1.0	26	0433	0.8	11	0531	1.1	
LU	0937	2.7	MA	0919	3.0	JU	1020	2.4	VI	1057	2.6	DO	1147	2.2	
●	1544	0.9	●	1525	0.6		1643	0.9		1712	0.6		1804	0.9	
	2155	2.5		2149	2.7		2259	2.3		2350	2.6				
12	0353	1.0	27	0343	0.7	12	0503	1.1	27	0551	0.8	12	0032	2.3	
MA	1023	2.6	MI	1012	2.9	VI	1123	2.4	SA	1212	2.6	LU	0647	1.1	
	1639	1.0		1627	0.6		1746	1.0		1825	0.6		1301	2.3	
	2252	2.4		2253	2.6								1910	0.8	
13	0450	1.1	28	0449	0.8	13	0008	2.3	28	0108	2.6	13	0142	2.5	
MI	1118	2.5	JU	1115	2.8	SA	0615	1.2	DO	0709	0.8	MA	0750	0.9	
	1739	1.0		1734	0.6		1232	2.3		1327	2.6		1404	2.5	
	2356	2.3					1850	0.9		1936	0.6		2007	0.7	
14	0555	1.2	29	0005	2.6	14	0119	2.3	29	0220	2.7	14	0240	2.6	
JU	1218	2.5	VI	0602	0.8	DO	0724	1.1	LU	0817	0.7	MI	0842	0.7	
	1839	0.9		1224	2.7		1337	2.4		1434	2.7		1457	2.7	
				1842	0.6		1949	0.8		2037	0.5		2056	0.5	
15	0103	2.4	30	0120	2.7	15	0221	2.5	30	0319	2.8	15	0329	2.8	
VI	0702	1.1	SA	0716	0.8	LU	0822	0.9	MA	0913	0.6	JU	0927	0.5	
	1320	2.5		1336	2.8		1433	2.5		1531	2.8		1546	2.9	
	1936	0.9		1948	0.5		2040	0.6		2128	0.4		2141	0.3	
			31	0231	2.8				31	0409	3.0		●	2231	0.3
			DO	0824	0.7				MI	1000	0.5				
				1441	2.8					1619	2.9				
				2048	0.4					2212	0.3				

TABLA II.- PREDICCIÓN DIARIA DE MAREAS EN EL ECUADOR

PUERTO BOLÍVAR 2016

OCTUBRE						NOVIEMBRE						DICIEMBRE					
DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.
H.M.		MTS.	H.M.		MTS.	H.M.		MTS.	H.M.		MTS.	H.M.		MTS.	H.M.		MTS.
1	0500	3.0	16	0427	3.2	1	0530	2.8	16	0536	3.1	1	0536	2.7	16	0609	3.0
SA	1052	0.3	DO	1024	-0.1	MA	1128	0.2	MI	1132	-0.3	JU	1136	0.2	VI	1204	-0.2
	2305	0.3		2243	0.0		1754	2.8		1814	3.2		1807	2.8		1850	3.2
							2347	0.5									
2	0532	2.9	17	0512	3.2	2	0600	2.7	17	0601	0.1	2	0600	0.5	17	0638	0.2
DO	1124	0.2	LU	1107	-0.2	MI	1159	0.2	JU	0623	3.1	VI	0609	2.7	SA	0656	2.9
	1748	2.9		1742	3.2		1825	2.8		1218	-0.2		1209	0.2		1250	0.0
	2338	0.4		2328	0.0					1902	3.2		1840	2.8		1937	3.1
3	0601	2.9	18	0556	3.2	3	0019	0.5	18	0051	0.2	3	0035	0.6	18	0127	0.3
LU	1155	0.3	MA	1150	-0.2	JU	0630	2.7	VI	0712	2.9	SA	0644	2.6	DO	0743	2.8
	1818	2.9		1828	3.2		1230	0.3		1307	0.0		1244	0.3		1338	0.1
							1857	2.7		1952	3.0		1916	2.8		2024	3.0
4	0010	0.4	19	0015	0.0	4	0053	0.6	19	0144	0.3	4	0112	0.6	19	0217	0.5
MA	0629	2.8	MI	0641	3.1	VI	0703	2.6	SA	0802	2.8	DO	0722	2.6	LU	0832	2.6
	1227	0.3		1236	-0.1		1304	0.4		1358	0.2		1322	0.4		1426	0.4
	1848	2.8		1916	3.1		1933	2.7		2044	2.9		1956	2.7		2111	2.8
5	0043	0.5	20	0104	0.2	5	0130	0.7	20	0240	0.5	5	0154	0.7	20	0310	0.6
MI	0658	2.7	JU	0728	3.0	SA	0741	2.5	DO	0857	2.6	LU	0805	2.5	MA	0925	2.5
	1259	0.4		1324	0.0		1343	0.5		1453	0.4		1406	0.5		1518	0.6
	1920	2.7		2006	3.0		2013	2.6		2141	2.7		2040	2.7		2201	2.7
6	0117	0.6	21	0157	0.3	6	0214	0.8	21	0342	0.7	6	0244	0.8	21	0407	0.7
JU	0730	2.6	VI	0819	2.8	DO	0825	2.4	LU	0959	2.4	MA	0856	2.4	MI	1024	2.3
	1333	0.5		1417	0.2		1429	0.7		1554	0.6		1458	0.6		1615	0.8
	1956	2.6		2101	2.8		2101	2.5		2243	2.6		2131	2.6		2256	2.5
7	0154	0.8	22	0257	0.5	7	0308	0.9	22	0450	0.8	7	0343	0.8	22	0509	0.8
VI	0807	2.5	SA	0917	2.6	LU	0920	2.3	MA	1109	2.3	MI	0957	2.4	JU	1130	2.3
	1413	0.6		1517	0.4		1527	0.8		1702	0.8		1558	0.7		1720	0.9
	2038	2.5		2204	2.7		2200	2.5		2348	2.6		2229	2.6		2355	2.4
8	0239	0.9	23	0406	0.7	8	0416	1.0	23	0559	0.8	8	0450	0.8	23	0612	0.8
SA	0852	2.3	DO	1025	2.4	MA	1029	2.3	MI	1223	2.3	JU	1107	2.4	VI	1240	2.3
	1502	0.8		1626	0.6		1636	0.9		1814	0.9		1706	0.8		1830	1.0
	2130	2.4		2315	2.6		2306	2.5					2333	2.6			
9	0337	1.0	24	0522	0.8	9	0529	0.9	24	0051	2.5	9	0558	0.7	24	0056	2.4
DO	0952	2.2	LU	1142	2.4	MI	1145	2.3	JU	0704	0.7	VI	1219	2.4	SA	0713	0.7
	1606	0.9		1741	0.8		1747	0.8		1330	2.4		1815	0.7		1344	2.3
	2234	2.3								1921	0.9		1935	1.0		1935	1.0
10	0451	1.1	25	0027	2.6	10	0015	2.6	25	0148	2.6	10	0038	2.7	25	0152	2.4
LU	1106	2.2	MA	0637	0.8	JU	0637	0.8	VI	0758	0.6	SA	0701	0.5	DO	0805	0.6
	1719	0.9		1258	2.4		1256	2.4		1426	2.5		1328	2.6		1439	2.4
	2348	2.4		1855	0.8		1853	0.7		2017	0.8		1921	0.6		2030	0.9
11	0608	1.0	26	0133	2.6	11	0119	2.7	26	0237	2.6	11	0142	2.8	26	0241	2.5
MA	1224	2.3	MI	0741	0.7	VI	0735	0.5	SA	0843	0.5	DO	0759	0.3	LU	0850	0.5
	1830	0.9		1403	2.5		1359	2.6		1513	2.6		1431	2.8		1524	2.5
				1958	0.7		1953	0.6		2103	0.7		2022	0.5		2116	0.8
12	0059	2.5	27	0228	2.7	12	0217	2.9	27	0319	2.6	12	0241	2.9	27	0325	2.5
MI	0715	0.8	JU	0832	0.5	SA	0827	0.3	DO	0922	0.4	LU	0852	0.1	MA	0930	0.4
	1332	2.5		1456	2.6		1456	2.8		1553	2.7		1529	2.9		1604	2.6
	1932	0.7		2048	0.6		2046	0.4		2142	0.6		2117	0.3		2157	0.7
13	0201	2.7	28	0314	2.8	13	0310	3.0	28	0356	2.7	13	0337	3.0	28	0404	2.6
JU	0810	0.6	VI	0914	0.4	DO	0915	0.0	LU	0957	0.3	MA	0942	-0.1	MI	1007	0.3
	1430	2.7		1541	2.7		1548	3.0		1629	2.7		1623	3.1		1641	2.7
	2025	0.5		2130	0.5		2136	0.2		2219	0.6		2210	0.2		2233	0.6
14	0254	2.9	29	0354	2.8	14	0400	3.1	29	0431	2.7	14	0430	3.1	29	0441	2.7
VI	0858	0.4	SA	0951	0.3	LU	1001	-0.1	MA	1031	0.2	MI	1030	-0.2	JU	1042	0.2
	1521	2.9		1619	2.8		1638	3.1		1702	2.8		1714	3.2		1716	2.8
	2113	0.3		2207	0.5		2225	0.1		2253	0.5		2301	0.1		2309	0.6
15	0342	3.0	30	0428	2.8	15	0448	3.2	30	0503	2.7	15	0520	3.1	30	0517	2.7
SA	0942	0.1	DO	1024	0.2	MA	1046	-0.3	MI	1103	0.2	JU	1117	-0.2	VI	1116	0.2
	1610	3.0		1653	2.8		1726	3.2		1734	2.8		1803	3.2		1751	2.9
	2159	0.1		2242	0.4		2313	0.1		2327	0.5		2350	0.1		2344	0.5
				0500	2.8												
				1056	0.2												
				1724	2.9												
				2314	0.4												

2020

TABLA II- PREDICCIÓN DIARIA DE MAREAS EN EL ECUADOR

PUERTO BOLÍVAR 2020

ENERO						FEBRERO						MARZO					
DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.
	H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.
1	0229	0.8	16	0234	0.4	1	0313	0.8	16	0401	0.5	1	0227	0.6	16	0330	0.5
MI	0832	2.4	JU	0851	2.7	SA	0925	2.3	DO	1028	2.6	DO	0847	2.5	LU	1005	2.6
	1434	0.7		1444	0.3	●	1519	0.9		1619	0.8		1438	0.9		1558	0.9
	2103	2.6		2126	3.0		2140	2.5		2248	2.6		2055	2.6	●	2219	2.5
2	0316	0.9	17	0331	0.5	2	0403	0.8	17	0505	0.6	2	0309	0.7	17	0433	0.7
JU	0920	2.3	VI	0949	2.6	DO	1020	2.2	LU	1140	2.4	LU	0934	2.4	MA	1115	2.5
●	1520	0.8	●	1541	0.5		1613	1.0		1736	0.9	●	1526	1.0		1715	1.1
	2147	2.5		2219	2.8		2232	2.4		2358	2.4		2142	2.4		2332	2.3
3	0409	0.9	18	0432	0.5	3	0502	0.9	18	0616	0.6	3	0405	0.8	18	0546	0.8
VI	1017	2.2	SA	1054	2.5	LU	1126	2.2	MA	1301	2.4	MA	1035	2.3	MI	1238	2.4
	1613	1.0		1646	0.7		1722	1.1		1901	1.0		1632	1.1		1845	1.1
	2238	2.4		2320	2.7		2337	2.3					2245	2.3			
4	0508	0.9	19	0538	0.5	4	0608	0.8	19	0116	2.4	4	0515	0.9	19	0056	2.3
SA	1123	2.1	DO	1207	2.5	MA	1241	2.2	MI	0728	0.6	MI	1150	2.3	JU	0704	0.8
	1715	1.1		1759	0.8		1838	1.1		1438	2.5		1756	1.2		1357	2.5
	2337	2.4								2018	0.9					2004	1.0
5	0609	0.9	20	0027	2.6	5	0049	2.3	20	0227	2.4	5	0005	2.3	20	0212	2.4
DO	1232	2.2	LU	0645	0.5	MI	0713	0.7	JU	0832	0.6	JU	0631	0.9	VI	0813	0.8
	1823	1.1		1322	2.5		1353	2.4		1520	2.6		1313	2.4		1459	2.6
				1916	0.8		1949	1.0		2117	0.8		1918	1.1		2101	0.9
6	0040	2.4	21	0136	2.6	6	0158	2.4	21	0326	2.5	6	0125	2.4	21	0311	2.5
LU	0707	0.8	MA	0749	0.4	JU	0812	0.6	VI	0924	0.5	VI	0741	0.7	SA	0906	0.7
	1337	2.3		1432	2.6		1456	2.5		1610	2.8		1427	2.6		1546	2.8
	1927	1.0		2025	0.8		2049	0.9		2203	0.7		2025	0.9		2144	0.8
7	0140	2.4	22	0240	2.6	7	0257	2.6	22	0413	2.6	7	0233	2.6	22	0357	2.6
MA	0759	0.6	MI	0846	0.4	VI	0905	0.4	SA	1008	0.4	SA	0841	0.5	DO	0948	0.6
	1434	2.4		1532	2.7		1550	2.7		1651	2.9		1526	2.8		1624	2.9
	2024	0.9		2124	0.7		2140	0.7		2242	0.6		2120	0.7		2220	0.6
8	0234	2.5	23	0336	2.6	8	0351	2.7	23	0454	2.7	8	0332	2.8	23	0435	2.8
MI	0846	0.4	JU	0937	0.3	SA	0953	0.2	DO	1045	0.3	DO	0932	0.3	LU	1023	0.5
	1525	2.6		1623	2.8		1638	2.9	●	1725	3.0		1616	3.1		1657	3.0
	2114	0.7		2213	0.6		2227	0.5		2316	0.5		2208	0.4		2252	0.5
9	0324	2.6	24	0424	2.7	9	0440	2.9	24	0529	2.8	9	0424	3.0	24	0509	2.8
JU	0930	0.3	VI	1021	0.2	DO	1038	0.1	LU	1119	0.3	LU	1019	0.1	MA	1056	0.4
	1611	2.7	●	1707	2.9	○	1723	3.1		1756	3.0	○	1702	3.3	●	1726	3.0
	2200	0.6		2256	0.5		2311	0.3		2348	0.5		2252	0.2		2321	0.4
10	0410	2.7	25	0506	2.7	10	0527	3.0	25	0601	2.8	10	0512	3.1	25	0540	2.9
VI	1012	0.2	SA	1101	0.2	LU	1122	-0.1	MA	1152	0.3	MA	1103	-0.0	MI	1127	0.4
○	1655	2.9		1745	2.9		1807	3.2		1824	3.0		1745	3.4		1753	3.0
	2243	0.5		2334	0.5		2355	0.2					2336	0.1		2350	0.4
11	0455	2.8	26	0544	2.8	11	0613	3.1	26	0019	0.5	11	0559	3.2	26	0610	2.9
SA	1055	0.1	DO	1138	0.2	MA	1205	-0.1	MI	0631	2.8	MI	1147	-0.1	JU	1157	0.5
	1739	3.0		1819	3.0		1849	3.3		1223	0.4		1827	3.4		1820	3.0
	2326	0.4								1850	3.0						
12	0539	2.9	27	0010	0.5	12	0039	0.1	27	0049	0.5	12	0019	-0.0	27	0019	0.4
DO	1137	0.0	LU	0619	2.7	MI	0659	3.1	JU	0702	2.8	JU	0644	3.2	VI	0639	2.9
	1822	3.1		1214	0.2		1249	-0.0		1254	0.4		1230	-0.0		1227	0.5
				1850	2.9		1931	3.3		1917	2.9		1908	3.4		1847	2.9
13	0010	0.4	28	0044	0.5	13	0124	0.1	28	0119	0.5	13	0102	0.0	28	0047	0.4
LU	0624	2.9	MA	0652	2.7	JU	0745	3.0	VI	0734	2.7	VI	0730	3.1	SA	0710	2.8
	1220	0.0		1248	0.3		1335	0.1		1326	0.6		1316	0.1		1258	0.6
	1905	3.1		1920	2.9		2015	3.2		1946	2.8		1950	3.3		1915	2.9
14	0055	0.3	29	0118	0.6	14	0212	0.2	29	0151	0.6	14	0148	0.1	29	0118	0.5
MA	0710	2.9	MI	0725	2.6	VI	0834	2.9	SA	0808	2.6	SA	0816	3.0	DO	0743	2.7
	1305	0.1		1322	0.4		1423	0.3		1359	0.7		1403	0.3		1331	0.7
	1950	3.1		1950	2.8		2100	3.0		2018	2.7		2034	3.0		1947	2.8
15	0143	0.4	30	0153	0.6	15	0303	0.3	30	0152	0.6	15	0236	0.3	30	0152	0.6
MI	0759	2.8	JU	0801	2.5	SA	0927	2.7	DO	0907	2.8	DO	0907	2.8	LU	0820	2.6
	1353	0.2		1358	0.6	●	1516	0.5		1456	0.6		1456	0.6		1410	0.9
	2036	3.1		2022	2.7		2149	2.8		2122	2.8					2024	2.6
			31	0231	0.7										31	0233	0.7
			VI	0840	2.4										MA	0905	2.5
				1435	0.7											1458	1.0
				2057	2.6											2110	2.5

HORA DE ZONA + 5

TABLA II.- PREDICCIÓN DIARIA DE MAREAS EN EL ECUADOR

PUERTO BOLÍVAR 2020

JULIO

AGOSTO

SEPTIEMBRE

DIA	HORA	ALT.												
	H.M.	MTS.												
1	0056	2.7	16	0111	2.4	1	0259	2.8	16	0233	2.5	1	0428	2.9
MI	0651	0.8	JU	0706	1.1	SA	0853	0.8	DO	0830	0.9	MA	1020	0.6
	1319	2.9		1319	2.5		1507	2.7		1438	2.6		1636	2.8
	1934	0.5		1939	0.8		2111	0.4		2047	0.6		2228	0.3
2	0205	2.8	17	0212	2.4	2	0356	2.9	17	0327	2.7	2	0506	3.0
JU	0758	0.8	VI	0805	1.1	DO	0948	0.7	LU	0921	0.8	MI	1057	0.5
	1421	2.9		1415	2.6		1601	2.8		1530	2.7		1714	2.9
	2031	0.4		2029	0.7		2200	0.3		2134	0.4		2304	0.3
3	0309	2.9	18	0305	2.6	3	0446	3.0	18	0416	2.9	3	0540	3.0
VI	0859	0.7	SA	0857	0.9	LU	1035	0.6	MA	1006	0.6	JU	1130	0.4
	1519	3.0		1506	2.6		1649	2.9		1618	2.9		1748	2.9
	2124	0.3		2114	0.6		2244	0.3		2218	0.2		2338	0.3
4	0406	3.0	19	0353	2.7	4	0529	3.0	19	0501	3.0	4	0610	3.0
SA	0954	0.6	DO	0944	0.8	MA	1116	0.6	MI	1049	0.4	VI	1202	0.4
	1612	3.0		1553	2.8		1731	2.9		1704	3.0		1820	2.8
	2212	0.2		2157	0.4		2324	0.3		2301	0.1		2338	0.3
5	0457	3.1	20	0438	2.8	5	0607	3.0	20	0543	3.1	5	0010	0.4
DO	1044	0.6	LU	1027	0.7	MI	1154	0.6	JU	1131	0.3	SA	0637	2.9
	1701	3.0		1638	2.9		1809	2.9		1749	3.1		1233	0.4
	2258	0.2		2239	0.3					2343	0.0		1850	2.8
6	0544	3.1	21	0522	3.0	6	0001	0.3	21	0625	3.2	6	0042	0.5
LU	1130	0.6	MA	1109	0.6	JU	0641	3.0	VI	1213	0.3	DO	0704	2.9
	1746	3.0		1721	2.9		1231	0.6		1834	3.1		1304	0.5
	2341	0.2		2320	0.2		1844	2.8					1922	2.7
7	0627	3.1	22	0604	3.1	7	0038	0.4	22	0025	0.1	7	0115	0.6
MA	1214	0.6	MI	1151	0.6	VI	0713	3.0	SA	0707	3.3	LU	0733	2.8
	1827	2.9		1805	3.0		1306	0.6		1257	0.2		1396	0.6
							1918	2.8		1920	3.0		1956	2.6
8	0023	0.3	23	0002	0.2	8	0113	0.5	23	0109	0.1	8	0149	0.7
MI	0706	3.1	JU	0647	3.1	SA	0743	2.9	DO	0749	3.2	MA	0805	2.6
	1255	0.7		1233	0.5		1342	0.7		1343	0.3		1411	0.7
	1907	2.8		1850	3.0		1953	2.7		2007	2.9		2033	2.5
9	0104	0.4	24	0045	0.2	9	0149	0.6	24	0156	0.3	9	0228	0.9
JU	0744	3.0	VI	0729	3.1	DO	0814	2.8	LU	0833	3.1	MI	0843	2.5
	1336	0.8		1318	0.5		1419	0.8		1433	0.3		1453	0.8
	1946	2.7		1935	2.9		2031	2.6		2058	2.8		2119	2.4
10	0144	0.6	25	0130	0.3	10	0227	0.8	25	0248	0.5	10	0316	1.0
VI	0821	2.9	SA	0813	3.1	LU	0849	2.7	MA	0922	2.9	JU	0930	2.4
	1418	0.8		1407	0.5		1500	0.8		1528	0.4		1547	0.9
	2026	2.6		2024	2.9		2114	2.4		2156	2.7		2217	2.3
11	0226	0.7	26	0218	0.4	11	0310	0.9	26	0349	0.7	11	0421	1.1
SA	0858	2.8	DO	0859	3.1	MA	0929	2.6	MI	1019	2.7	VI	1034	2.3
	1503	0.9		1459	0.6		1548	0.9		1631	0.6		1657	0.9
	2111	2.5		2117	2.8		2205	2.3		2304	2.6		2330	2.3
12	0310	0.9	27	0310	0.5	12	0401	1.1	27	0502	0.9	12	0542	1.2
DO	0939	2.7	LU	0949	3.0	MI	1019	2.4	JU	1127	2.5	SA	1152	2.2
	1553	1.0		1557	0.6		1645	0.9		1742	0.7		1812	0.9
	2202	2.4		2217	2.7		2307	2.3						
13	0359	1.0	28	0410	0.7	13	0506	1.2	28	0022	2.5	13	0049	2.3
LU	1025	2.6	MA	1044	2.9	JU	1121	2.4	VI	0625	0.9	DO	0700	1.1
	1647	1.0		1700	0.6		1749	1.0		1244	2.5		1309	2.3
	2301	2.3		2324	2.6					1855	0.7		1922	0.8
14	0456	1.1	29	0519	0.8	14	0018	2.3	29	0140	2.5	14	0201	2.5
MA	1118	2.5	MI	1148	2.8	VI	0620	1.2	SA	0744	0.9	LU	0804	0.9
	1746	1.0		1806	0.6		1232	2.3		1358	2.5		1413	2.5
							1854	0.9		2003	0.6		2020	0.6
15	0006	2.3	30	0037	2.6	15	0129	2.4	30	0248	2.7	15	0259	2.7
MI	0601	1.2	JU	0634	0.9	SA	0730	1.1	DO	0848	0.8	MA	0857	0.7
	1218	2.5		1257	2.7		1339	2.4		1500	2.6		1508	2.7
	1845	0.9		1913	0.6		1954	0.8		2100	0.5		2110	0.4
			31	0151	2.6				31	0343	2.8			
			VI	0748	0.9				LU	0938	0.7			
				1406	2.7					1552	2.7			
				2015	0.5					2147	0.4			

HORA DE ZONA + 5

TABLA II.- PREDICCIÓN DIARIA DE MAREAS EN EL ECUADOR

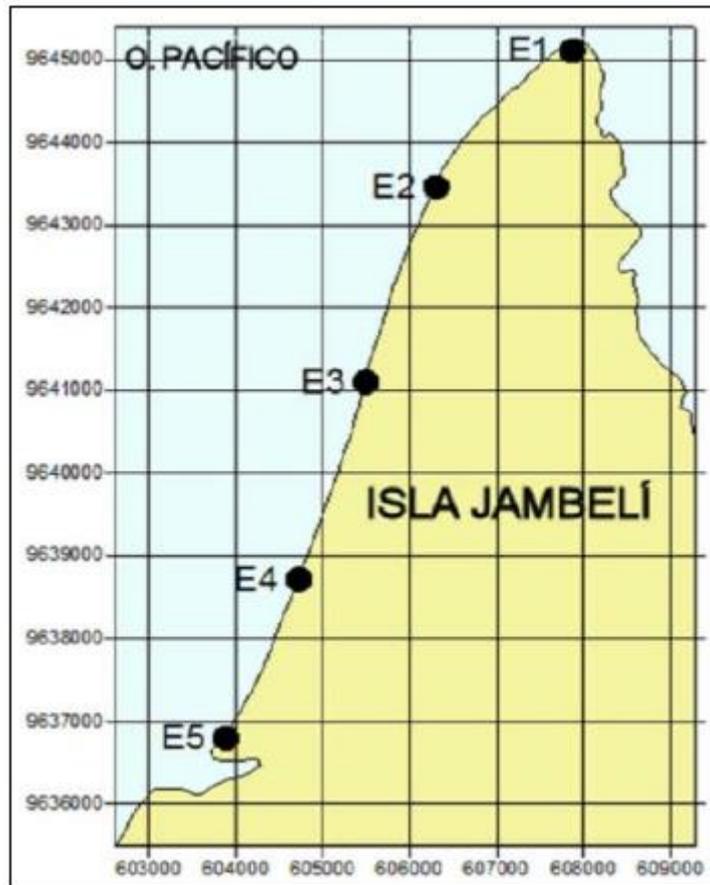
PUERTO BOLÍVAR 2020

OCTUBRE						NOVIEMBRE						DICIEMBRE					
DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.
	H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.
1	0436	2.9	16	0403	3.1	1	0501	2.8	16	0506	3.2	1	0504	2.7	16	0536	3.0
☉	1031	0.4	☉	1000	0.1	DO	1101	0.2	LU	1104	-0.2	MA	1105	0.2	MI	1133	-0.1
	1653	2.8		1626	3.1		1730	2.8		1743	3.2		1741	2.8		1818	3.1
	2240	0.4		2215	0.0		2318	0.5		2329	0.1		2331	0.6			
2	0507	2.9	17	0448	3.3	2	0530	2.8	17	0552	3.1	2	0538	2.7	17	0007	0.3
VI	1102	0.3	SA	1043	-0.1	LU	1130	0.2	MA	1149	-0.2	MI	1137	0.2	JU	0623	2.9
	1725	2.9		1712	3.2		1800	2.8		1829	3.1		1814	2.8		1219	-0.0
	2312	0.4		2300	-0.0		2350	0.5								1904	3.1
3	0535	2.9	18	0531	3.3	3	0600	2.7	18	0018	0.2	3	0006	0.6	18	0054	0.4
SA	1131	0.3	DO	1125	-0.2	MA	1159	0.3	MI	0638	2.9	JU	0612	2.6	VI	0708	2.8
	1755	2.8		1758	3.2		1831	2.8		1234	-0.1		1212	0.3		1304	0.1
	2343	0.4		2345	0.0					1916	3.0		1850	2.8		1949	2.9
4	0602	2.9	19	0614	3.2	4	0022	0.6	19	0107	0.4	4	0043	0.6	19	0142	0.5
DO	1200	0.3	LU	1209	-0.2	MI	0631	2.6	JU	0725	2.8	VI	0650	2.6	SA	0753	2.6
	1824	2.8		1844	3.1		1230	0.3		1322	0.1		1249	0.3		1350	0.3
							1904	2.7		2005	2.9		1929	2.7		2034	2.8
5	0014	0.5	20	0031	0.1	5	0057	0.7	20	0200	0.6	5	0124	0.7	20	0231	0.7
LU	0629	2.8	MA	0658	3.1	JU	0705	2.6	VI	0814	2.6	SA	0731	2.5	DO	0841	2.5
	1229	0.4		1254	-0.1		1305	0.4		1413	0.4		1332	0.4		1438	0.5
	1854	2.7		1931	3.0		1941	2.6		2058	2.7		2012	2.7		2120	2.7
6	0045	0.6	21	0121	0.3	6	0136	0.8	21	0258	0.7	6	0211	0.8	21	0324	0.8
MA	0658	2.7	MI	0744	2.8	VI	0744	2.4	SA	0910	2.4	DO	0818	2.5	LU	0935	2.3
	1258	0.4		1342	0.1		1346	0.6	☉	1509	0.6		1422	0.6	☉	1529	0.7
	1926	2.6		2021	2.9		2025	2.5		2156	2.6		2103	2.6		2208	2.6
7	0119	0.7	22	0215	0.5	7	0224	0.9	22	0403	0.9	7	0307	0.8	22	0422	0.9
MI	0730	2.6	JU	0835	2.6	SA	0832	2.4	DO	1016	2.2	☉	0915	2.4	MA	1036	2.2
	1331	0.5		1436	0.4		1438	0.7		1612	0.8	☉	1519	0.7		1626	0.9
	2002	2.6		2118	2.7		2119	2.5		2300	2.5	☉	2200	2.6		2302	2.5
8	0157	0.8	23	0317	0.7	8	0326	1.0	23	0514	0.9	8	0413	0.8	23	0524	0.9
JU	0807	2.4	VI	0935	2.4	DO	0934	2.3	LU	1132	2.2	MA	1021	2.4	MI	1145	2.2
	1411	0.7	☉	1538	0.6	☉	1544	0.8		1722	0.9		1624	0.7		1731	1.0
	2045	2.4		2225	2.5		2225	2.4					2302	2.6			
9	0244	0.9	24	0432	0.9	9	0442	1.0	24	0005	2.4	9	0522	0.8	24	0000	2.4
VI	0854	2.3	SA	1049	2.2	LU	1050	2.3	MA	0624	0.9	MI	1134	1.4	JU	0626	0.8
☉	1504	0.8		1649	0.8		1659	0.8		1246	2.2		1733	0.7		1254	2.2
	2141	2.4		2340	2.4		2338	2.5		1833	0.9					1839	1.0
10	0348	1.1	25	0555	0.9	10	0557	0.9	25	0106	2.5	10	0007	2.7	25	0058	2.4
SA	0958	2.2	DO	1212	2.2	MA	1207	2.4	MI	0725	0.8	JU	0628	0.6	VI	0723	0.7
	1615	0.9		1808	0.9		1812	0.8		1349	2.3		1245	2.5		1355	2.3
	2253	2.3								1935	0.9		1842	0.7		1941	1.0
11	0510	1.1	26	0054	2.5	11	0048	2.6	26	0158	2.5	11	0110	2.8	26	0152	2.4
DO	1119	2.2	LU	0710	0.9	MI	0703	0.7	JU	0813	0.6	VI	0728	0.4	SA	0811	0.6
	1735	0.9		1327	2.3		1317	2.5		1439	2.4		1352	2.6		1446	2.4
				1920	0.8		1917	0.6		2026	0.8		1945	0.6		2034	0.9
12	0013	2.4	27	0156	2.5	12	0149	2.8	27	0242	2.6	12	0210	2.9	27	0241	2.5
LU	0630	1.0	MA	0807	0.7	JU	0759	0.4	VI	0853	0.5	SA	0822	0.2	DO	0854	0.5
	1240	2.3		1426	2.4		1419	2.7		1522	2.6		1454	2.8		1530	2.5
	1849	0.8		2017	0.7		2014	0.4		2109	0.7		2044	0.5		2119	0.8
13	0126	2.5	28	0245	2.6	13	0243	3.0	28	0321	2.6	13	0306	2.9	28	0324	2.5
MA	0735	0.8	MI	0852	0.6	VI	0849	0.2	SA	0929	0.4	DO	0913	0.0	LU	0932	0.4
	1347	2.5		1513	2.6		1514	2.9		1600	2.6		1550	2.9		1610	2.6
	1951	0.6		2102	0.6		2105	0.3		2147	0.6		2138	0.4		2200	0.7
14	0226	2.7	29	0325	2.7	14	0333	3.1	29	0357	2.7	14	0358	3.0	29	0404	2.6
MI	0829	0.6	JU	0929	0.4	SA	0935	-0.0	DO	1002	0.3	LU	1001	-0.1	MA	1009	0.3
	1445	2.7		1553	2.7		1606	3.1		1634	2.7	☉	1642	3.1	☉	1647	2.7
	2043	0.4		2140	0.6		2154	0.2		2222	0.6		2229	0.3		2238	0.6
15	0317	3.0	30	0400	2.8	15	0420	3.2	30	0431	2.7	15	0448	3.0	30	0443	2.6
JU	0917	0.3	VI	1001	0.3	☉	1020	-0.2	LU	1033	0.2	MA	1048	-0.1	MI	1045	0.2
	1537	2.9		1628	2.8		1655	3.1		1708	2.8		1731	3.1		1725	2.8
	2130	0.2		2214	0.5	☉	2242	0.1	☉	2257	0.6		2319	0.3		2315	0.6
			31	0432	2.8										31	0521	2.7
			SA	1032	0.3										JU	1121	0.2
			☉	1700	2.8											1802	2.9
				2247	0.5											2352	0.5

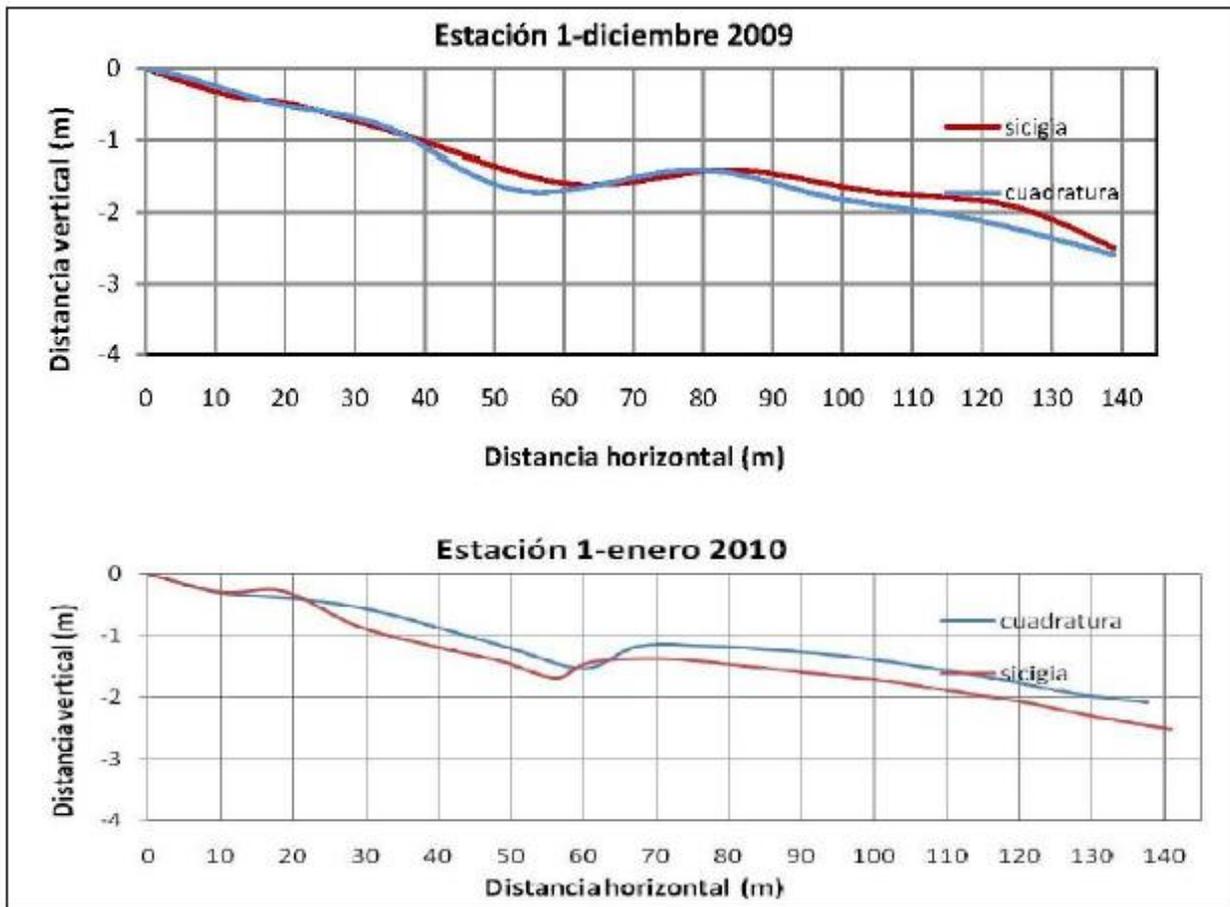
HORA DE ZONA + 5

Apéndice C2: Oleaje

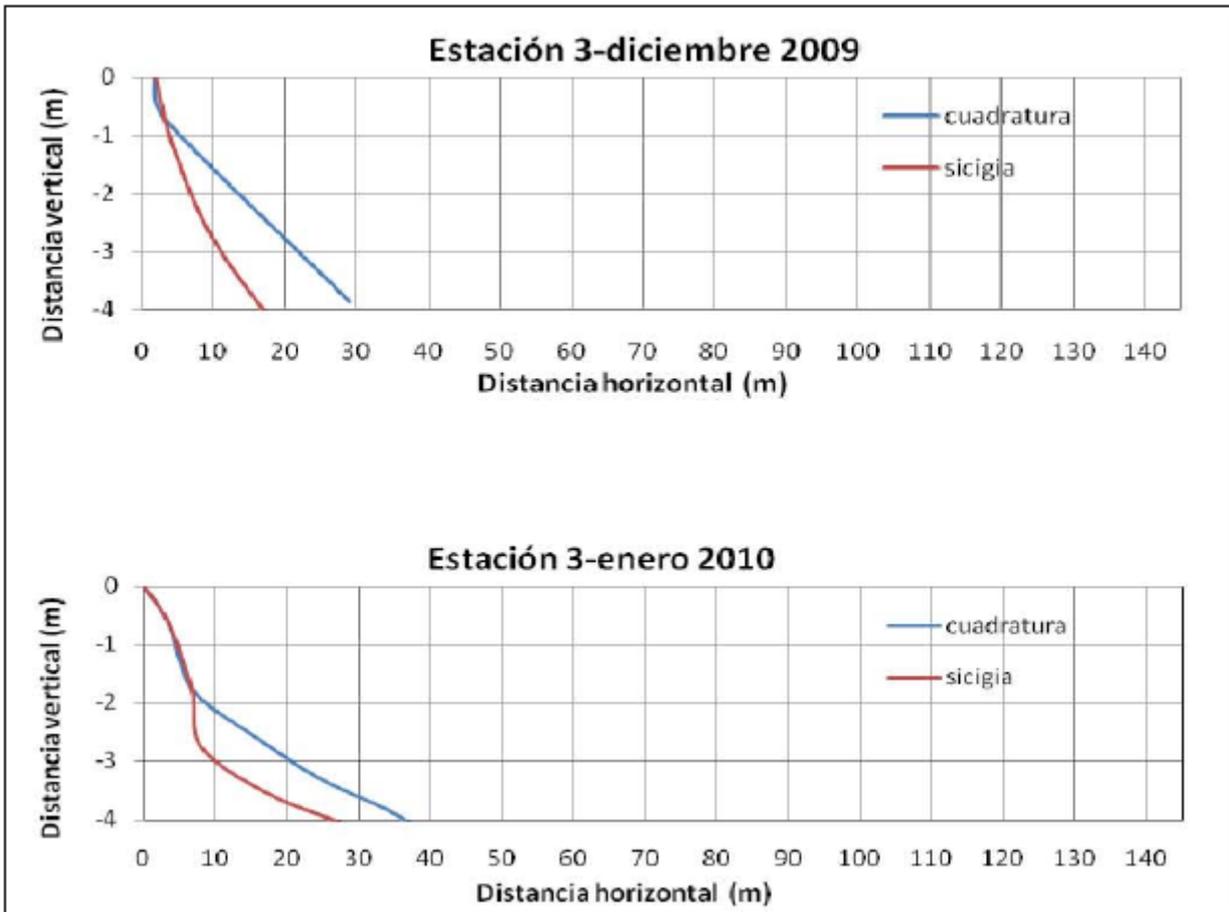
2.1 Estaciones



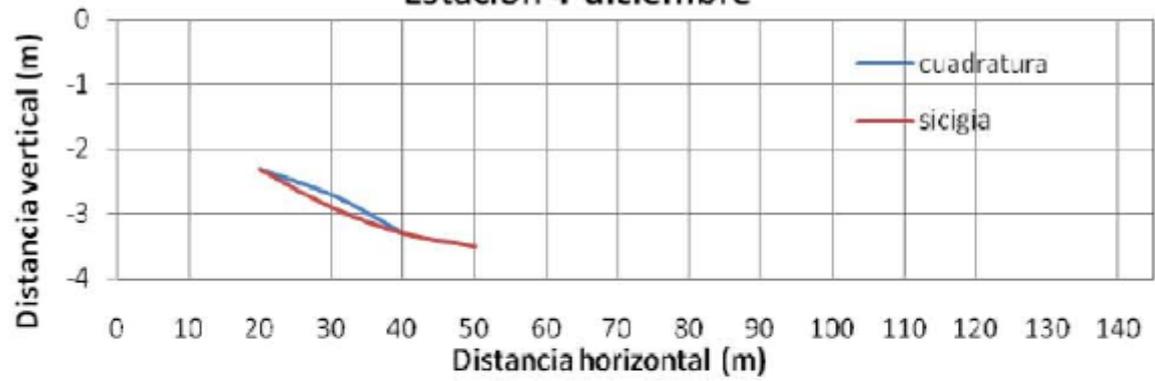
2.2 Perfiles de playa



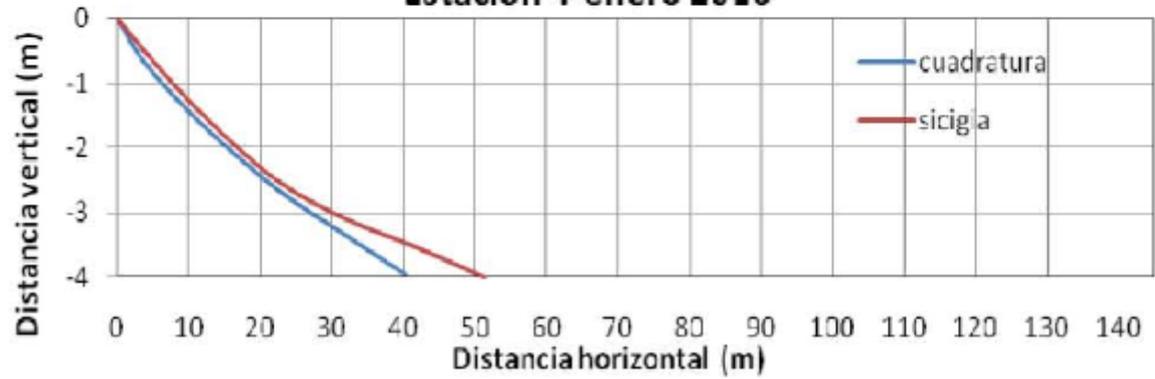


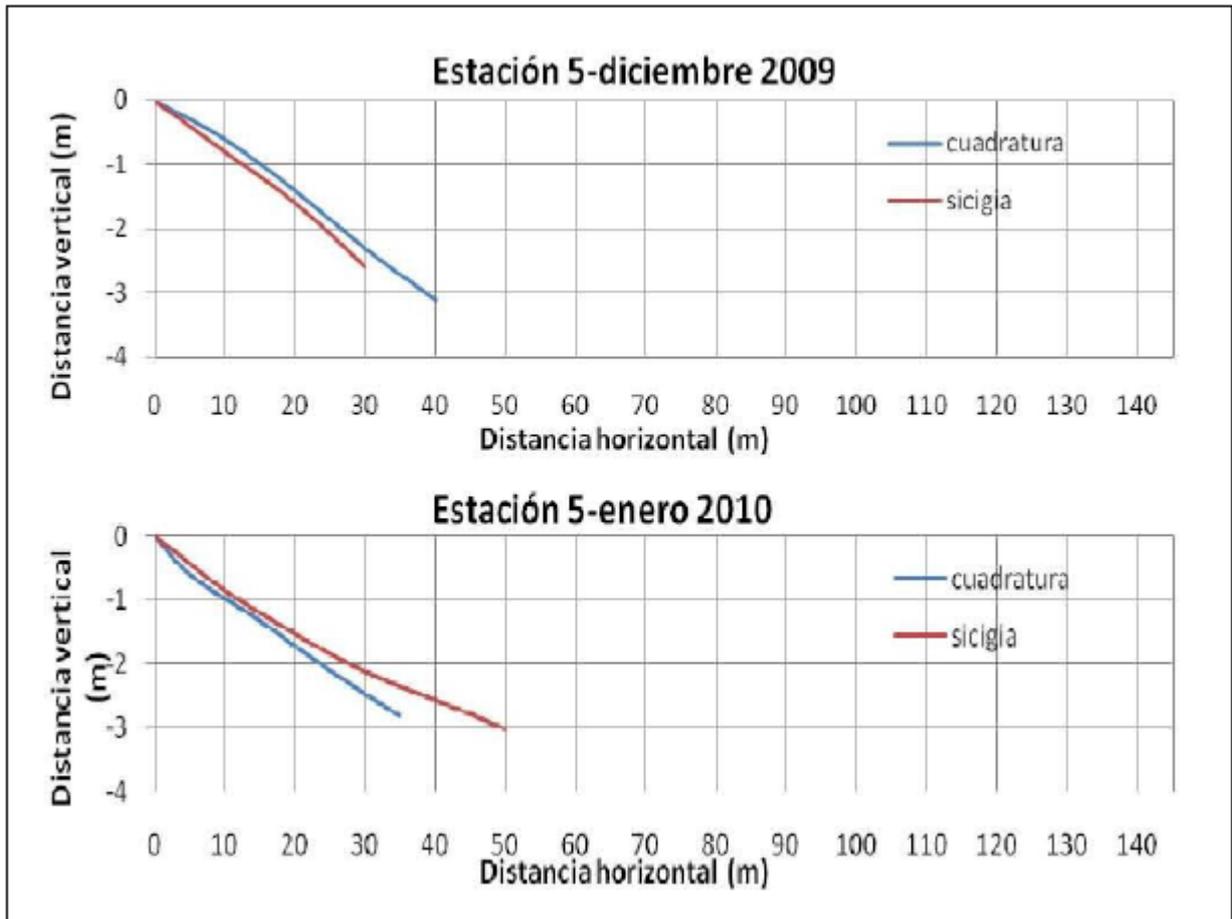


Estación 4-diciembre



Estación 4-enero 2010



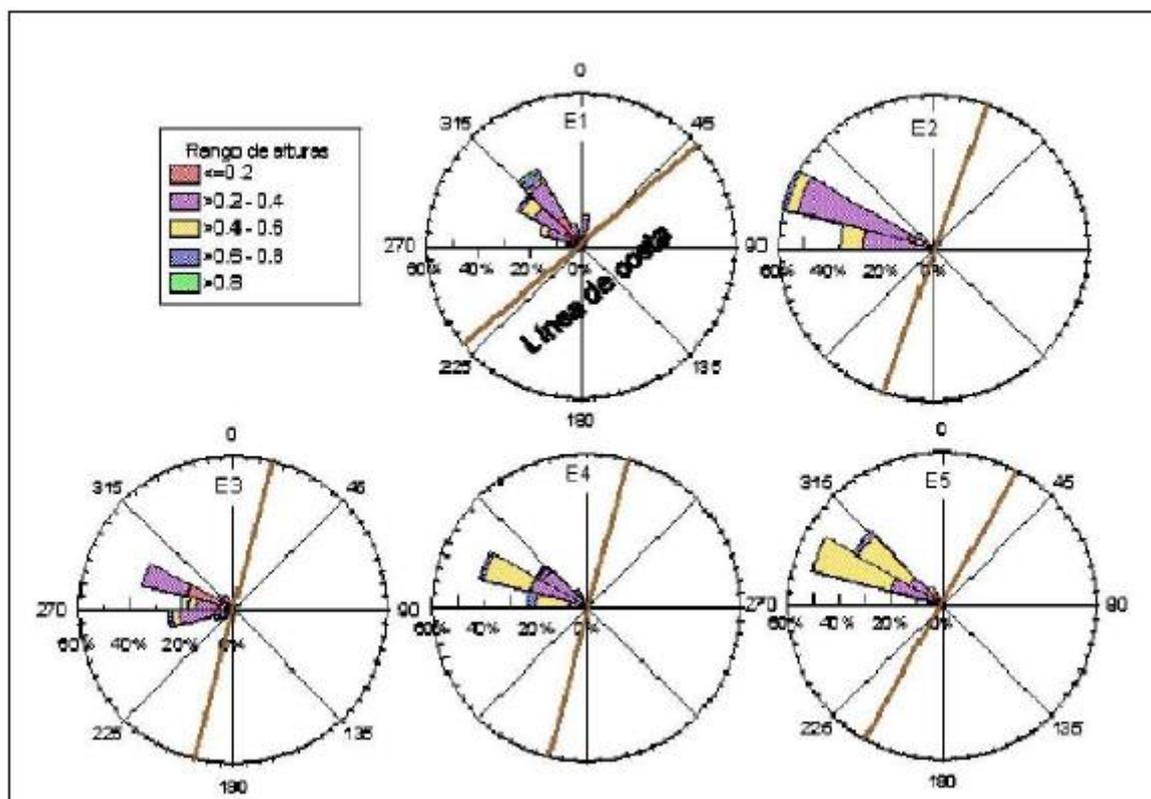


2.3 Datos oceanográficos

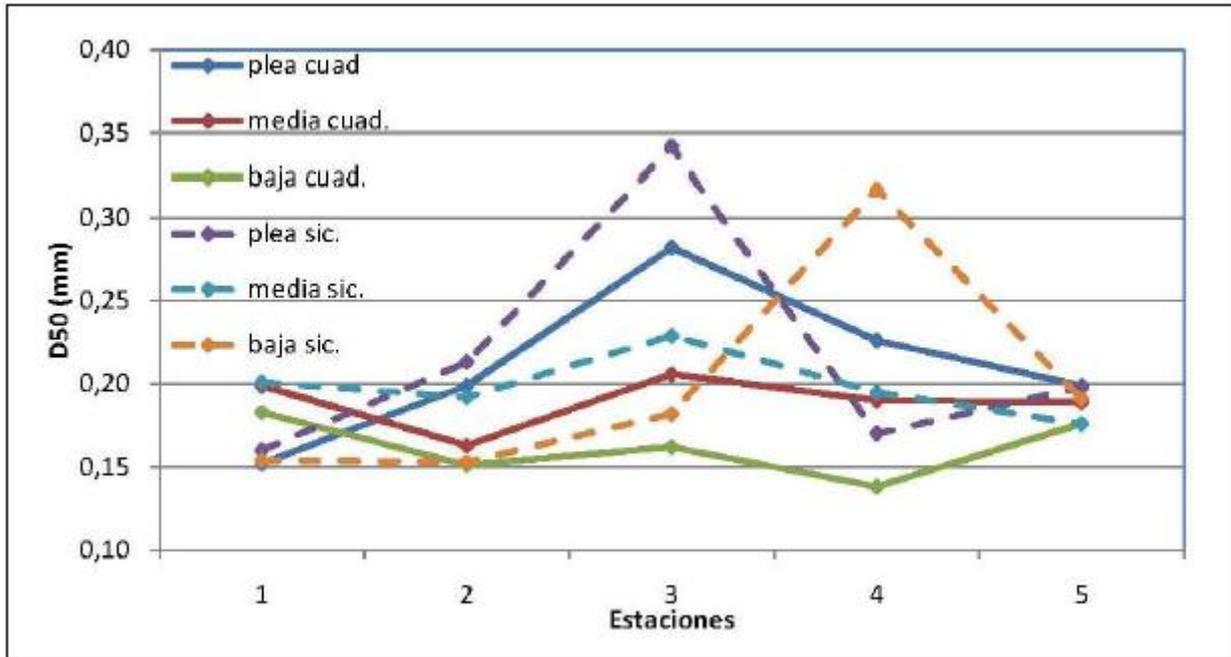
Altura de olas

	E1	E2	E3	E4	E5
Media (m)	0.300	0.321	0.267	0.415	0.416
Desviación estándar	0.161	0.104	0.108	0.124	0.099
Varianza de la muestra	0.026	0.011	0.012	0.015	0.010
Rango (m)	0.710	0.515	0.570	0.630	0.415
Mínimo (m)	0.100	0.145	0.090	0.220	0.195
Máximo (m)	0.810	0.660	0.660	0.850	0.610

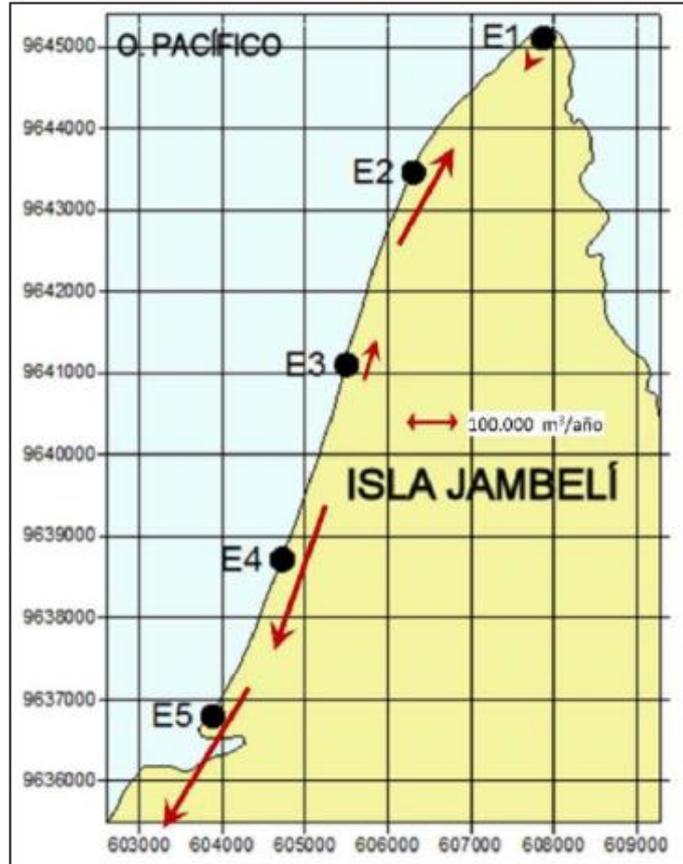
Distribución de dirección de olas



Distribución de sedimentos



Transporte de sedimentos en las estaciones de muestreo



Los datos oceanográficos fueron obtenidos de Loor (2015)