

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Morfología en el humedal Don Goyo ubicado en el Delta – Estuario del
Guayas, y evaluación de sus cambios en 1985 y 2016

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniera Oceanográfica

Presentado por:

Karen Michelle Mirabá Peñafiel

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año:

2020 - 2021

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios por su sabiduría y guía constante, para cumplir cada meta.

A mi mami Emma por la confianza y sacrificio en cada etapa de mi vida, por enseñarme a creer en mí y afrontar cualquier situación.

A mis tíos por el apoyo incondicional desde siempre.

A mi mejor amigo y compañero Washington por hacer mis días más alegres.

También va dedicado en memoria de mi padre Washington y mi mami tita. Los quiero.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis y consejero académico Carlos Martillo por su constante motivación y ayuda. A Indira Nolivos por sus consejos en mi formación profesional y por la confianza para permitir contribuir al proyecto Dinámica Sedimentaria del Humedal – RAMSAR Don Goyo.

Agradezco a la ESPOL por la formación profesional integra y competente para poder realizar este proyecto. Al Ing. Mónica López e Ing. Jorge Espinoza por la guía en la metodología aplicada en este proyecto, también agradezco a Don Genaro Vera por compartir su conocimiento sobre el área de estudio.

Por último, gracias a mis compañeros que aportaron a la digitalización de datos utilizados en este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Karen Michelle Miraba Peñafiel doy mi 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”

Karen Michelle Miraba Peñafiel

EVALUADORES

Carlos Eduardo Martillo Bustamante

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Los estuarios son ecosistemas de transición de agua dulce a agua salada que poseen importantes hábitats albergando diversidad de especies, tanto flora como fauna. En Ecuador, el sistema estuarino de mayor superficie se encuentra en el interior del Golfo de Guayaquil, un sistema deltaico estuarino, que debido a su importante valor económico está expuesto a actividades antropogénicas y naturales. El presente proyecto tiene como objetivo estudiar la morfología en el humedal Don Goyo, entre 1985 y 2016, mediante el uso de información geoespacial, para la evaluación de posibles cambios en los procesos sedimentarios relacionados a la reducción de salitres.

Se utilizó una metodología de detección de cambios en la línea de costa de las islas y la cobertura del suelo usando imágenes satelitales de la colección de Landsat, además de información batimétrica obtenida a partir de cartas náuticas para conocer la morfología de los canales. Se realizó un análisis comparativo usando SIG para encontrar alguna relación entre los cambios en la línea de costa y el uso del suelo para cada año.

Como resultado, identificaron zonas de erosión y acreción, que podían estar relacionadas con la circulación estuarina dominada por mareas de la zona y al aporte de material fino de la ría Guayas. Cuya tasa de acreción anual (18%) es doble que la tasa anual de erosión (9%). Debido a la situación mundial actual por la pandemia de la Covid 19, no fue posible comparar la información encontrada mediante recolección de datos en campo.

Palabras Clave: Estuario, teledetección, erosión, Landsat, SIG.

ABSTRACT

Estuaries are ecosystems of transition from freshwater to saltwater that have important habitats hosting a diversity of species, both flora and fauna. In Ecuador, the estuarine system with the largest surface area is in the interior of the Gulf of Guayaquil, an estuarine deltaic system, which due to its important economic value is exposed to anthropogenic and natural activities. The present project aims to study the morphology in the Don Goyo wetland, between 1985 and 2016, using geospatial information, for the evaluation of possible changes in sedimentary processes related to the reduction of salt marshes.

A methodology was used to detect changes in the islands' shoreline and land cover using satellite images from the Landsat collection, in addition to bathymetric information obtained from nautical charts to know the morphology of the channels. A comparative analysis was performed using GIS to find some relationship between shoreline changes and land use for each year.

As a result, they identified erosion and accretion zones, which could be related to the tidally dominated estuarine circulation of the area and the contribution of fine material from the Guayas estuary. The annual accretion rate (18%) is double the annual erosion rate (9%). Due to the current global situation caused by the Covid 19 pandemic, it was not possible to compare the information found through field data collection.

Key words: Estuary, remote sensing, erosion, Landsat, GIS

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
INDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGIA	VII
INDICE DE FIGURA.....	VIII
INDICE DE TABLAS.....	X
INDICE DE GRÁFICOS.....	XI
CAPITULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Justificación del problema	1
1.3. Objetivos	2
1.4. Marco Teórico	2
1.4.1. Morfología de los Estuarios	4
1.4.2. Morfología de los estuarios dominados por marea	4
1.4.3. Sección transversal típica de estuarios dominados por marea.....	7
1.4.4. Importancia de los manglares.....	8
1.4.5. Golfo de Guayaquil	9
1.4.6. Área de Estudio	10
1.4.7. Población.....	12
1.4.8. Actividad Productiva	13
1.4.9. Clima	13
1.4.10. Flora y fauna	13
CAPITULO 2.....	14

2.	METODOLOGÍA.....	14
2.1.	Teledetección.....	14
2.2.	Tipos de Sensores	15
2.3.	Características de los sensores remotos	15
2.3.1.	Resolución espacial.....	15
2.3.2.	Resolución espectral	16
2.3.3.	Resolución radiométrica	16
2.3.4.	Resolución temporal.....	17
2.4.	Descripción de alternativas	17
2.4.1.	Sentinel 2.....	17
2.4.2.	Landsat Collection	17
2.5.	Formulación de criterios y selección de alternativa optima	18
2.6.	Descripción de datos batimétricos.....	19
2.7.	Requerimientos tecnológicos	19
2.7.1.	Google Earth Engine	20
2.7.2.	ENVI	20
2.7.3.	ArcGIS	20
2.7.4.	QGIS.....	20
2.8.	Prototipo de diseño	20
2.9.	Metodología de diseño a seguir	21
2.9.1.	Modelo cartográfico	21
2.9.2.	Obtención de imágenes satelitales	23
2.9.3.	Procesamiento de imágenes	23
2.9.4.	Detección de cambios	25
2.9.5.	Procesamiento de datos batimétricos.....	27
CAPITULO 3.....		29
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	29
3.1.	Procesamiento de imagen satelital.....	29
3.1.1.	Extracción de línea de costa.....	30
3.2.	Morfología en la superficie de las islas	32
3.2.1.	Distribución espacial vs. Tamaño de las islas	35
3.2.2.	Índice Geométrico	37

3.2.3. Análisis de geometría y ubicación de islas	40
3.3. Morfología de Esteros.....	40
3.3.1. Índice de sinuosidad.....	42
3.3.2. Características morfológicas de los esteros	45
3.4. Cambio de uso de suelo	52
3.5. Cambio de en la línea de costa (forma de canales e islas)	53
3.6. Relación entre los cambios de sedimentación y la cobertura del suelo	54
CAPITULO 4.....	57
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
4.1. Conclusiones.....	57
4.2. Recomendaciones.....	58
BIBLIOGRAFÍA.....	59
APÉNDICES.....	62

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

USGS United States Geology Society

MLWS Mean Low Water Sea

SNAP Sistema Nacional de Áreas Protegidas

SIG Sistemas de información geográfica

DEM Digital Elevation Model

VNIR Visible and Near Infrared

SWIR Short Wave Infrared

OLI Operational Land Imager

TIRS Thermal Infra – Red Scanner

TM Thematic Mapper

SIMBOLOGIA

m	Metro
dd	Día
mm	Mes
aa	Año
Ha	hectáreas

INDICE DE FIGURA

Figura 1.1 Clasificación de los estuarios según sus características morfológicas.....	3
Figura 1.2 Formaciones de barras en tramos a) estuario exterior b) transición y c) estuario interior.....	5
Figura 1.3 Estuario Thames a) Representación de un tramo en punta de un estuario. b) Tipos de meandros.....	6
Figura 1.4 Estuario dominado por marea a) Fotografía de bajos mareales y canales de vaciante, y b) Sección transversal típica.....	7
Figura 1.5 Superficie de Bosque de manglar ecuatoriano desde 1969 hasta 1999....	9
Figura 1.6 Clasificación de las líneas de costa en el Golfo de Guayaquil según el criterio de Sheppard.	10
Figura 1.7 Área de estudio y límite del delta del Guayas modificado de Benites 1975.	11
Figura 2.1 Componentes de un sistema de teledetección.....	15
Figura 2.2 Resolución radiométrica de una imagen de acuerdo con su nivel de gris.	16
Figura 2.3 Modelo cartográfico	22
Figura 3.1 Imagen satelital radiométrica de Landsat 5	29
Figura 3.2 Imagen NDWI para 1985.....	30
Figura 3.3. Productos de la herramienta Landsat Toolbox para el año 1985. a) NDVI, b) Brillo, c) verdor, d) humedad.	31
Figura 3.4. Reclasificación de imagen satelital usando Landsat Toolbox.....	31
Figura 3.5. Línea de costa de 1985	32
Figura 3.6 Mapa temático con la identificación geográfica del humedal Don Goyo en 1985.	33
Figura 3.7 Mapa temático con la identificación geográfica del humedal Don Goyo en 2016	34
Figura 3.8 Histograma de clasificación de superficie de islas.....	35
Figura 3.9 Mapa de distribución espacial vs. Tamaño de islas.....	36

Figura 3.10 Histograma con la distribución de valores usando método de cortes naturales.....	37
Figura 3.11. Mapa de índice geométrico	39
Figura 3.12 Mapa geográfico de esteros	41
Figura 3.13 Mapa de sinuosidad de esteros.....	43
Figura 3.14 Sinuosidad del estero Lagarto y Chupadores Grande.....	44
Figura 3.15 Continuidad de un flujo no permanente	46
Figura 3.16. Mapa Batimétrico.....	47
Figura 3.17. Mapa de ubicación de cortes en tramos de los esteros seleccionados	48
Figura 3.18. Mapa de uso de cobertura de uso de suelo en 1985 y 2016.....	52
Figura 3.19. Mapa de cambios morfológicos en islas.....	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Comunidades ubicadas en la concesión de Norte a Sur.	12
Tabla 2.1 Relación entre la resolución espacial de una imagen y la escala topográfica en un mapa.....	16
Tabla 2.2 Características de las bandas Sentinel 2.....	17
Tabla 2.3 Sensores de la colección de satélites Landsat	17
Tabla 2.4 Descripción de las alternativas en base a los criterios de selección del producto satelital.	18
Tabla 2.5 Detalles de las cartas náuticas utilizadas en este estudio.	19
Tabla 2.6 Software para el tratamiento de datos ráster y vectoriales	20
Tabla 2.7 Herramientas utilizadas en el código de GEE	21
Tabla 2.8 Productos satelitales seleccionados.	23
Tabla 2.9 Listado y descripción de las herramientas utilizadas en el proceso de extracción de línea de costa usando Landsat Toolbox.....	24
Tabla 2.10 Metadato de archivos vectoriales poligonales 1985 y 2016.....	26
Tabla 2.11 Obtención de capa con zonas erosionadas y acrecentadas usando la herramienta Diferencia	26
Tabla 2.12 Obtención de capa vectorial de esteros usando la herramienta diferencia	27
Tabla 2.13 Metadato de archivo de líneas esteros	28
Tabla 3.1 Rango y nombre de la categorización del índice geométrico de las islas.	38
Tabla 3.2. Sinuosidad hidráulica.....	42
Tabla 3.3 Características del estero con orientación norte sur.....	43
Tabla 3.4. Superficie de cobertura de uso de suelo en 1985 y 2016.....	53
Tabla 3.5. Longitud en el retroceso de línea de costa	54
Tabla 3.6. Longitud en el aumento de línea de costa	54

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 Perfiles batimétricos del tramo longitudinal 1	49
Gráfico 3.2 Perfiles batimétricos del tramo longitudinal 2 del corte 1 al 6	49
Gráfico 3.3 Perfiles batimétricos del tramo longitudinal 2 del corte 7 al 10	50
Gráfico 3.4 Perfiles batimétricos del tramo transversal 1	51
Gráfico 3.5 Perfiles batimétricos del tramo transversal 2	51
Gráfico 3.6 Perfiles batimétricos del tramo transversal 3	51

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema

Los estuarios tropicales son considerados uno de los ecosistemas más productivos del planeta, poseen diversidad de servicios ambientales albergando importantes hábitats como los manglares y marismas (Anthony, 2004). Por esta razón, los estuarios están sometidos a presiones como, aumento poblacional y por ende aumento de industrias portuarias y de producción agrícola y acuícola (Van Der Wal, Pye, & Neal, 2002).

La entrada de agua más grande del Ecuador, el Golfo de Guayaquil, posee características morfológicas e hidrológicas que han aportado al desarrollo de importantes hábitats cuya explotación han contribuido al crecimiento de la economía de la región. (Benites Acosta, 1975; Twilley et al., 2001)

La producción industrial del camarón a inicios de 1980 trajo como consecuencia el aumento de piscinas para su producción (FAO, 2004), generado así la reducción de las zonas naturales de inundación en el humedal del estuario interior del Golfo de Guayaquil. La escasa información de estudios previos y la ausencia del monitoreo ambiental permanente en la zona no han permitido conocer la capacidad de recuperación de este ecosistema.

Las habitantes de las comunidades Don Goyo denuncian la reducción del manglar y áreas naturales de inundación por la industria camaronera para su ampliación. Sin embargo, no hay estudios que demuestren si existe alguna relación entre la pérdida de manglar y salitrales con el cambio en la morfología de los canales en el estuario.

1.2. Justificación del problema

El presente trabajo nace de la necesidad de conocer el comportamiento específico de la dinámica sedimentaria del humedal frente a los cambios de uso de suelo debido a las presiones a las que se encuentra sometida del delta – estuario del Guayas. Por lo que este trabajo propone conocer la evolución morfológica del humedal y su relación

con la reducción morfológica del humedal, y así poder para apoyar al desarrollo de una base datos que ayude al monitoreo y toma de decisiones para la conservación del ecosistema estuarino que a su vez sostiene a la producción camaronera.

También, beneficiando a las comunidades pertenecientes al Sitio Ramsar Don Goyo asentadas legalmente en la zona central del estuario Interior, mediante un acuerdo en el cual se les asignó el uso sostenible y custodia del manglar a la Asociación de usuarios del manglar Cerrito de los Morreños en el año 2000 y, cuya fuente principal de ingresos depende directamente de los recursos que ofrece este ecosistema como pesca de peces, crustáceos (cangrejo rojo, cangrejo azul y langosta) y moluscos (concha prieta, entre otras).(Gobierno Provincial del Guayas, 2010)

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Estudiar la morfología en el humedal Don Goyo entre 1985 y 2016, mediante el uso de información geoespacial, para la evaluación de posibles cambios en los procesos sedimentarios relacionados a la reducción de salitres.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Diseñar una metodología de detección de cambios morfológicos de las islas entre 1985 y 2016.
2. Generar un mapa batimétrico de la red de esteros del humedal para la descripción de sus características morfológicas.
3. Evaluar los cambios registrados en la relación con el cambio de uso de suelo y las zonas erosionadas o acrecionadas en las islas.

1.4. Marco Teórico

Un estuario está definido como “un cuerpo de agua costero semi cerrado, que se conecta con mediante una o más conexiones con el mar abierto o con otro cuerpo de agua salino costero, en donde el agua de mar es diluida por el agua dulce y cuyo limite se extiende hasta la influencia de marea. Además, puede sostener parte o todo el ciclo de vida de especies eurihalinas”. (Perillo, 1995)

Algunos autores han clasificado a los estuarios de acuerdo con sus características, Perillo en 1995 propuso una nueva clasificación para los estuarios considerando las

características genéticas y morfológicas de estos y tratando de incluir a todos los estuarios.

La primera división, usando el criterio de Shepard (1973) para la clasificación de costas, permite distinguir la genética de los estuarios en primarios y secundarios. Cuya diferencia entre estos es su forma, en los estuarios primario depende de procesos terrestres y/o tectónicos conservando sus características originales hasta la actualidad, mientras que en los estuarios secundarios es producto de los procesos marinos y fluviales.

Los estuarios primarios se dividen en: antiguos valles fluviales, antiguos valles glaciales, influenciados por río y estructurales (Figura 1.1). Cabe mencionar que un estuario puede tener varias características y pertenecer a más de un grupo. Por otro lado, en los estuarios secundarios encontramos las lagunas costeras, se incluyó lagunas costeras en esta clasificación porque cumple con la definición de un estuario. Sin embargo, otros autores no la incluyen en ninguna clasificación.

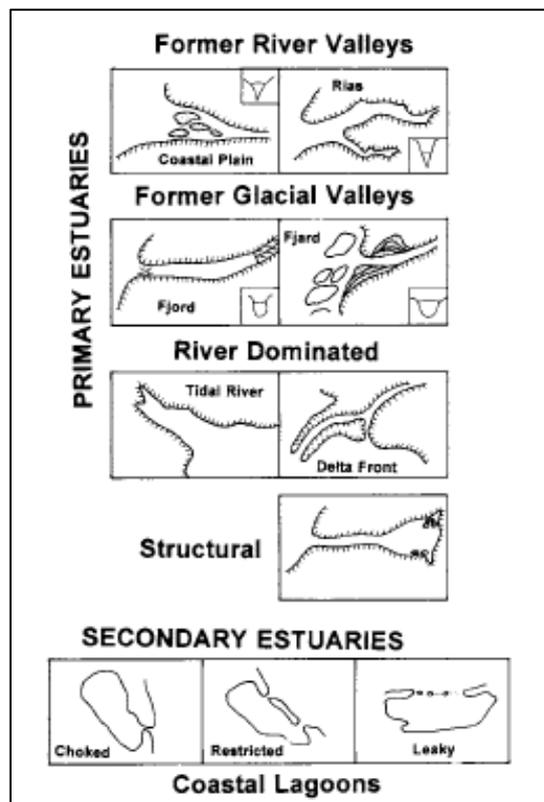


Figura 1.1 Clasificación de los estuarios según sus características morfológicas.

Fuente: (Augustinus, 1995)

1.4.1. Morfología de los Estuarios

La configuración morfológica de los estuarios está compuesta por sedimentos, producto de la continua acción de corrientes convergentes como: la marea, caudal de ríos y la acción de oleaje en su desembocadura. (Lomónaco, Medina, & Losada, 2007)

El estudio de la evolución morfológica de los estuarios es considerado como un punto crítico para la toma de decisiones desde el punto de vista socioeconómico y ambiental, especialmente porque en ellos se construyen los principales puertos marítimos y ciudades de alta densidad poblacional. (Zhao et al., 2018)

El impacto antropológico puede afectar al suministro de sedimentos y puede llevar a un sistema costero a la transformación física de su configuración morfológica. (Nienhuis et al., 2020)

1.4.2. Morfología de los estuarios dominados por marea

Los estuarios dominados por mareas tienen una forma geométrica muy similar a un embudo. Se dividen en dos zonas geomorfológicas: estuario interior y estuario exterior. La zona angosta, cuyo límite superior es donde la marea disminuye hasta llegar a cero se conoce como estuario interior, el aumento de su ancho es en dirección hacia el océano en donde la influencia de marea es máxima, esta sección se conoce como estuario exterior. (Dalrymple, 2012)

Las barras o cadenas de barras son una peculiaridad que se presentan en los estuarios dominados por marea, se forman los tramos del estuario por el paso de la corriente de marea (Figura 1.2), en la desembocadura o estuario exterior, en la zona de transición o tramos en forma de u o meandros que se encuentran en el estuario interior.

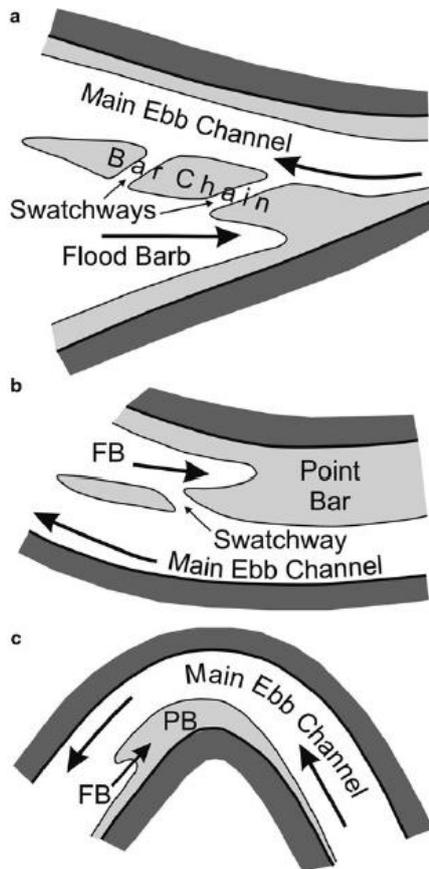


Figura 1.2 Formaciones de barras en tramos a) estuario exterior b) transición y c) estuario interior.

Fuente (Dalrymple, 2012)

1.4.2.1. Características morfológicas del estuario exterior

La parte exterior del estuario dominado por mareas se caracteriza por el surgimiento de cadena de barras que se forman por el paso de la corriente en flujo y refluo alineándose a la orilla (Figura 1.2a). Estas cadenas están separadas por pequeños canales denominados swatchway, que se conectan con el canal principal de refluo que va en dirección al océano.

1.4.2.2. Características morfológicas de la zona de transición

Comúnmente los swatchways migran en dirección a la cabeza del estuario, debido al transporte de sedimentos dominado por las corrientes de flujo. En la zona de transición la morfología de las barras se simplifica gradualmente hasta que solo se forma un solo canal principal. (Dalrymple, 2012)

La mayoría de las veces las barras cercanas a la orilla forman un margen con un perfil cóncavo hacia arriba y si hay sedimento grueso disponible se forman playas (Ver Figura 1.2b). Caso contrario, cuando la costa es erosiva afecta a los márgenes de la parte interior del estuario siendo reemplazadas por llanuras de marea y marismas.(Dalrymple, 2012)

1.4.2.3. Características morfológicas del estuario interior

El sistema de canales de la zona interior del estuario consiste en un solo canal de refluo conectado a un río, la forma de los canales muestra un patrón recto-meándrico-recto. Los canales de refluo son profundos en el lado exterior del meandro, por lo tanto, someros en el lado opuesto. También, la profundidad de los canales va disminuyendo hacia el interior al igual que las barras. Cada tramo del estuario (Ver Figura 1.3a) comprende un canal principal entre dos puntos de inflexión sucesivos y un punto de barra (Point Bar) que divide la barra de marea.(Dalrymple, 2012)



Figura 1.3 Estuario Thames a) Representación de un tramo en punta de un estuario. b) Tipos de meandros

Fuente: (Dalrymple, 2012)

La presencia de las barras depende de la influencia de la marea, pueden ser simple y continúa conocidas como barras elongadas, o complejas formadas por cadena de barras separadas por pequeños canales o swatchways. Las barras se acotan hacia la orilla en los meandros (Ver Figura 1.2c) y a medida que se acerca al continente debido a la disminución de la amplitud de la onda. (Dalrymple, 2012)

Los meandros son asimétricos y se pueden clasificar en dos formas comunes (Ver Figura 1.3b); en punta, que se caracteriza por que el vértice del meandro se alinee con el vértice del punto de barra, y en cuadro cuando el meandro tiene forma cuadrada con las puntas curvadas que se aproximan a 90°. (Dalrymple, 2012)

1.4.3. Sección transversal típica de estuarios dominados por marea

Los estuarios dominados por marea presentan amplias zonas inundables en su interior y una red de canales visibles únicamente en bajamar que son denominados canales de vaciante (Figura 1.4a). La sección transversal típica de estuarios con estas características (Ver Figura 1.4b), los bajos mareales tienen su cota cerca del nivel medio del mar. (Lomónaco et al., 2007)

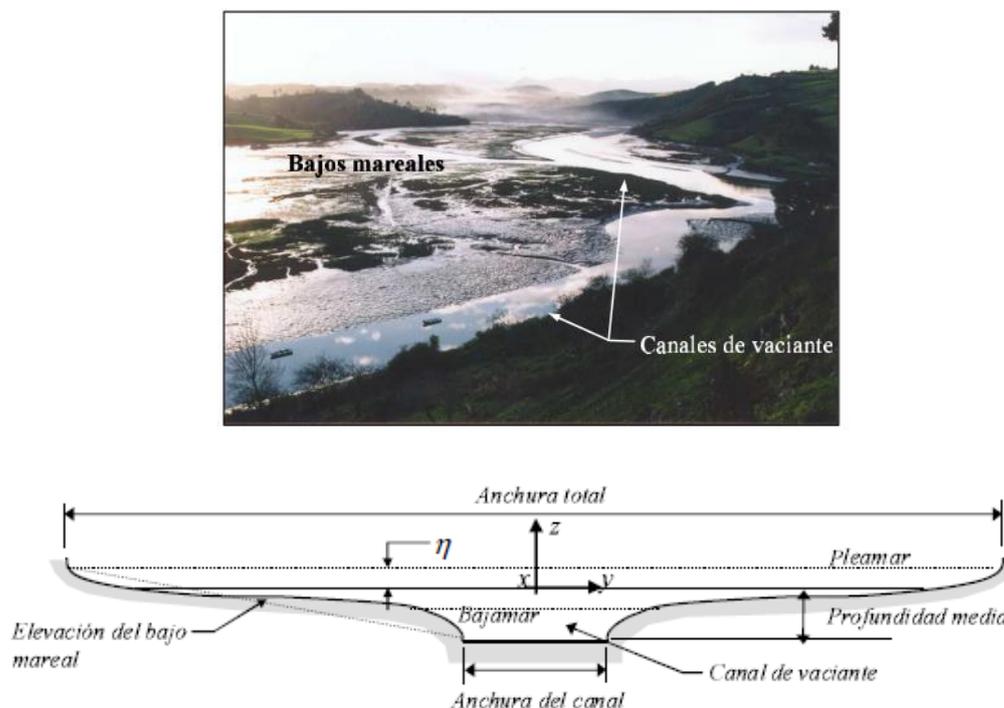


Figura 1.4 Estuario dominado por marea a) Fotografía de bajos mareales y canales de vaciante, y b) Sección transversal típica.

Fuente: (Lomónaco et al., 2007)

La morfología de estos estuarios tiene una relación ancho-profundidad, la profundidad puede variar en escalas que van de centímetros a kilómetros y el tipo fondo de su lecho refleja los patrones de transporte de sedimentos. (Dalrymple, Knight, & Lambiase, 1978; Wells, 1995)

1.4.4. Importancia de los manglares

Los manglares juegan un papel importante en la estabilidad de los hábitats en un estuario, especialmente en la geomorfología. Existen algunos factores que influyen en el cambio morfológico de los estuarios, tanto como erosión o sedimentación de estos. (Godoy & De Lacerda, 2014)

Uno de los factores sobresalientes es la alteración del caudal de un río debido a la construcción de presas, que trae como consecuencia la aparición de nuevas zonas de sedimentación que rápidamente son pobladas por manglares. Un ejemplo de esto es lo observado en los estuarios situados al noreste de Brasil en el 2007 por Lacerda, Menezes y Molisani, en un estudio de la expansión de los manglares en el río Pacotí el cual demostró que, además de colonizar antiguas salinas, los manglares también crecieron en áreas programadas de islas y playas (Godoy & De Lacerda, 2014).

En 1969 la provincia del Guayas contenía aproximadamente el 61% de bosque de manglar en Ecuador. Durante un periodo de 30 años desde 1969 a 1999 (Figura 1.5) guayas perdió el 14.7% de su bosque de manglar con una tasa de pérdida anual del 0.5% que representa el 18.029 Ha. (Hamilton, 2020)

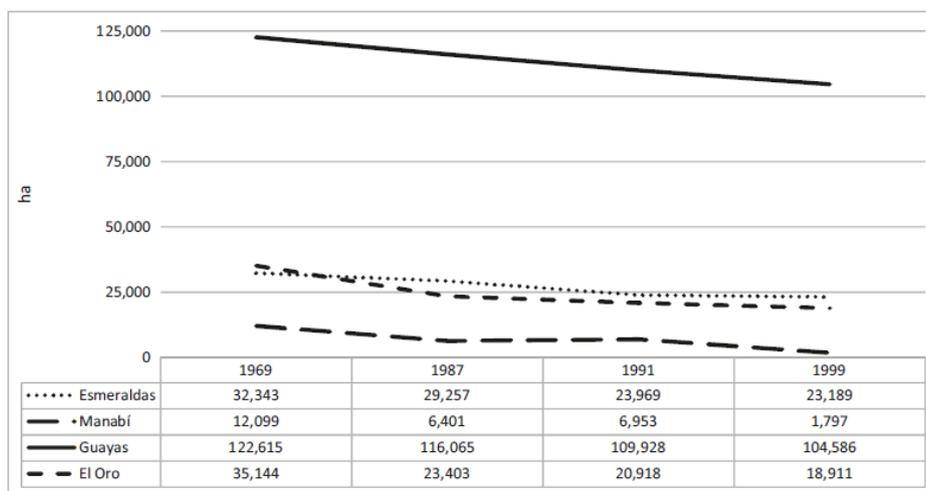


Figura 1.5 Superficie de Bosque de manglar ecuatoriano desde 1969 hasta 1999.

Fuente: (Hamilton, 2020)

1.4.5. Golfo de Guayaquil

El Golfo de Guayaquil de Ecuador es la entrada de agua más grande en la costa del Pacífico de América del Sur, posee una superficie aproximada de 12,000 km² (Cucalón, 1983). Es considerado un sistema estuarino, Stevenson (1981) menciona que el golfo ha sido dividido en dos secciones; estuario exterior que comprende desde la costa occidental de la isla Puná hasta 130 km cerca de la plataforma continental y estuario interior denominado estuario del Guayas de origen tectónico que se extiende desde la costa norte de la isla Puná hasta la influencia de marea en el río Guayas (Twilley et al., 2001). Sin embargo, desde el punto de vista sedimentológico el Golfo de Guayaquil es un delta (Dalrymple, 2012) debido a la acumulación de sedimentos en la desembocadura de un río.

Benítez (1975) basándose en el criterio de Sheppard (1948), que distingue según el depósito de sedimentos entre costas primarias y secundarias; obtuvo como resultado que la línea de costa en el Golfo de Guayaquil posee dos características: los tramos rectos o regulares y tramos irregulares. Los tramos rectos pertenecen a costas secundarias con depósitos marinos, comprenden desde la Puntilla de Santa Elena hasta Posorja y parte Suroeste de la Isla Puná, por otro lado, los sectores con línea de costa irregular pertenecen a costas primarias generalmente formadas por subsidencia que reciben aportes fluviales y marinos o una combinación de estos,

comprende desde Posorja hasta la frontera con Perú incluyendo el conjunto de islas en el interior del interior del Golfo de Guayaquil y el norte de la Isla Puná (Figura 1.6).

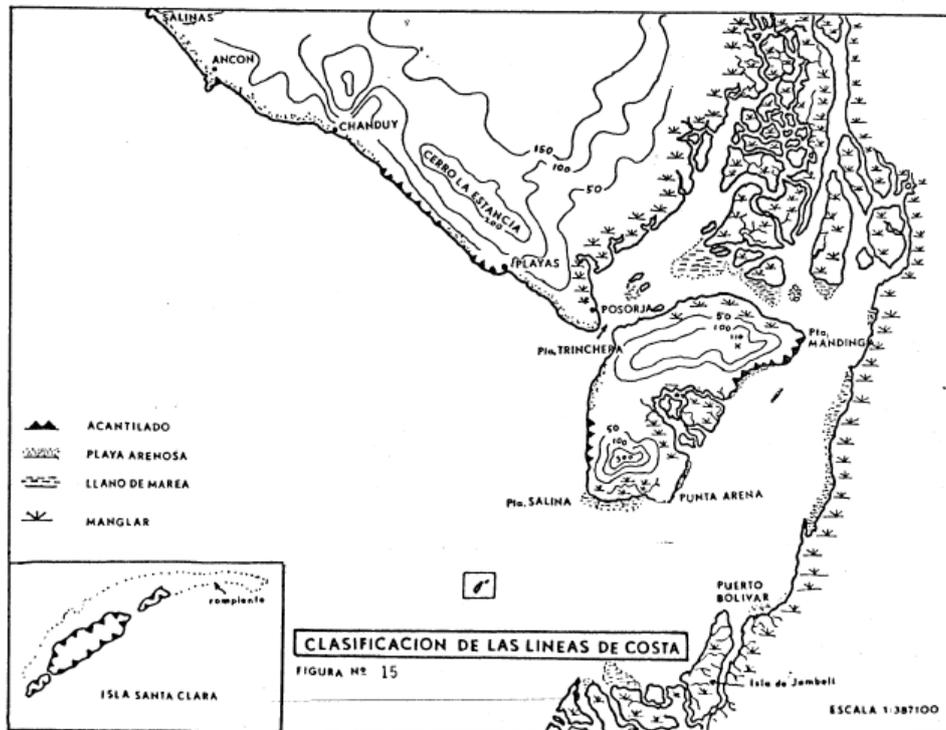


Figura 1.6 Clasificación de las líneas de costa en el Golfo de Guayaquil según el criterio de Sheppard.

Fuente: (Benites Acosta, 1975)

Además, diferenció las características entre el delta y el estuario del Guayas. Considerando como delta al conjunto de sedimentos alimentados por el río Guayas que se extiende desde el sur de Guayaquil hasta cerca de la isla Puná formando un conjunto de islas y canales (Ver Figura 1.7). Por otra parte, el estuario del Guayas basado en gradientes longitudinales de salinidad y criterios morfológicos lo clasificó tres secciones; estuario superior que comprende el tramo del canal principal del delta, estuario inferior que abarca el canal de Jambelí y el tramo sur del estero salado y se extiende hasta sus bocas, estuario exterior que comprende la zona de transición entre la sección anterior y la plataforma.

1.4.6. Área de Estudio

El área de estudio comprende la zona interna del Golfo de Guayaquil, específicamente el conjunto de islas entre el Estero Salado y la ría Guayas, que se conectan a través de un delta dominado por mareas cuya zona supra mareal se encuentra conformada

por manglares drenados por una red de esteros y canales de marea.(Reynaud, Witt, Pazmiño, & Gilces, 2018)

Según Benites (1975) debe considerarse como un sistema deltaico – lateral, debido a que no tiene influencia fluvial directa, pero sostiene que comparten carga sedimentaria que se ve reflejado en la turbidez del estero principal. Además, cuya morfología es posible que sea contralada por la erosión y depositación de sedimentos causada por la marea (Benites Acosta, 1975).

Estudios posteriores, diferenciaron el delta del Guayas; al este la ría Guayas y el canal de Jambelí, como un delta dominado por marea con aportes fluviales que forman barras mareales de arena gruesa, y al oeste el estero Salado, como un estuario dominado por marea con poca influencia fluvial caracterizado por sedimentación fina y edificación de deltas mareales. También, estos estudios indicaron que la presencia de sedimentos finos en el Estero Salado son provenientes del Río Guayas debido a la conexión con el canal cascajal, estero Grande y Chupadores Grande (Geoestudios; Consulsua, 2011).

ÁREA DE ESTUDIO

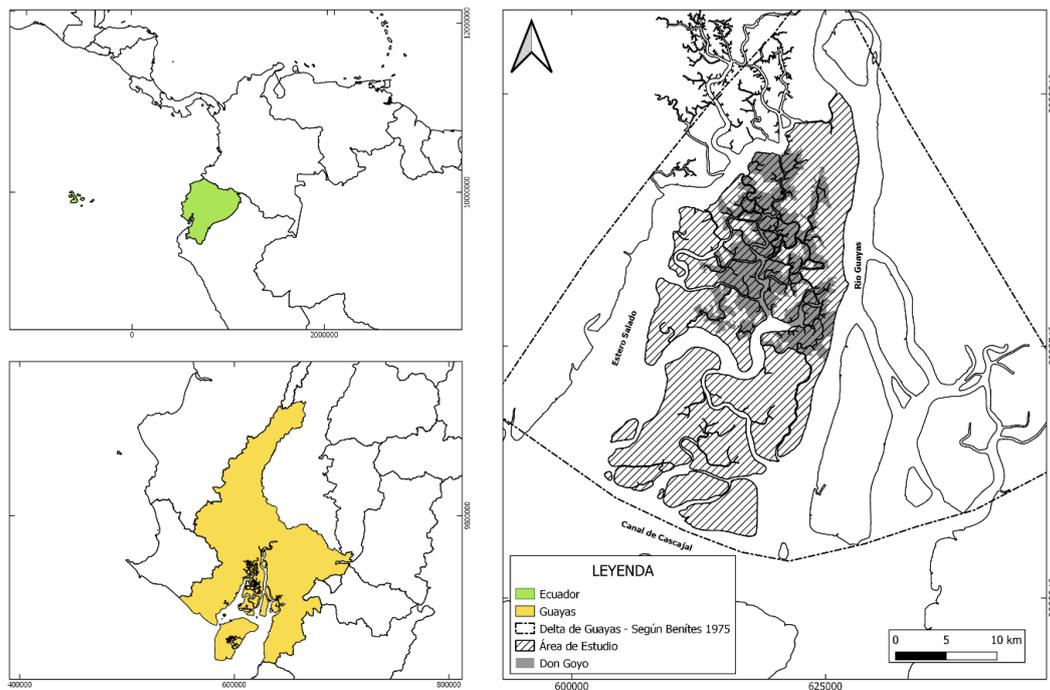


Figura 1.7 Área de estudio y límite del delta del Guayas modificado de Benites 1975.

Fuente: (Mirabá, 2021)

1.4.6.1. Demarcación política

Pertenece a las parroquias rurales del cantón guayaquil, el área de estudio se extiende desde la parroquia Ximena, en el sur de guayaquil, hasta a parroquia Puná, al norte de la isla Puná. Los asentamientos existentes en esta zona son pequeños con menos de mil habitantes, también conocidos como recintos, los cuales tienen un acceso limitado a servicios básicos. (Gobierno Provincial del Guayas, 2010)

1.4.6.2. Organización comunitaria

Al pertenecer al cantón Guayaquil, obedecen al Gobierno Autónomo Descentralizado que se elige democráticamente mediante voto popular. Dentro de cada recinto existen organizaciones y/o asociaciones comunitarias y de trabajo (pescadores, cangrejeros y concheros). (Gobierno Provincial del Guayas, 2010)

1.4.7. Población

Los recintos que se encuentran ubicados en las islas del golfo son comunidades beneficiadas mediante un acuerdo de uso sustentable y custodia del manglar. Existen diez comunidades ubicadas en seis islas: Las Cajas, La Bocanita, San Ignacio, Chupadores Chico, Bellavista y Chupadores Grande (Tabla 1.1). En total tienen una población aproximada de 1800 habitantes. (Gobierno Provincial del Guayas, 2010)

Tabla 1.1 Comunidades ubicadas en la concesión de Norte a Sur.

Fuente: (Gobierno Provincial del Guayas, 2010)

CANTÓN	ISLA	COMUNIDAD	
Guayaquil	Las Cajas	Puerto Libertad	
	Chupadores Chico	Cerrito de los Morreños	
	Bellavista		Puerto Tamarindo (Chalenes)
			Santa Martha
			Bellavista
	Chupadores Grande		Santa Rosa
			Puerto Tamarindo (Baquerizo)
			Tres Casas (Los Pizarro)
			El Desmonte (Las Casas)
			Lagarto (San Gregorio)

1.4.8. Actividad Productiva

El ecosistema del manglar ha brindado espacios a la producción industrial camaronera, hasta el 2010 existían 3.765,13 Ha. de áreas de piscinas para criadero de larva de camarón. (Gobierno Provincial del Guayas, 2010)

Las poblaciones asentadas en los islotes tienen como principal actividad económica la pesca y recolección de cangrejo rojo y concha prieta.

1.4.9. Clima

El golfo de guayaquil tiene dos periodos estacionales y un periodo transicional, de diciembre a abril es la época húmeda en donde se presentan precipitaciones constantes, de mayo a junio época de transición y, de julio a noviembre es la época seca. La temperatura del aire en la zona de estudio varía de 22°C a 26°C con una humedad promedio de 48.78%, el promedio anual de precipitación es de 995 mm. (Gobierno Provincial del Guayas, 2010)

1.4.10. Flora y fauna

La vegetación presente en la zona destaca la especie de manglares como: mangle rojo macho (*Rhizophora mangle*), mangle rojo hembra (*Rhizophora harrisonii*), y en el interior del estuario mangle negro (*Avicennia germinans*). (Gobierno Provincial del Guayas, 2010)

En el área de estudio la fauna mayormente encontrada son aves como: loros, gaviotas, martines pescadores, fragatas entre otras. También se pueden apreciar mamíferos (nutrias), reptiles (cocodrilo de la costa, iguanas), peces (corvinas, bagres, robalos, entre otros.), crustáceos (cangrejo rojo, cangrejo azul, jaibas), moluscos (ostión, mejillón, almeja, concha prieta). (Gobierno Provincial del Guayas, 2010)

CAPITULO 2

2. METODOLOGÍA

Se plantearon algunas metodologías obtenidas de búsqueda bibliográfica, revisión de proyectos y entrevistas con profesionales. Como propuesta para aplicación del proyecto de acuerdo con la necesidad se planteó un análisis temporal de información batimétrica y teledetección identificando zonas de sedimentación y erosión. No obstante, por la restricción de escasez de datos temporales de batimetría, solo se realizará una descripción batimétrica de los esteros.

2.1. Teledetección

Es un proceso que se basa en ciencia y tecnología, utilizando la energía emanada por la superficie de la tierra para identificar características de interés en objetos. De acuerdo con la fuente de energía que se utiliza el sistema de teledetección se puede clasificar en, teledetección pasiva, cuando la fuente de energía que utiliza el sensor es la luz solar, y teledetección activa, cuando la fuente de energía es emitida por un sensor que luego capta el reflejo.

El sistema de teledetección (Figura 2.1) se compone de seis elementos: el sistema sensor (satélite) que usa tecnología capaz de captar energía reflejada por los objetos de la cubierta terrestre con la ayuda de la radiación de una fuente de energía natural o artificial, la cual es almacenada y enviada al sistema de recepción en un formato adecuado que el intérprete pueda procesar la información de manera visual o digital para que usuario final examine y finalmente tome decisiones de acuerdo a la interpretación del resultado. (Chuvieco, 1996)

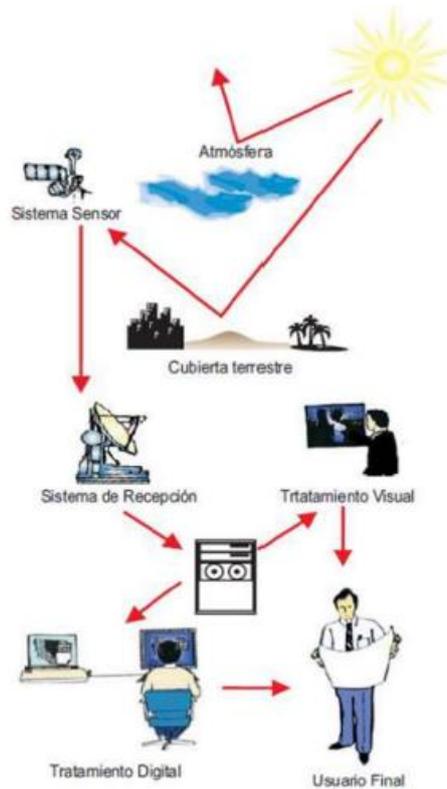


Figura 2.1 Componentes de un sistema de teledetección.

Fuente: (Chuvienco, 1996)

2.2. Tipos de Sensores

Existen dos tipos de sensores cuya diferencia se encuentra en la recepción de señal; si la señal recibida por el sensor fue emitida naturalmente y reflejada por el objeto percibido entonces es un sensor pasivo, caso contrario es un sensor activo. (Bravo Morales, 2017)

Los satélites con sensores pasivos son conocidos como ópticos, y los satélites con sensores activos son conocidos como radar.

2.3. Características de los sensores remotos

2.3.1. Resolución espacial

Es la distancia de una unidad de píxel en una imagen. Mientras menor es el tamaño del píxel, mejor es la resolución de la imagen. También, se relaciona con la escala topográfica en la representación adecuada de un mapa. En la Tabla 2.1, se muestra la escala adecuada de un mapa en relación con la resolución espacial de una imagen.

Tabla 2.1 Relación entre la resolución espacial de una imagen y la escala topográfica en un mapa

Fuente: (Bravo Morales, 2017)

Resolución espacial [m]	Escala
1000	1:1500000
30	1:80000
20	1:50000
10	1:25000
5	1:12000
1	1:2000

2.3.2. Resolución espectral

Indica el número y el ancho de las bandas espectrales que el sensor puede distinguir. Cuanto mayor sea la resolución, se obtendrá la información sobre el comportamiento de una misma cobertura en distintas bandas de espectro.

2.3.3. Resolución radiométrica

Relaciona el valor en bits con los niveles de brillo disponibles en una imagen, que corresponden con el alcance máximo de nivel gris o nivel digital (ND). En la figura 2.2 se muestra una imagen con diferentes valores de nivel digital.

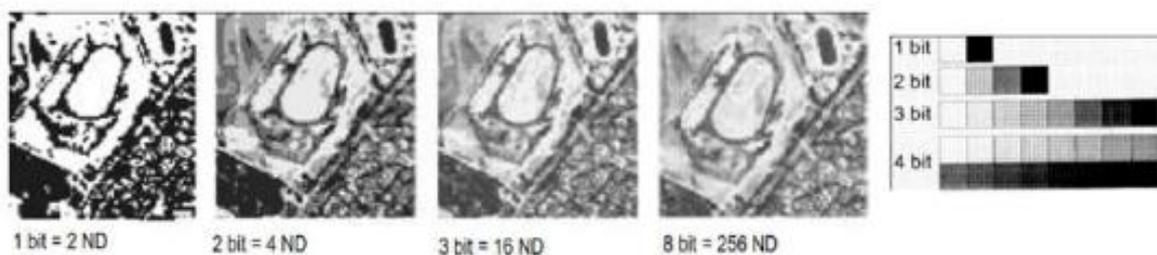


Figura 2.2 Resolución radiométrica de una imagen de acuerdo con su nivel de gris.

Fuente: (Bravo Morales, 2017)

2.3.4. Resolución temporal

Es el tiempo que toma un satélite en pasar por un mismo lugar, también se conoce como periodo de vista. Esta en función de las características orbitales del satélite, entre ellas: inclinación, altura, velocidad. (Bravo Morales, 2017)

2.4. Descripción de alternativas

A continuación, se describen dos productos satelitales multiespectrales de libre acceso:

2.4.1. Sentinel 2

Está conformado por una constelación de dos satélites: Sentinel 2A y Sentinel 2B con 12 bandas (Tabla 2.2) que operan simultáneamente permitiendo obtener información de la superficie de la tierra con una frecuencia de 5 días. Sentinel 2 cuenta con un escáner multiespectral que permiten monitorear cambios en la cobertura terrestre como; vegetación y variaciones climáticas. (Bravo Morales, 2017)

Tabla 2.2 Características de las bandas Sentinel 2

Bandas Sentinel 2	Sensor
Banda 1 – Banda 9	VNIR
Banda 10 – Banda 12	SWIR

2.4.2. Landsat Collection

La colección de satélites Landsat proporciona productos de datos generados a partir de diversos sensores (Tabla 2.3). El 1972 se realizó su primer lanzamiento Landsat ERTS -1 que posteriormente se lo denominó Landsat 1, en el 2013 se realizó el lanzamiento de Landsat 8 y para el 2023 se tiene planeado realizar el lanzamiento de Landsat 9.

Tabla 2.3 Sensores de la colección de satélites Landsat

Fuente: (Bravo Morales, 2017)

Satélite	Sensor
Landsat 4 y 5	TM

Landsat 7	ETM+
Landsat 8	OLI/TIRS

2.5. Formulación de criterios y selección de alternativa óptima

Para la selección de la alternativa adecuada se tomaron en cuenta tres criterios: tiempo de orbita, resolución espacial y resolución temporal. La tabla 2.4, muestra un resumen con las características y criterios de los datos satelitales.

Tabla 2.4 Descripción de las alternativas en base a los criterios de selección del producto satelital.

Realizado por: (Mirabá, 2021)

Satélite	Fecha de lanzamiento (dd/mm/aa)	Fin de Orbita (dd/mm/aa)	Agencia Espacial	Resolución espectral [# bandas]	Resolución espacial [m]	Resolución temporal [dd]
Sentinel 2 A	23/06/2015	Actualidad	SciHub Copernicus	12	10	10
Sentinel 2 B	28/03/2017	Actualidad	SciHub Copernicus	12	10	10
Landsat 3	05/03/1978	07/09/1993	USGS Earth Explorer	4	60	18
Landsat 4	16/07/1982	14/12/1993	USGS Earth Explorer	7	30	16
Landsat 5	01/03/1984	Actualidad	USGS Earth Explorer	7	30	16
Landsat 7	01/01/1999	Actualidad	USGS Earth Explorer	8	30	16
Landsat 8 OLI/TIRS	11/04/2013	Actualidad	USGS Earth Explorer	9	30	16

Una vez expuestos las características de los productos satelitales con sus características. El satélite que presentó mejores características respecto a resolución espacial y temporal fue Sentinel 2, el cual sería la mejor opción para el monitoreo de cambio del borde costero. Sin embargo, cumpliendo con la necesidad del proyecto de detectar cambios en periodos largos de tiempo y de acuerdo con el tiempo en órbita la alternativa adecuada seleccionada fue la colección de Landsat.

2.6. Descripción de datos batimétricos

Los datos batimétricos se obtuvieron mediante la vectorización de los puntos de profundidad de cartas de navegación realizadas por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) que cubren la mayor parte del area de estudio. Los detalles se encuentran en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Detalles de las cartas náuticas utilizadas en este estudio.

CARTAS NÁUTICAS			
Nombre	Fuente	Fecha (dd/mm/aa)	Escala
Isla de la Esperanza	CN_IOA10711_2ED	31/08/2016	1:12500
Isla San Ignacio	CN_IOA10712_1ED	25/11/2013	1:12500
Isla Bellavista	CN_IOA10713_1ED	25/11/2013	1:12500
Islas Escalante	CN_IOA10714_1ED	25/11/2013	1:12500

2.7. Requerimientos tecnológicos

Los programas que se utilizaron para el procesamiento de las imágenes satelitales y el tratamiento de los datos batimétricos se encuentran detallados en la Tabla 2.5.

Tabla 2.6 Software para el tratamiento de datos ráster y vectoriales

Software	Licencia
Google Earth Engine	Libre
ENVI 5.3	Prueba Gratuita
ArcGIS 10.6	CADS - ESPOL
QGIS 3.10	Libre

2.7.1. Google Earth Engine

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma de procesamiento geoespacial basada en una fuente abierta y de libre acceso. Comprende un catálogo de conjuntos de datos disponibles de manera gratuita y un interfaz de programación con un editor de código basado en lenguaje Java y Python. (Steer, s/f)

2.7.2. ENVI

ENVI es un software que permite el análisis de datos geoespaciales mediante herramientas y algoritmos que permite inspeccionar cualquier tipo de imagen de manera rápida y fácil. Además, que puede integrarse a plataformas de ESRI como ArcGIS. (MAE & MAGAP, 2015)

2.7.3. ArcGIS

Es un software de sistema de información geográfica que ofrece capacidades en aplicación de información geográfica, análisis espaciales, mapeo y visualización geográfica. (MAE & MAGAP, 2015)

2.7.4. QGIS

Al igual que ArcGIS es un sistema de información geográfica con la diferencia que es de código abierto, proporciona funciones básicas y complementos que permiten visualizar, gestionar, editar, analizar datos y diseñar mapas imprimibles. (“QGIS - El SIG Líder de Código Abierto para Escritorio”, s/f)

2.8. Prototipo de diseño

Mediante las herramientas que brinda la plataforma GEE, <https://code.earthengine.google.com/>, se realizó un filtro de imágenes satelitales que se encuentran en la colección de productos de Landsat 5 y Landsat 8 mediante un código (Anexo A). En la Tabla 2.6 se describen las herramientas usadas para la

visualización de imágenes con una cobertura de nubosidad adecuada para el procesamiento de las imágenes.

Tabla 2.7 Herramientas utilizadas en el código de GEE

Fuente: (Orellana, 2018)

Herramienta	Función
.ee.ImageCollection	Permite visualizar un catálogo de datos
.filterDate	Filtra datos en un rango de fechas
.filterBound	Filtra datos en una región usando puntos, polígonos, etc.
.filterMetadata	Filtra el porcentaje de nubes por píxel
Map.addLayer	Agrega la imagen al mapa, se puede ajustar la visualización de acuerdo con los valores de píxeles y bandas.
Export.imagen.toDrive	Guarda el resultado en la cuenta de Drive, se puede ajustar la escala, formato, entre otros.

2.9. Metodología de diseño a seguir

2.9.1. Modelo cartográfico

En la Figura 2.3 se resume el procedimiento con las herramientas empleadas en el tratamiento de las imágenes satelitales y datos batimétricos para la obtención de los resultados.

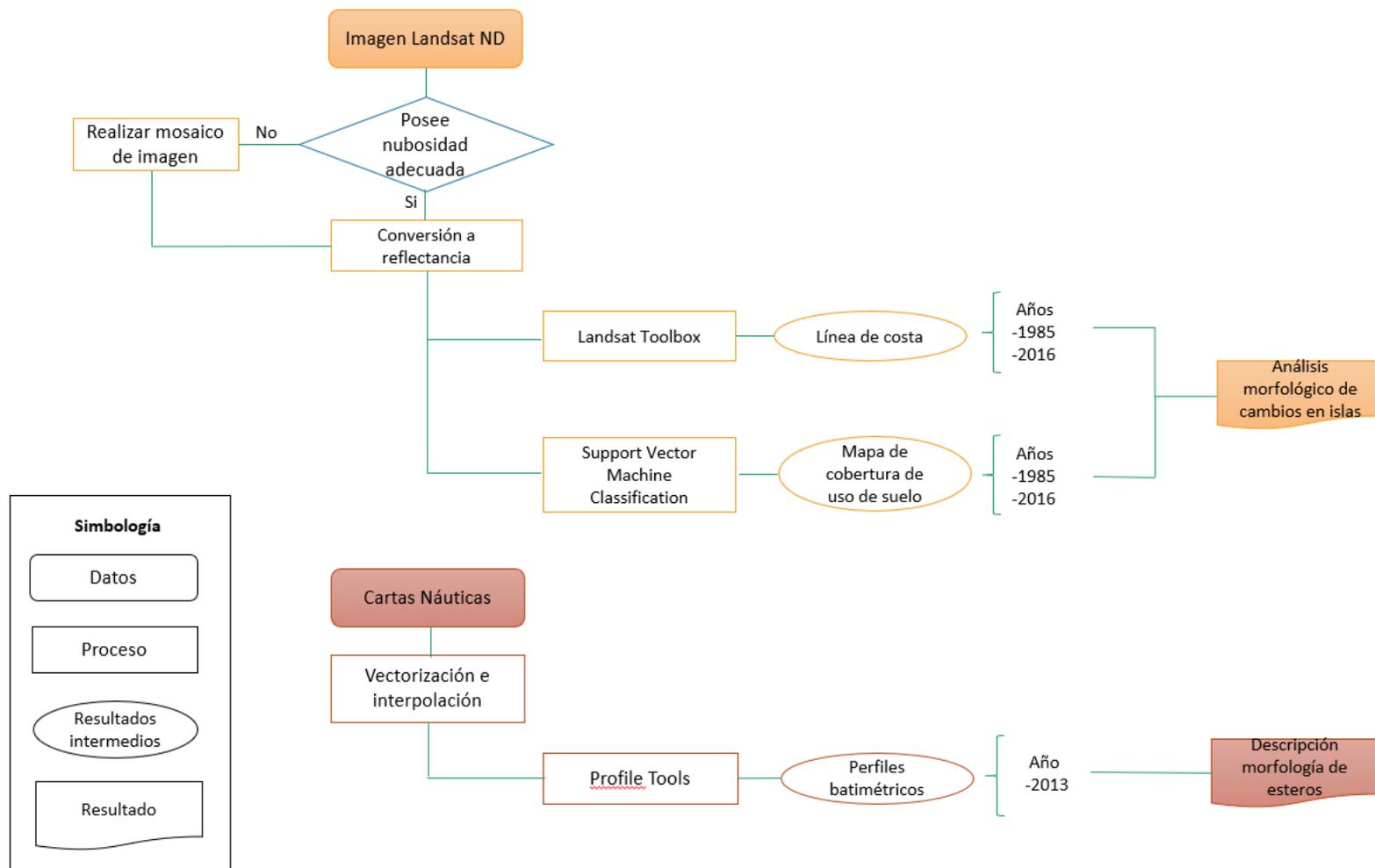


Figura 2.3 Modelo cartográfico

Realizado por: (Miraba, 2021)

2.9.2. Obtención de imágenes satelitales

Para la descarga de los productos satelitales se acudió al geo portal del Servicio Geoespacial de los Estados Unidos (USGS), <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Se realizó una búsqueda mediante filtros de región de estudio, fecha de análisis y porcentaje de nubosidad. Los productos tienen dos niveles de procesamiento: el Nivel 1 son productos con parámetros de procesamiento estándar, mientras que el Nivel 2 son productos procesados atmosféricamente.

En la Tabla 2.8 a continuación, se detallan las características de las imágenes utilizadas para el análisis superficial de las islas.

Tabla 2.8 Productos satelitales seleccionados.

Realizado por: (Mirabá, 2020)

Satélite	Año	Fecha de adquisición (dd/mm/aa)	Nivel de Procesamiento	Sensor
Landsat 5	1985	27/03/1985	1	TM
Landsat 8	2016	27/11/2016	1	OLI TIRS

2.9.3. Procesamiento de imágenes

2.9.3.1. Corrección atmosférica y radiométrica

Para el preprocesamiento de las imágenes de las imágenes Landsat 5 y Landsat 8. Para la conversión de las imágenes de valores ND a radiancia se empleó las herramientas **Radiometric calibration**, y para realizar la corrección atmosférica se empleó la herramienta **FLAASH Atmospheric Correction**, ambas en el software ENVI. Estas herramientas calibran automáticamente los parámetros de temperatura de luminosidad, reflectancia o brillo de acuerdo con el tipo de sensor del satélite la ubicación, fecha y hora de vuelo.

2.9.3.2. Índice de Agua de Diferenciación Normalizada (NDWI)

Usando la herramienta **SPEAR LOC – Water** mediante el proceso mediante algoritmos para obtener una clasificación espectral no supervisada que puede identificar manualmente las masas de agua en la imagen. Ayudándose con el método

de corrección atmosférica **Dark Object Subtraction** que busca en cada banda el valor de píxel más oscuro, suponiendo que los objetos no reflejan luz, cualquier valor mayor que cero será eliminado resultado de la diferencia entre el valor de dispersión y cada píxel de la banda.

2.9.3.3. Extracción de línea de costa

Con las imágenes pre procesadas de manera radiométrica y atmosférica se las exporta como archivo TIFF y se las carga en ArcGIS. En este software se instala el complemento **Landsat Toolbox**, las funciones de las herramientas utilizadas para obtener la línea de costa se detallan a continuación (Tabla 2.9).

Tabla 2.9 Listado y descripción de las herramientas utilizadas en el proceso de extracción de línea de costa usando Landsat Toolbox.

Fuente: (Daniels, 2012)

Paso	Herramienta	Descripción
1	Landsat TM/ETM+ Tasseled Cap	Calcula las transformaciones de brillo, verdor y humedad de la imagen utilizando las bandas RGB e infrarrojo de la imagen satelital previamente procesada. Los valores de la banda del resultado están normalizados de 0 – 255.
2	NDVI	Calcula el índice de vegetación de diferencia normalizada, con valores de banda 0 – 255.
3	Category Creation for Land and Sea	Toma el resultado de Tasseled Cap y NDVI como entrada y crea 10 clases de cobertura terrestre.
4	Classify Land and Sea	Reclasifica el conjunto de datos de cobertura terrestre de 10 a 2 clases.
5	Create Shore Boundary	Crea un vector de línea de costa a partir del conjunto de datos de la cobertura terrestre de dos clases, utilizando los comandos de filtrado mayoritario, contorno y línea suave.

El proceso de este método sigue el orden descrito en la Tabla 2.9, el resultado generado por la herramienta del paso actual se almacena con el nombre asignado automáticamente y se lo utiliza como archivo de entrada para la herramienta usada en el siguiente paso. Finalmente se obtiene un archivo vectorial compuesto por polilíneas, que se editará manualmente en el caso de ser necesario.

Landsat Toolbox utiliza un algoritmo para clasificación de coberturas no supervisada de ESRI, que permite derivar diez clases de cobertura terrestre, luego recategorizarlas para obtener una clasificación binaria de mar y tierra mediante apoyándose de una inspección visual (Daniels, 2012).

2.9.3.4. Clasificación supervisada de coberturas

Se identificaron tres clases, usando la composición de imagen falso color infrarrojo que permite obtener una mejor visualización de las coberturas del área de estudio. Se crearon vectores para diferenciar los valores espectrales de las clases: Vegetación, agua y suelo. Estas clases son usadas por la herramienta **Support Vector Machine Classification (SVM)** de ENVI, la cual da resultados a partir de datos complejos y ruidosos usando un algoritmo de decisión que maximiza el margen entre las clases.

2.9.4. Detección de cambios

2.9.4.1. Interpretación Visual

Los vectores de línea de costa obtenidos por Landsat Toolbox se cargaron en QGIS, y al superponer las capas vectoriales, mediante percepción visual se pudo identificar las islas en donde la línea de costa del año 1985 retrocedía o avanzaba en el 2016.

Se cargó el archivo ráster NDVI y NDWI para comparar que el borde costero fue trazado de manera correcta. Si se visualizaba alguna inexactitud, este se corregía usando las opciones que nos ofrece la herramienta **Edición Avanzada**.

2.9.4.2. Identificación geográfica y geométrica de islas

Los archivos vectoriales de líneas de costa se los convirtió a polígonos usando el complemento **Poligonizar**. Cada archivo contiene en la tabla de atributos los tres primeros campos de la Tabla 2.10, el archivo vectorial del 2016 contiene todos los campos descritos en la Tabla 2.10 que se obtuvieron a través de cartas de navegación en la zona y la calculadora de campos:

Tabla 2.10 Metadato de archivos vectoriales poligonales 1985 y 2016

Realizado por: (Mirabá, 2021)

Campo	Unidad
ID	
Nombre	
Superficie	Ha
Largo	m
Ancho	m
Índice geométrico	m/m

2.9.4.3. Superficies erosionadas y acrecentadas

Luego de la identificación de las islas que habían sufrido cambios en su línea de costa, haciendo uso de las herramientas **Diferencia** del complemento de geoprocreso en QGIS.

Esta herramienta permite extraer los objetos espaciales de la capa de entrada que caen fuera en la capa de superposición. Depende como se usen los archivos vectoriales poligonales de 1985 y 2016, como capa de entrada o superposición (Tabla 2.11), se obtiene como resultado un archivo nuevo que contiene la diferencia entre ellas y representa las zonas de cambios geomorfológicos. La capa resultante se editará en caso de ser necesario o según el criterio del interprete.

Tabla 2.11 Obtención de capa con zonas erosionadas y acrecentadas usando la herramienta Diferencia

Realizado por: (Mirabá, 2021)

Capa de entrada	Capa de superposición	Diferencia
1985	2016	Zonas erosionadas
2016	1985	Zonas acrecentadas

2.9.4.4. Reclasificación y cálculo de superficie de coberturas

El archivo generado por la clasificación supervisada de coberturas se exportó como archivo ráster y se cargó en ArcGIS en donde se usó la herramienta **Extract by mask**, para cortar el archivo ráster con el polígono de islas. Se usó **Reclassify** para poder editar los valores de los pixeles de las coberturas en el caso de ser necesario.

Finalmente se convierte a polígonos usando la herramienta **Poligonizar** y se usando la calculadora de campos en la tabla de atributos se calcula el area de cada cobertura.

2.9.5. Procesamiento de datos batimétricos

2.9.5.1. Generación de archivo vectorial de esteros

Usando el archivo vectorial de islas del 2016 y un archivo vectorial que cubra toda el área de estudio incluido islas y esteros. Se utiliza la herramienta diferencia para obtener como resultado una capa vectorial poligonal de esteros.

Tabla 2.12 Obtención de capa vectorial de esteros usando la herramienta diferencia

Fuente: (Miraba, 2021)

Capa de entrada	Capa de superposición	Diferencia
área de estudio	2016	Esteros

2.9.5.2. Modelo digital de terreno batimétrico

Se usó la herramienta **Unir capas vectoriales** para obtener los datos almacenados en un solo archivo vectorial. Se realizó un modelo de elevación digital con la herramienta **IDW** (Ponderación de distancia inversa) en ArcGIS, que se estima los valores interpolados en los promedios de los valores vecinos, esta herramienta permite cargar un archivo vectorial (capa Esteros generada en sección 2.9.5.1) del cual obtiene los limites o bordes para realizar la interpolación.

2.9.5.3. Identificación geográfica y geométrica de esteros

Usando de referencia el archivo vectorial esteros se crea un nuevo archivo vectorial de líneas (Estero_Line) para el año 2016. En la tabla de atributos contiene los siguientes campos (Tabla 2.13) usando información de cartas de navegación en la zona y la calculadora de campos:

Tabla 2.13 Metadato de archivo de líneas esteros

Fuente: (Miraba, 2021)

Campo	Unidad
ID	
Nombre	
Longitud_Total	m
Longitud_Recta	m
Sinuosidad	m/m

2.9.5.4. Perfiles batimétricos

Se aplicó el complemento de QGIS ***Profile Tools***, el cual nos permite generar el perfil batimétrico a través del DEM y exportarlo como archivo de imagen o datos.

Los cortes batimétricos se escogieron basándose en su orientación, se los denominó esteros longitudinales y transversales en relación con el estero Salado y la ría Guayas. En total se realizaron 5 cortes, los cuales se exportaron a Excel para ser graficados.

CAPITULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Procesamiento de imagen satelital

La Figura 3.1 es el resultado de la corrección radiométrica y atmosférica de la imagen satelital del 1985 usando la combinación de bandas RGB de Landsat 5.



Figura 3.1 Imagen satelital radiométrica de Landsat 5

La siguiente imagen (Figura 3.2) es el resultado del cálculo del NDWI para la imagen satelital en el mismo año, representada en escalas grises.



Figura 3.2 Imagen NDWI para 1985

3.1.1. Extracción de línea de costa

Las siguientes imágenes (Figura 3.3) son los productos obtenidos usando la herramienta Landsat Tasseled Cap: NDVI, brillo, verdor y humedad. Representados en escalas grises con valores de 0 – 255.

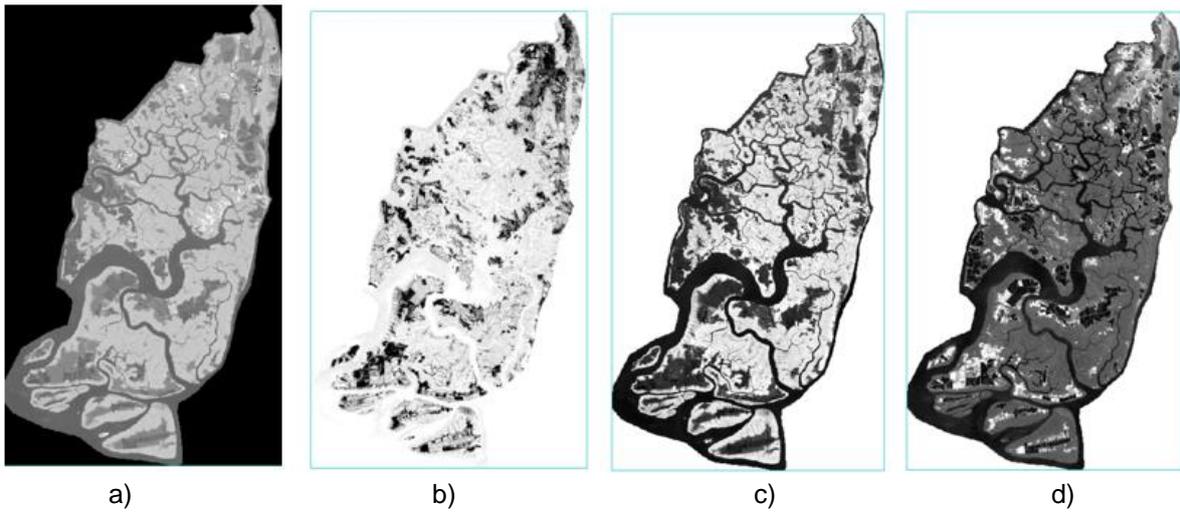


Figura 3.3. Productos de la herramienta Landsat Toolbox para el año 1985. a) NDVI, b) Brillo, c) verdor, d) humedad.

La Figura 3.4 muestra el resultado de la categorización de 10 clases a 2 clases de coberturas de agua y tierra usando Classify Land and Sea.



Figura 3.4. Reclasificación de imagen satelital usando Landsat Toolbox

El producto final del complemento de ArcGIS, Landsat Toolbox es un archivo vectorial de polilíneas usando la herramienta Create Shore Boundary.



Figura 3.5. Línea de costa de 1985

3.2. Morfología en la superficie de las islas

Para realizar la identificación geográfica y geométrica de las islas (Ver 2.9.4.2), se realizó un mapa temático con la poligonización de los archivos de línea de costa en los años 1985 y 2016. La Figura 3.6. y Figura 3.7 muestran el mapa temático con la identificación de geográfica de las islas, para los años mencionados respectivamente.

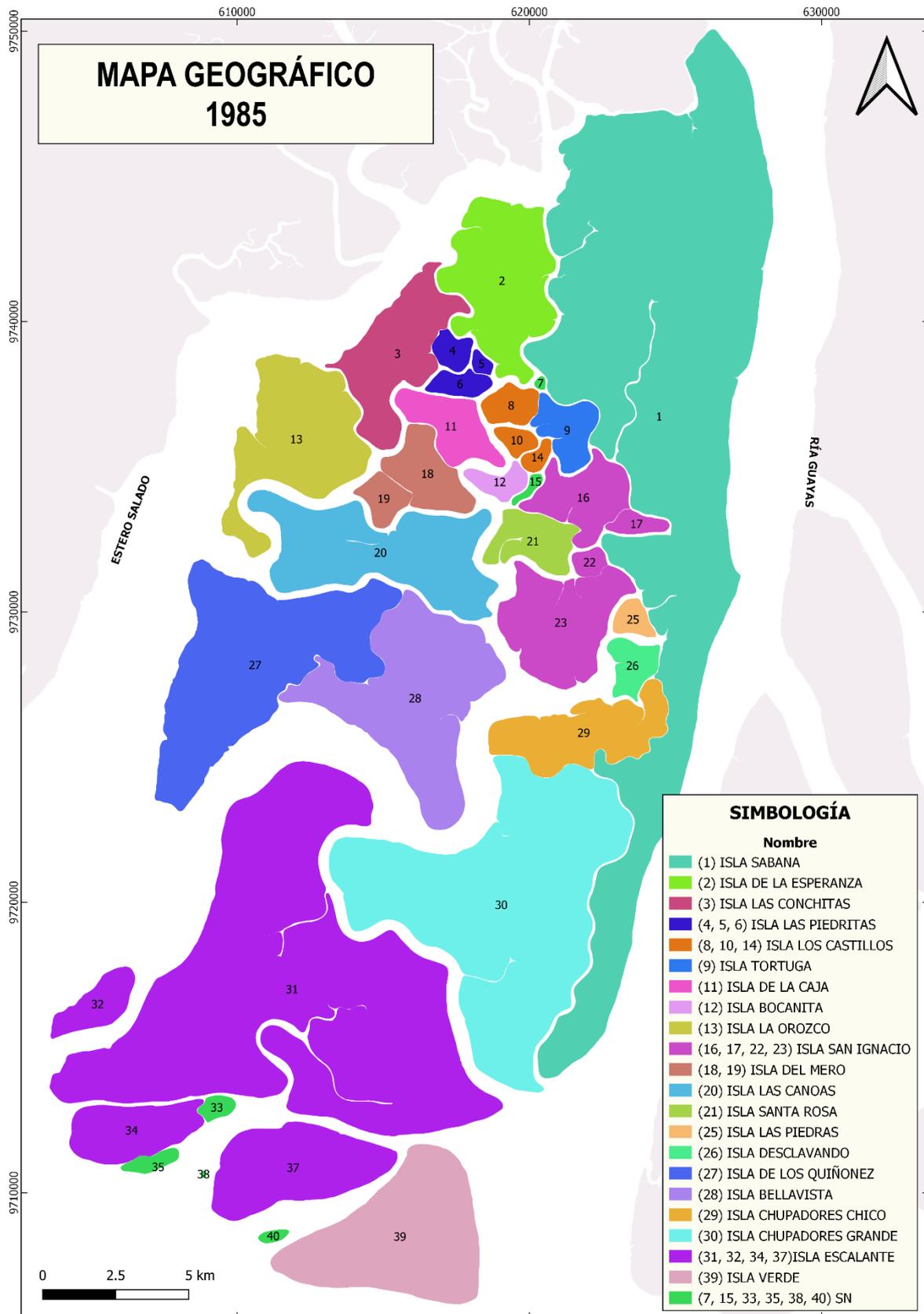


Figura 3.6 Mapa temático con la identificación geográfica del humedal Don Goyo en 1985.

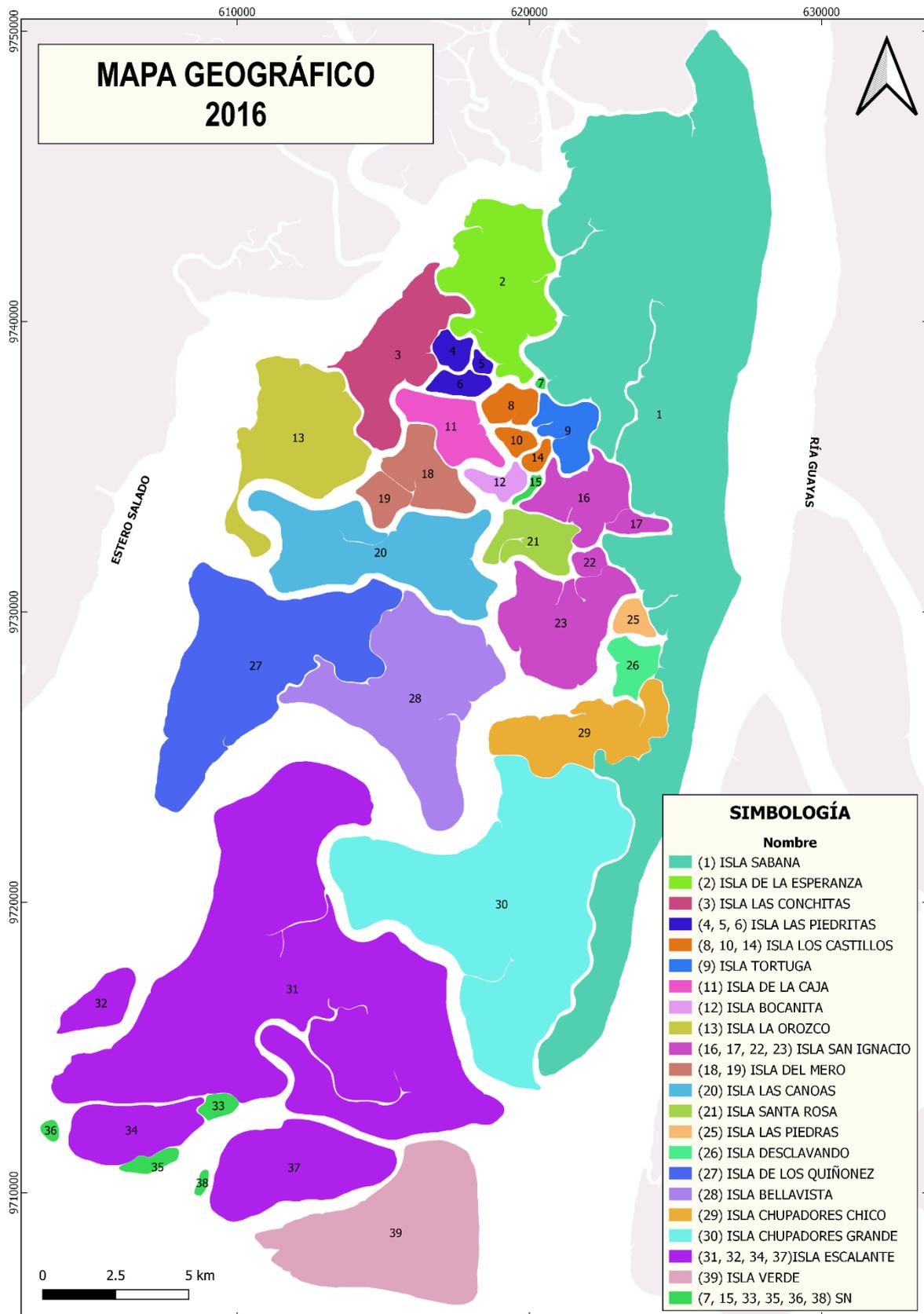


Figura 3.7 Mapa temático con la identificación geográfica del humedal Don Goyo en 2016

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada en el capítulo sobre la morfología de los estuarios dominados por mareas (Ver sección 1.4.2) se intenta interpretar las semejanzas con las características de la zona de estudio.

El conjunto de islas del área de estudio representa un caso particular, pues se encuentra dentro de un sistema deltaico – estuarino dominado por mareas (Ver sección 1.4.6), por esta razón usando los datos generados por el archivo de línea de costa en el año 2016 se intentan buscar patrones para describir las características de este sistema.

3.2.1. Distribución espacial vs. Tamaño de las islas

La distribución de las islas se realizó de acuerdo con el tamaño. Se dividió en tres clases, islas con menor superficie hasta mayor superficie, usando el método estadístico de cortes naturales o jenks cuyo propósito es minimizar la varianza dentro de una clase y maximizar la varianza entre las clases.

La Figura 3.8 muestra el histograma para la clasificación de la superficie de las islas, las está representado por colores y las barras muestran el número de datos o frecuencia.

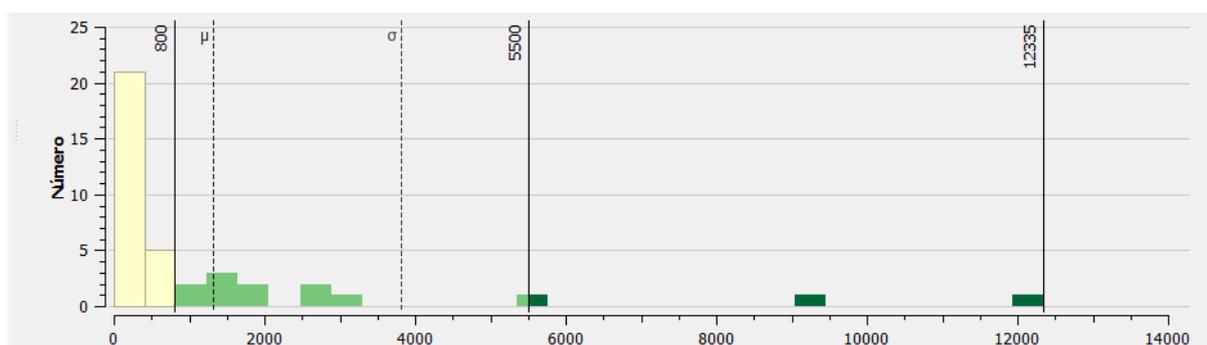


Figura 3.8 Histograma de clasificación de superficie de islas

La Figura 3.9 muestra el mapa de distribución de islas de acuerdo con su superficie. Las islas de menor superficie, representadas de color amarillo claro, se encuentran situadas en la parte interna del conjunto de islas. Las islas de tamaño medio, representadas de color verde claro, se encuentran ubicadas junto al tramo principal del Estero Salado y el Estero Grande, que se caracterizan por ser relativamente anchos. Las islas de tamaño mayor, representadas de color verde oscuro, se

3.2.2. Índice Geométrico

El índice geométrico representa la relación entre el ancho y la longitud de las islas, el ancho es medido en entre dos puntos en sentido Este - Oeste y la longitud es medida entre dos puntos en sentido Norte – Sur. Con el fin de encontrar alguna relación de su geometría plana con su ubicación espacial o simplemente agrupar las islas del humedal categóricamente, también se usó el método estadístico de cortes naturales o jenks.

Se dividió en cuatro clases la Figura 3.10 muestra el histograma que representa la distribución de valores según su frecuencia usando el método de jenks.

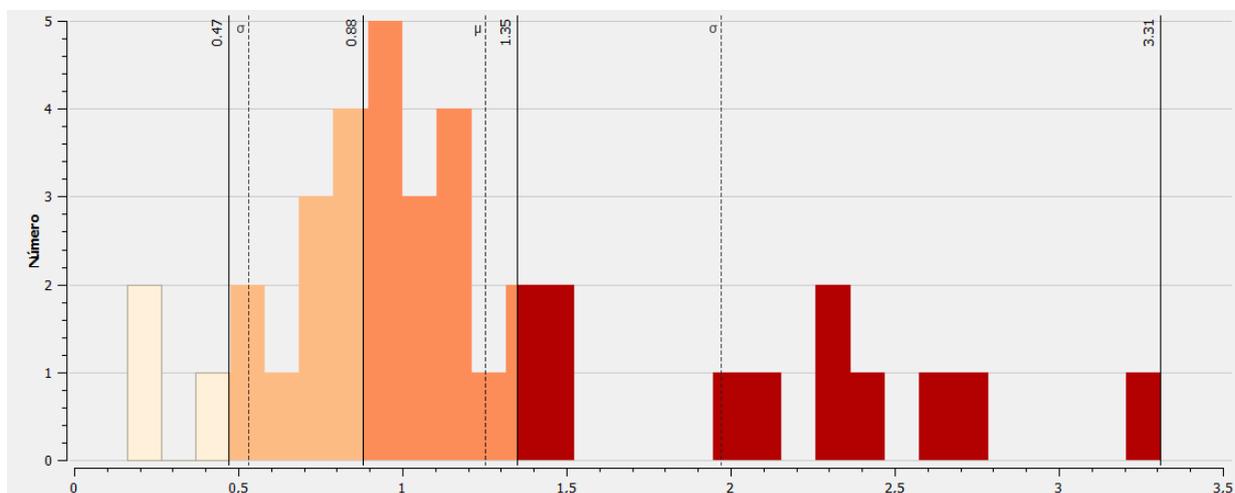


Figura 3.10 Histograma con la distribución de valores usando método de cortes naturales

Los rangos pertenecientes a cada clase se encuentran en la Tabla 3.1. El índice geométrico con valores menores representa a las islas alargadas, es decir, su longitud es mayor que su ancho. Mientras que las islas homogéneas son las islas cuya relación ancho y largo es bastante similar. Por otra parte, las islas anchas son aquellas que su longitud es menor que su ancho y las islas muy anchas son las islas cuyo ancho es mucho mayor que su longitud, por ende, el valor de índice geométrico es el más alto.

Tabla 3.1 Rango y nombre de la categorización del índice geométrico de las islas

Rango	Nombre
0.16 – 0.47	Alargada
0.47 – 0.88	Homogénea
0.88 – 1.35	Ancha
1.35 – 3.31	Muy ancha

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3.11. Las islas alargadas están representadas de color claro, esta clase agrupa a la Isla Sabana que visualmente es la isla de mayor superficie y está influenciada por la ría Guayas. Las islas homogéneas representadas de color naranja pálido, agrupa a islas visualmente de menor superficie, pero de proporción similar y que generalmente se encuentran parcialmente protegidas por otras islas. La categoría de islas anchas está representada por color naranja y contiene islas de diferentes tamaños, las islas de mayor y mediana superficie se encuentran influenciadas por el tramo principal del Estero Salado y las de menor superficie se encuentran en el interior protegidas por las islas más grandes. Finalmente, las islas muy anchas, representadas de color rojo, se encuentran ubicadas en zonas interiores, es decir, que se encuentra rodeada por otras islas, con excepción de las Islas Escalante en el sur, que por su geometría fue incluida en esta categoría, pero que su superficie varía al encontrarse influenciada por el aporte de sedimentos finos de la Ría Guayas.

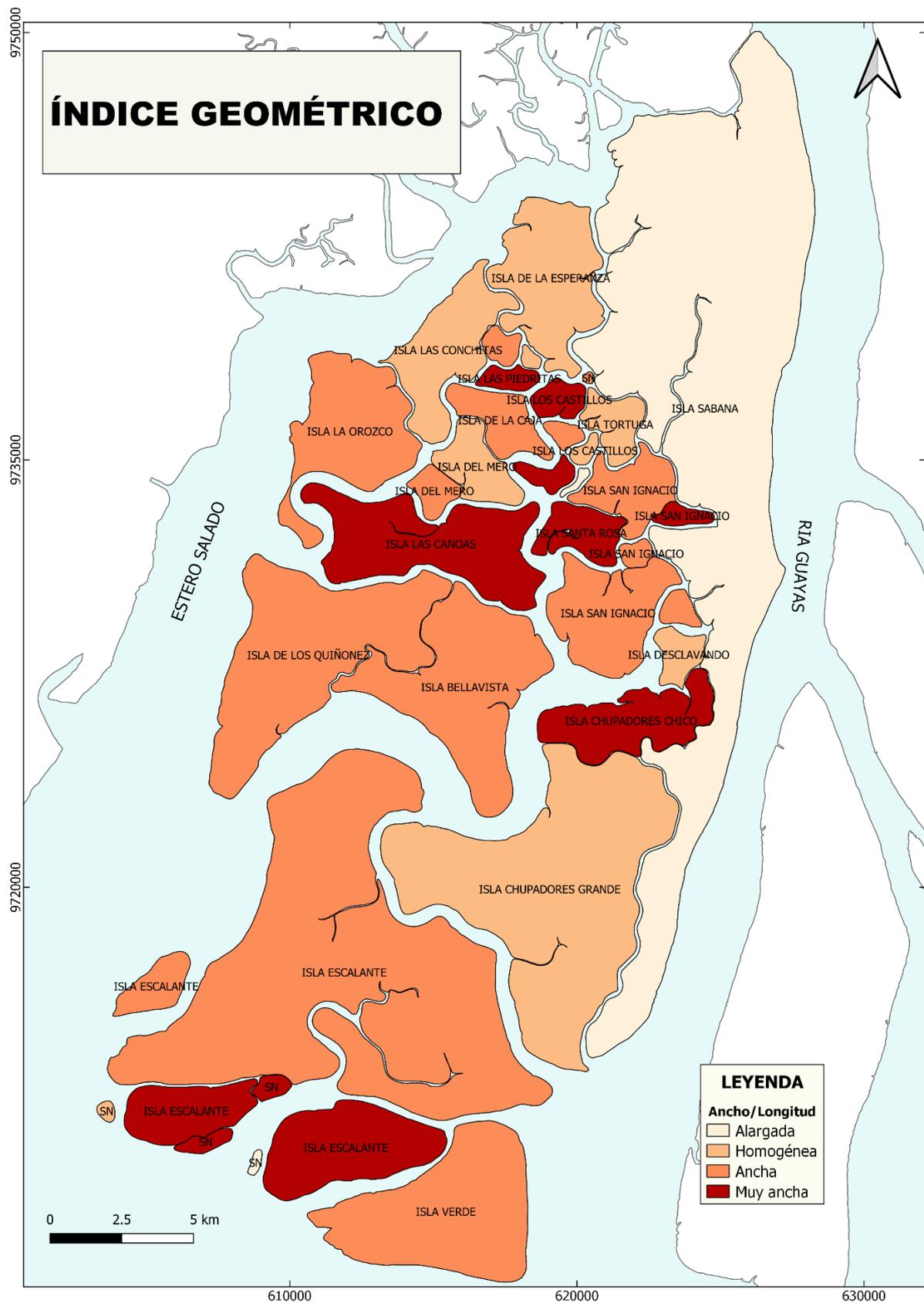


Figura 3.11. Mapa de índice geométrico

3.2.3. Análisis de geometría y ubicación de islas

La hipótesis planteada por Benítez (1975) y mencionada por demás autores (Murray, Conlon, Siripong, & Santoro, 1975; Twilley et al., 2001) sobre la sedimentación y unión de la isla Sabana, desde el sur de Guayaquil hasta la punta Alcatraz, o también conocida como península de Guayaquil, posiblemente tenga una relación con la superficie y distribución de esta isla. Sin embargo, no es preciso afirmarlo, lo correcto sería hacer realizar estudios de sedimentos que puedan dar respuestas frente a esta hipótesis.

Asimismo, la rápida acreción y formación de islas en la parte sur del área de estudio, específicamente en las islas Escalante e isla Verde, es probablemente debido a la rápida sedimentación en esta zona, por la acción de las corrientes de marea e influencia fluvial, además de la acción antropogénica en zonas cercanas que influyen en la evolución morfológica del estuario (Ver sección 1.4.1).

3.3. Morfología de Esteros

Los canales de los deltas dominados por mareas que se encuentran en la zona de transición fluvial a marina presentan tendencias similares al comportamiento de los ríos en su transición de aguas arriba hacia aguas abajo, entre estas características tenemos: la sinuosidad y la profundidad del lecho del canal. (Gugliotta & Saito, 2019)

Previo a la descripción de las características de los esteros en esta sección, la Figura 3.12 muestra el mapa temático con la identificación geográfica de los esteros del humedal Don Goyo en la parte interior del Golfo de Guayaquil.

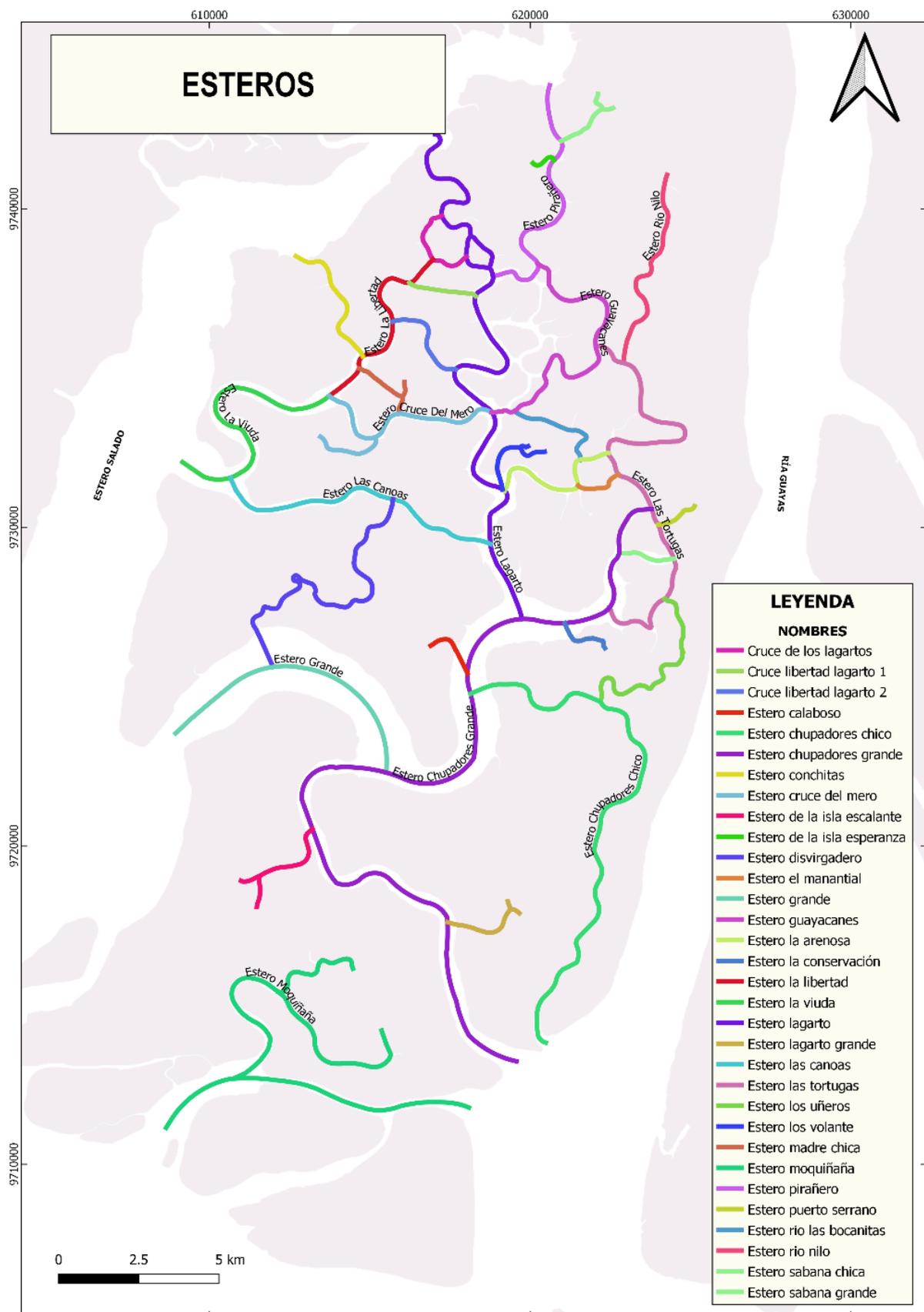


Figura 3.12 Mapa geográfico de esteros

3.3.1. Índice de sinuosidad

La sinuosidad de los esteros está relacionada con el perfil de la sección transversal del canal, debido a que los bordes meándricos tienen a modelar el fondo el lecho del canal alterando a las fuerzas cortantes y la pendiente del fondo (Leopold, Luna B.; Wolman, 1970).

Se calculó el índice de sinuosidad de acuerdo con la sinuosidad hidráulica de ríos de Leopold y Wolman (1984). La Tabla 3.2 muestra la clasificación de la sinuosidad hidráulica según varios métodos (Reyes Camus, 2014) que categoriza la curvatura en baja, moderada y alta.

Tabla 3.2. Sinuosidad hidráulica

Sinuosidad	Valor
Baja	Menor a 1,3
Moderada	1,3 – 2
Alta	Mayor a 2

Fuente: (Reyes Camus, 2014)

Este procedimiento se realizó a 24 esteros de los 32 identificados en la Figura 3.10, usando la calculadora de campos en la tabla de atributos (Ver Anexos), mediante la razón de la longitud curvilínea medida entre dos puntos elegidos entre la distancia recta entre estos dos puntos.

Se obtuvo el siguiente mapa cloroplético (Figura 3.13), la sinuosidad alta está representada de color azul, la sinuosidad moderada de color fucsia y la sinuosidad baja está representada de color amarillo. El estero Guayacanes, fue el único estero que registró sinuosidad, alta está ubicado en el interior de las islas y se conecta con el estero Pirañero y el estero Lagarto. Por otro lado, la mayoría de los esteros transversales u orientados de este a oeste tienen sinuosidad baja, mientras que la mayor parte de los esteros de los que tienen orientación norte sur o esteros longitudinales tienen sinuosidad moderada.

Para esta ocasión los tramos a lo largo del estero Lagarto - Chupadores Grande están separados por el punto de inflexión (Ver Figura 1.3), con un total de 22 tramos se clasificaron según su grado de sinuosidad obteniendo la Figura 3.12 que representa con colores oscuros los tramos altos de sinuosidad y los colores claros con niveles bajos de sinuosidad.

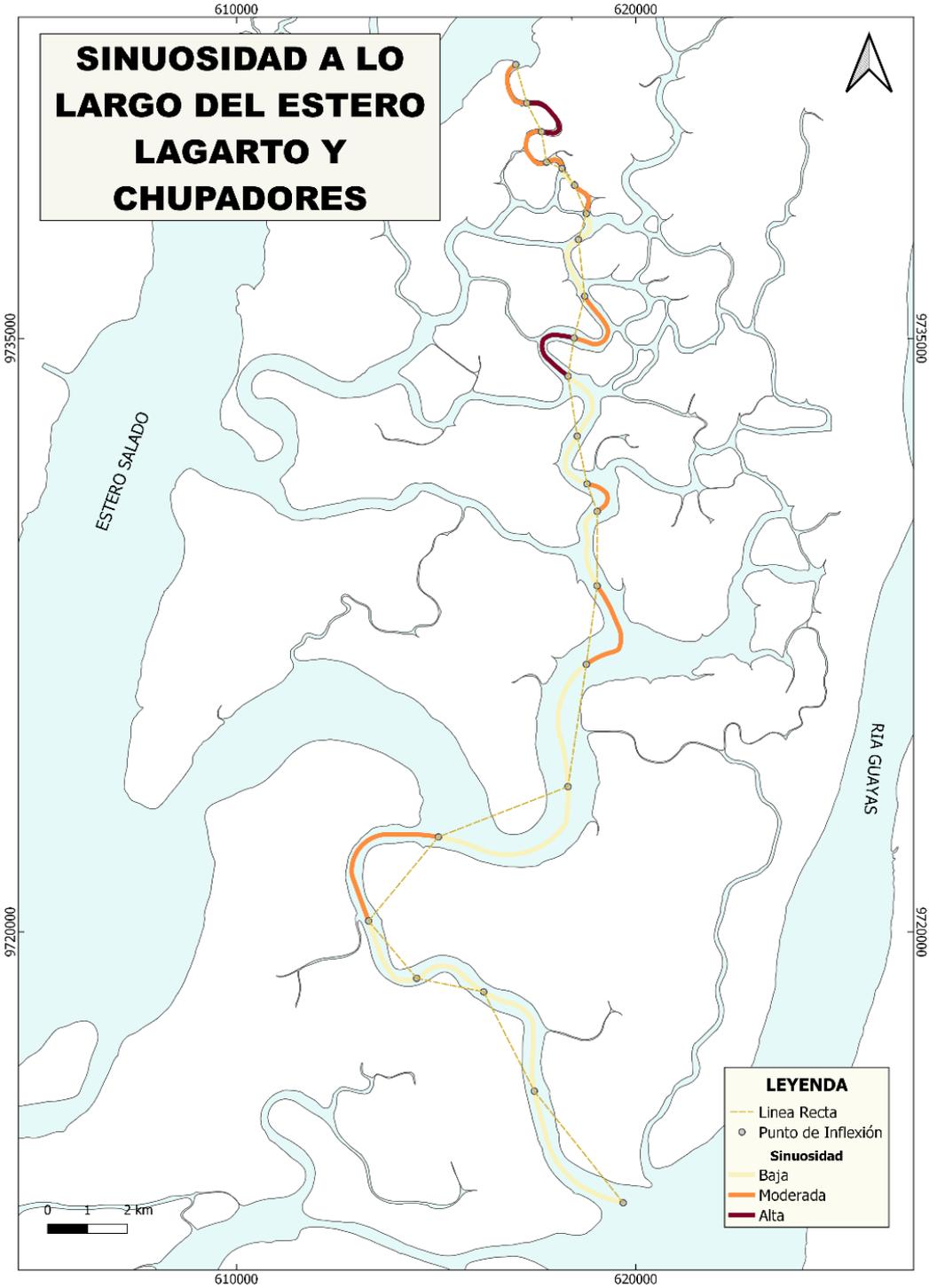


Figura 3.14 Sinuosidad del estero Lagarto y Chupadores Grande

El índice de sinuosidad de los tramos del estero Lagarto – Chupadores Grande analizados en la Figura 3.14 mayormente en su mayoría tienen sinuosidad baja y moderada, esto puede se puede constatar calculando el promedio del índice sinuosidad que es de 1.39, mientras que la sinuosidad minina es de 1.02 y la sinuosidad máxima encontrada es de 2.06.

La mayoría de los tramos que tienen sinuosidad baja se encuentran principalmente en el estero Chupadores Grande que tiene mayor influencia del mar y los tramos con sinuosidad alta y moderada se encuentran al inicio del estero Lagarto. Esta tendencia fue encontrada en una comparación de canales de deltas dominados por mareas, que relaciona la influencia de mareas con el grado de sinuosidad, ancho y profundidad en canales (Gugliotta & Saito, 2019), en donde las sinuosidades altas de un canal se encuentran en zonas donde la influencia de marea es mínima.

3.3.2. Características morfológicas de los esteros

3.3.2.1. Hidráulica de canales abiertos

Un canal abierto natural o artificial se diferencia de una tubería por tener una superficie libre y por estar sometida a la presión atmosférica. El flujo de los canales abiertos se puede clasificar de acuerdo con la variación de su profundidad con respecto al tiempo y al espacio; en flujo permanente o continuo si la profundidad no cambia durante un intervalo de tiempo, y en caso contrario en flujo no permanente. En canales abiertos sometidos a marea y oleaje deben ser tratados como flujos no permanentes, debido a que el flujo cambia a conforme las ondas pasan. (Ven te Chow, 1959)

Para cualquier tipo de flujo, el caudal Q en una sección de canal obedece la siguiente expresión:

$$Q = VA \quad (3.1)$$

Donde V es la velocidad media y A es el área de la sección transversal de flujo perpendicular a la dirección de este. A partir de la ecuación 3.1 se puede definir la ecuación de continuidad para un flujo continuo que indica que el caudal se mantiene en el tramo del canal.

$$Q = V_1A_1 = V_2A_2 = \dots \quad (3.2)$$

Sin embargo, la ecuación 3.2 es válida en flujos permanentes, en canales con flujo no permanente a la ecuación de continuidad se debe adicionar la variable tiempo, que puede establecerse considerando la conservación de masa en un espacio infinitesimal entre dos secciones de un canal (Figura 3.15).

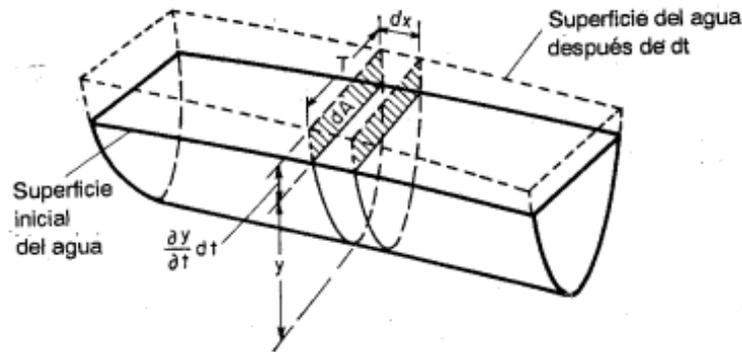


Figura 3.15 Continuidad de un flujo no permanente

Fuente: (Ven te Chow, 1959)

El flujo cambia con la distancia a una tasa $\frac{\partial Q}{\partial x}$, y la profundidad cambia con el tiempo a una tasa de $\frac{\partial y}{\partial t}$. El cambio en el caudal a través del espacio en el tiempo dt es $(\frac{\partial Q}{\partial x})dxdt$. El cambio del almacenamiento dentro del canal en el espacio es $T dx (\frac{\partial y}{\partial t})dt = dx (\frac{\partial A}{\partial t})dt$. Debido a que el agua es incompresible, el cambio neto en el caudal más el cambio en el almacenamiento debería ser cero y en una sección determinada representada como la ecuación 3.1, la ecuación de continuidad del flujo no permanente simplificada se convierte en la ecuación 3.3. (Ven te Chow, 1959)

$$\frac{\partial(VA)}{\partial x} + T \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (3.3)$$

3.3.2.2. Batimetría

La Figura 3.16 muestra el resultado de la interpolación de los puntos de profundidad, la batimetría del área de estudio, referida al MLWS (Promedio de las bajamares de sicigia). Las zonas profundas están representadas por color azul en tonos oscuros, mientras que las zonas someras esta representadas por color verde en tonos claros.

Las profundidades máximas se encontraron: en el estero La Libertad, cerca de la punta este de la isla Del Mero y en el tramo sur del estero Lagarto en el sureste de la isla Las Canoas, también se encontraron. Por el contrario, los esteros someros o de poca profundidad que se encontraron fueron: el estero Grande, estero Chupadores Chico, tramo norte del estero lagarto, entre otros.

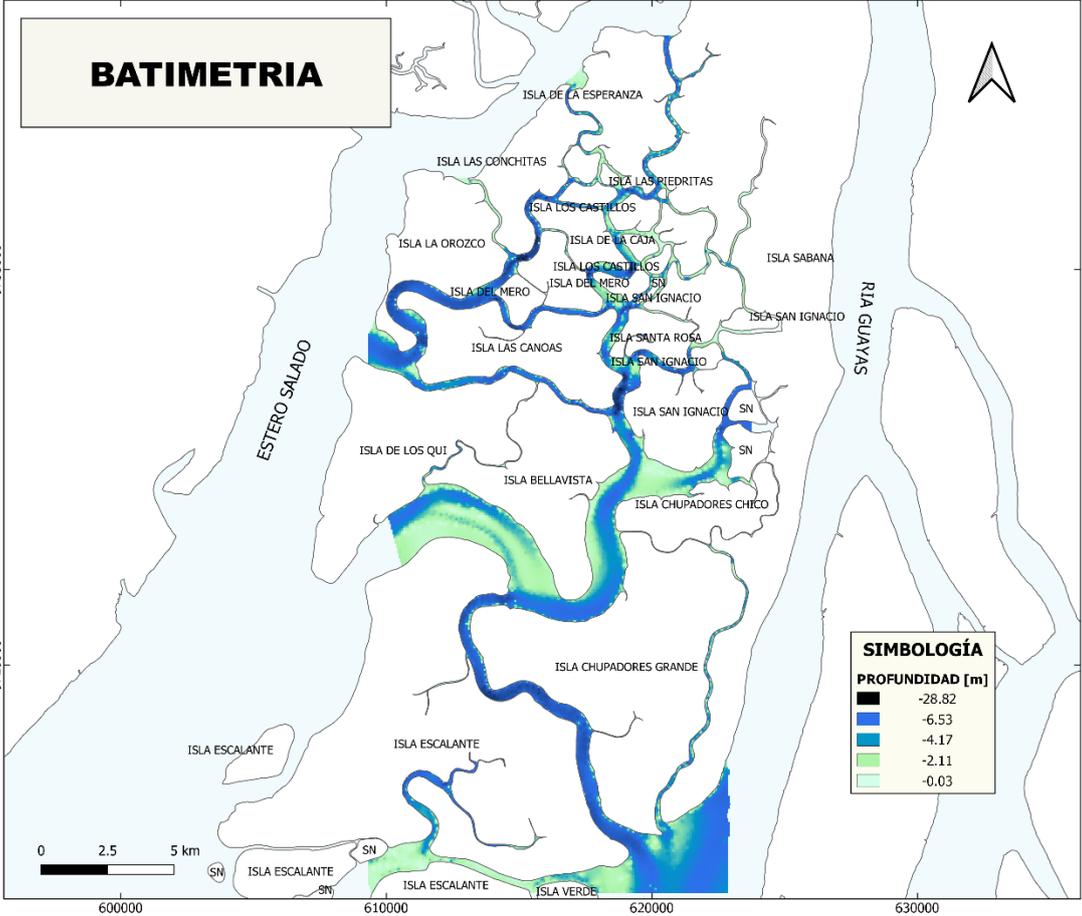


Figura 3.16. Mapa Batimétrico

Se escogieron los tramos de esteros para el análisis en función a su alineación con el estero Salado y la ría Guayas. Los cortes se realizaron en cinco tramos de esteros en el humedal: dos esteros longitudinales, llamados así porque se encuentran alineados casi paralelos al estero Salado y la ría Guayas, y tres esteros transversales, alineados casi perpendicular a los dos cuerpos de agua antes mencionados (Figura 3.17).

Los esteros longitudinales (EL) son: el tramo uno (EL1) que comprende; el tramo norte de estero Lagarto hasta el estero la Viuda, y el tramo dos (EL2) que inicia en el estero

Pirañero y finaliza en el estero Chupadores grande. Los esteros transversales (ET) son el tramo 3 (ET3) que cubre el estero Cruce del mero, el tramo 4 (ET4) en el estero las Canoas y el tramo 5 (ET5) en el estero Grande.

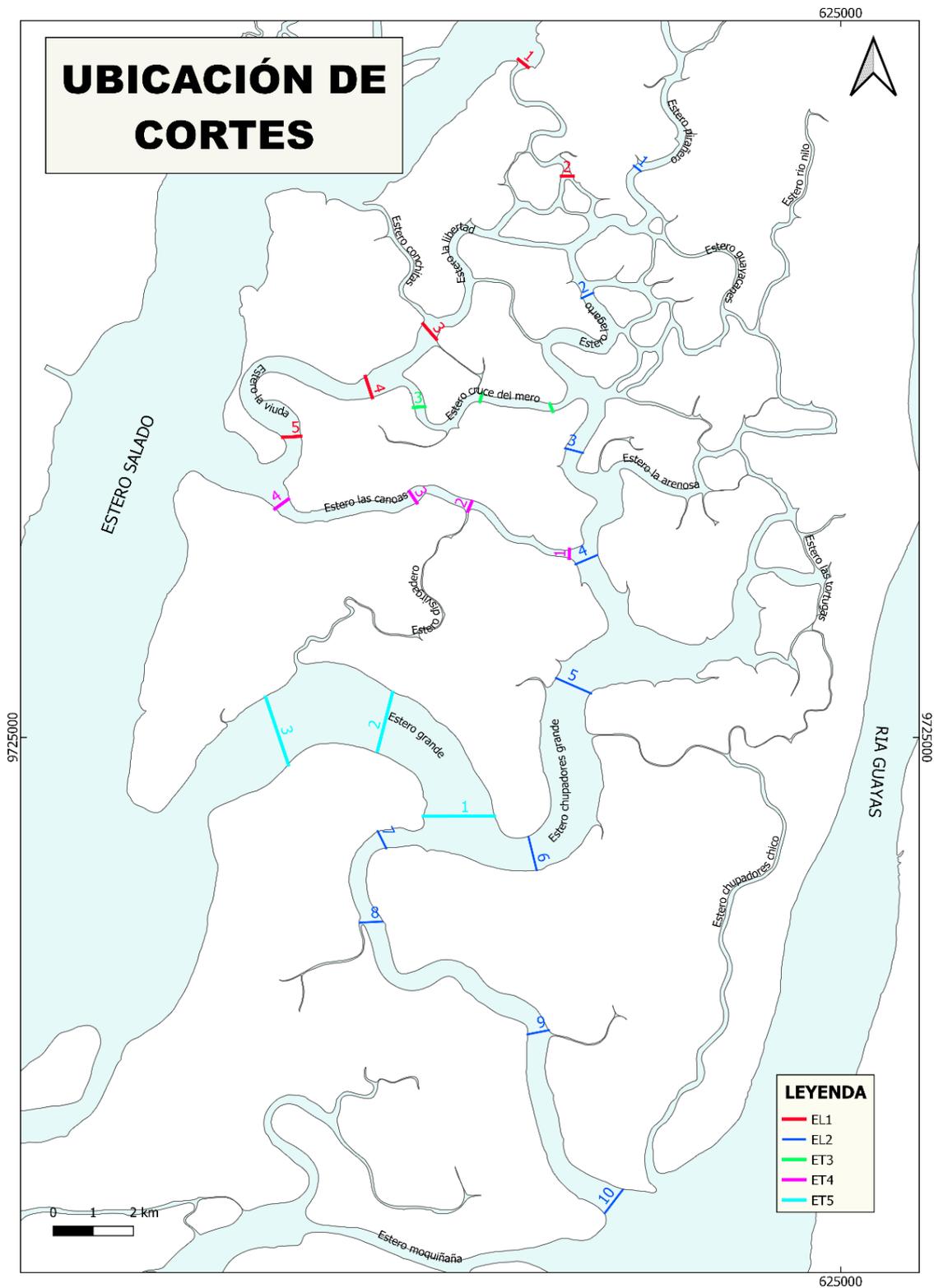


Figura 3.17. Mapa de ubicación de cortes en tramos de los esteros seleccionados

Los siguientes gráficos muestran los perfiles verticales de los cinco tramos en los esteros. Visualmente los perfiles batimétricos de los tramos longitudinales muestran el mismo patrón, su comportamiento es similar a la hidráulica de canales abiertos (Ven te Chow, 1959). El corte 5 del Gráfico 3.1 tiene la máxima profundidad en el estero La libertad cerca de la intersección con el estero Cruce del Mero. Mientras que en el Gráfico 3.2 la máxima profundidad se puede observar en el corte 4 en el estero Lagarto a la altura del estero Las canoas. Esta misma tendencia se puede observar en el Gráfico 3.3 que representa todo el tramo sur del estero Chupadores Grande, que en la Figura 3.14 visualmente es el más profundo, el corte 9 que registra la máxima profundidad en el estero longitudinal 2.

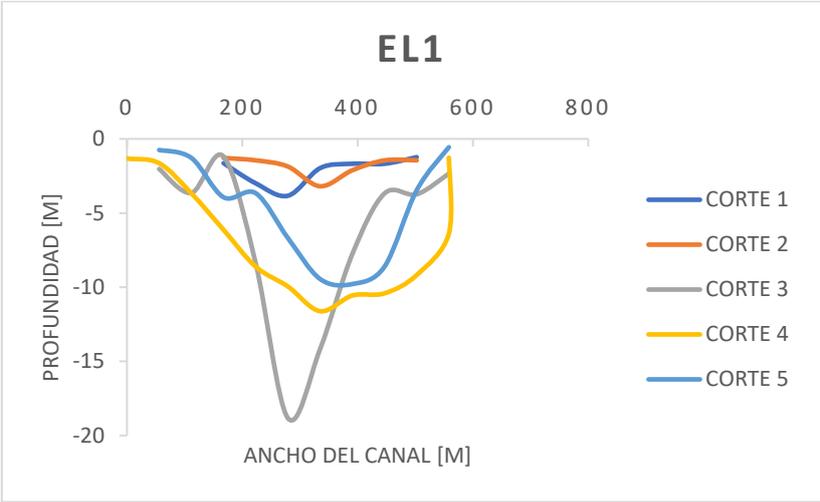


Gráfico 3.1 Perfiles batimétricos del tramo longitudinal 1

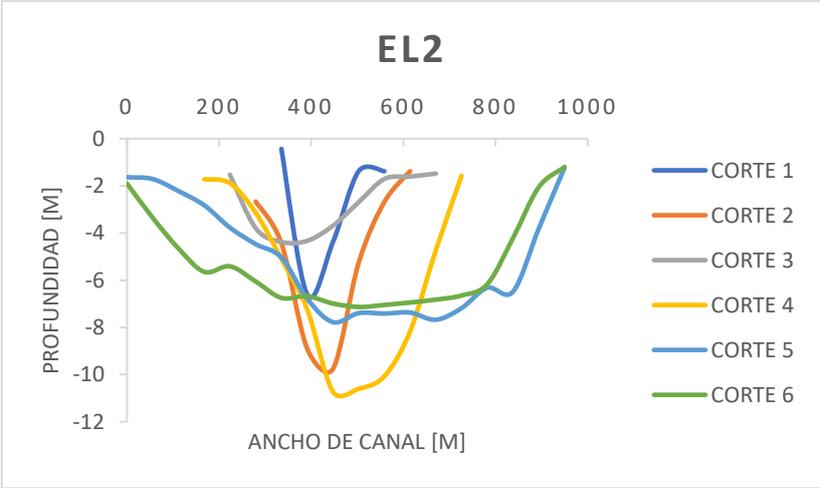


Gráfico 3.2 Perfiles batimétricos del tramo longitudinal 2 del corte 1 al 6

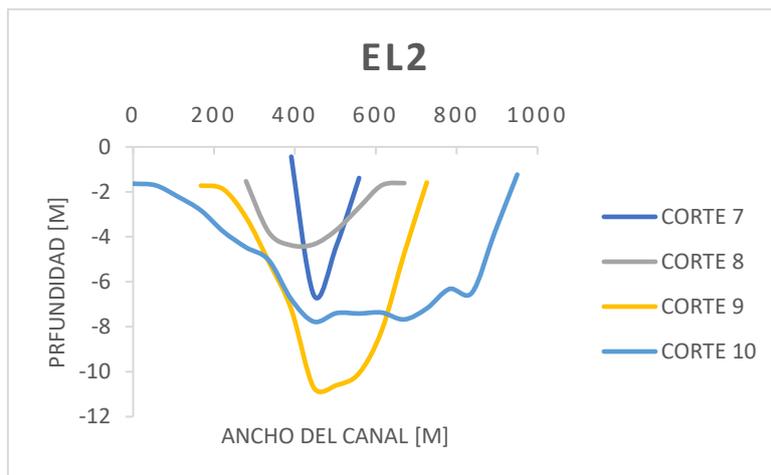


Gráfico 3.3 Perfiles batimétricos del tramo longitudinal 2 del corte 7 al 10

En los esteros transversales, se observó el mismo comportamiento, visualmente ET3 Y ET5 son relativamente angostos con respecto a ET5. Esto puede explicar la relación entre el ancho del canal y su área de la sección transversal. Aunque en los canales naturales influyen otros factores como la rugosidad del canal, la presencia de curvas (Ven te Chow, 1959) y en el caso de los esteros analizados del área de estudio la influencia de marea finalmente muestran un claro comportamiento que depende de su ancho.

El ET5 (Gráfico 3.6) comprende todo el tramo del estero Grande el cual tienen una conexión directa con el Estero Salado y se puede diferenciar su bidireccionalidad debido a la acción de la marea. Además, se puede observar la forma meándrica que permite que las velocidades en el borde interno del canal disminuyan favoreciendo a la deposición de sedimentos, y en el borde externo las velocidades aumenten profundizando este extremo.

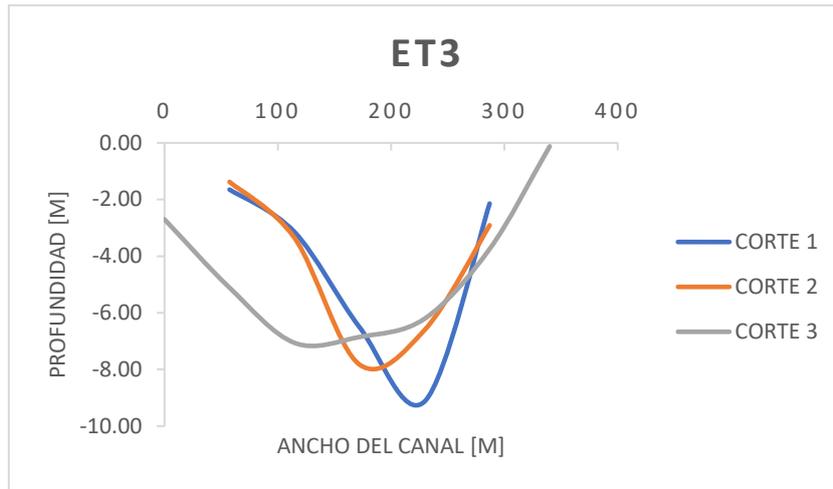


Gráfico 3.4 Perfiles batimétricos del tramo transversal 1

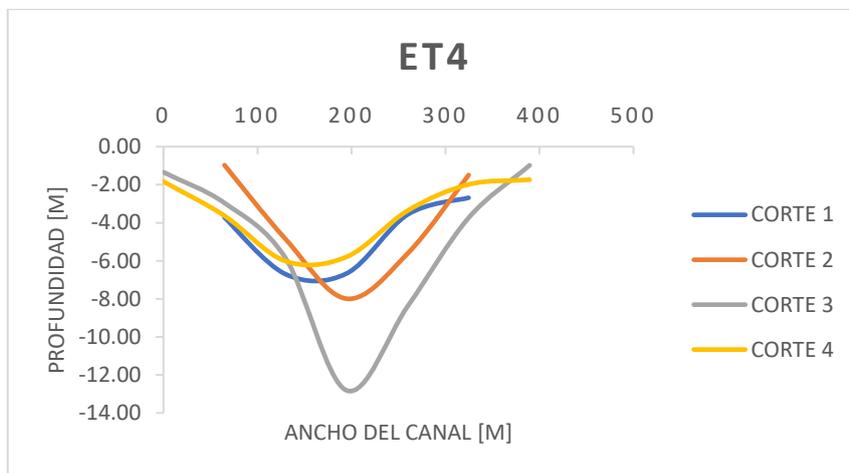


Gráfico 3.5 Perfiles batimétricos del tramo transversal 2

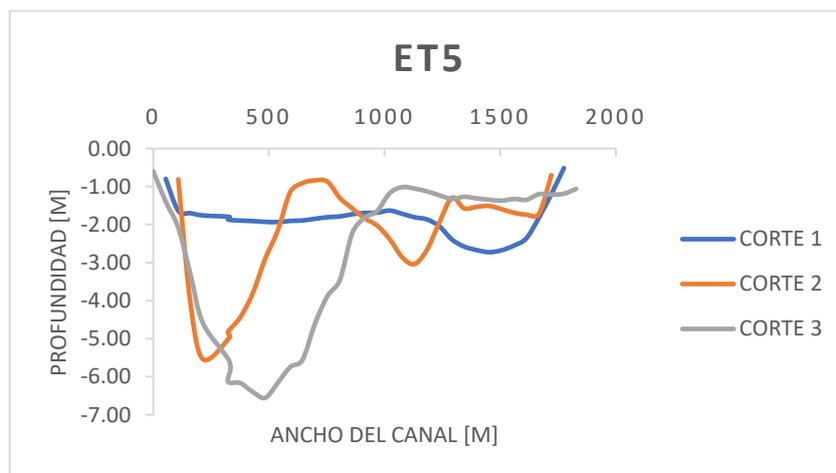


Gráfico 3.6 Perfiles batimétricos del tramo transversal 3

3.4. Cambio de uso de suelo

El cambio de uso de suelo de bosques de manglar a granjas camaroneras en los estuarios del Ecuador fue rápida y masiva, según un estudio de análisis de teledetección a largo plazo realizado por Hamilton en el 2020, en 1985 el estuario del Guayas tenía una superficie de 134035 Ha. de manglares, 30800 Ha. de camaroneras y 12142 Ha. perteneciente a otros tipos de cobertura, y para el 2014 la cobertura de granjas camaroneras aumentó más del doble en extensión. (Hamilton, 2020)

El mapa de uso de cobertura de suelo realizado en el humedal Don Goyo (Figura 3.18) muestra el resultado obtenido en un análisis espacial entre dos fechas escogidas (Ver Tabla 2.8), en el cual es notorio el cambio de cobertura de vegetación, suelo y camaronera en el área de estudio. También se puede observar en el mapa como las zonas de salitrales en 1980, representadas de color rojo, son parcialmente ocupadas por camaroneras mientras que en el 2016 están cubiertas totalmente por camaroneras.

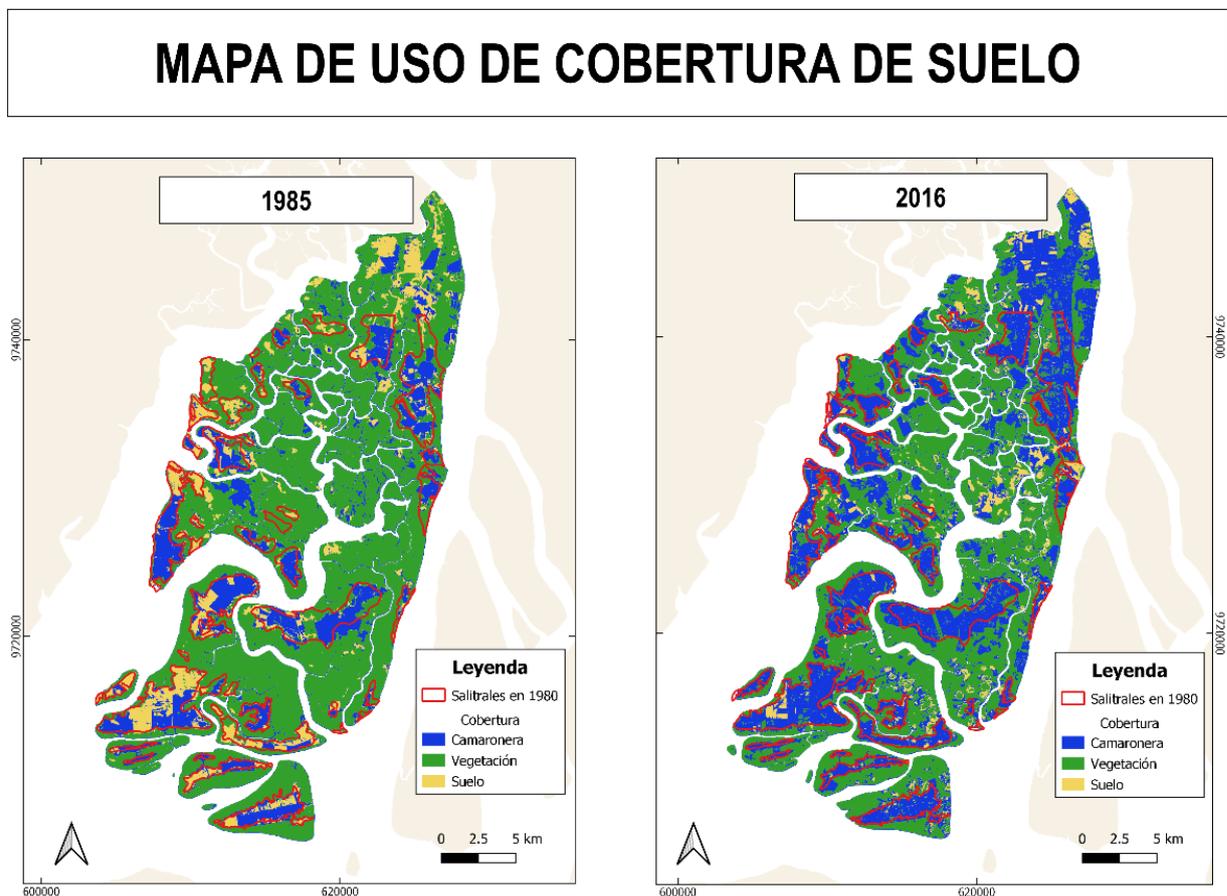


Figura 3.18. Mapa de uso de cobertura de uso de suelo en 1985 y 2016

La Tabla 3.4 muestra el resultado del cálculo de área para cada cobertura entre 1985 y 2016, aquí se puede observar la misma tendencia de aumento de superficie de granjas camaroneras que encontrado por Hamilton. Además, la disminución de superficie de las coberturas de vegetación y suelo.

Tabla 3.4. Superficie de cobertura de uso de suelo en 1985 y 2016

Cobertura	Área en 1985 [Ha]	Área en 2016 [Ha]
Camaronera	8125.94	18165.60
Vegetación	35014.29	27448.36
Suelo	5775.96	2725.00

3.5. Cambio de en la línea de costa (forma de canales e islas)

El delta estuario del Guayas fue clasificado de manera cualitativa en el 2020, como un sistema deltaico que presenta cambios evolutivos costeros importantes sin tener alguna intervención por estructuras de ingeniería costera (Padilla, 2020). Esta evolución de pudo demostrar de manera cuantitativa mediante la extracción de la línea de costa entre dos años (1985 y 2016).

El cambio en la línea de costa en las fechas analizadas es evidente, especialmente en la zona sur del area de estudio (Figura 3.19). Las islas que registraron cambios de pérdida o retroceso en la línea de costa (Tabla 3.5), fue en el lado oeste del área de estudio que es bañado por el estero Salado. Por otro lado, las islas que registraron aumento o avance en la línea de costa (Tabla 3.6) fueron la isla Verde y la isla Escalante ubicadas en el sur, también se registró un aumento en la línea de costa en la punta de dos islas que se encuentran entre el comienzo del estero Grande, específicamente cuando el estero ya mencionado se une con el estero Salado, esto podría tener relación con los procesos sedimentarios y morfológicos del estuario que por acción de la marea pueden llegar a sedimentarse (Ver sección 1.4.6).

Tabla 3.5. Longitud en el retroceso de línea de costa

ISLA	NOMBRE DE ISLA	RETROCESO MÁXIMO [m]
2	Isla La Esperanza	88
3	Isla de Las Conchitas	84
13	Isla La Orozco	216
27	Isla de Los Quiñonez	138
32	Isla Escalante	280
39	Isla Verde	160

Tabla 3.6. Longitud en el aumento de línea de costa

ISLA	NOMBRE DE ISLA	AUMENTO MÁXIMO [m]
27	Isla de Los Quiñonez	192
31	Isla Escalante	413
37	Isla Escalante	167
39	Isla Verde	550

3.6. Relación entre los cambios de sedimentación y la cobertura del suelo

Al reemplazar la cobertura boscosa de manglar por piscinas camaroneras impide la formación natural de salitrales ubicadas en zonas cercanas a la orilla, es decir, el volumen de agua destinado a inundar tiende interactuar con el talud y desviarse provocando la remoción sedimentos (Proyecto de Vinculación, 2018).

Los cambios de sedimentación se representan en el siguiente mapa cloropletico (Figura 3.19), las zonas de erosión se visualizan con una paleta de colores amarillo y rojo, mientras que las zonas de acreción con una paleta de colores morado y azul.

La mayor superficie de erosión se registra en la isla La Orozco (Ver Tabla 3.5) y la razón del retroceso de línea de costa posiblemente sea al reemplazo de manglar por piscinas camaronera. De acuerdo con los resultados de la sección 3.4, en 1985 la isla Orozco poseía grandes áreas de salitrales que luego fueron reemplazados por piscinas para la producción de camarón (Ver Figura 3.18). Por otro lado, la acreción y formación de nuevas islas en la zona sur del área de estudio (Tabla 3.6) se deba a la conexión con la ría Guayas a través del canal Cascajal que permite la deposición de sedimentos finos (Ver sección 1.4.6) que según una entrevista realizada a Don Genaro Vera se manifiestan como lodos (Vera, 2021) que son poblados rápidamente por manglares.

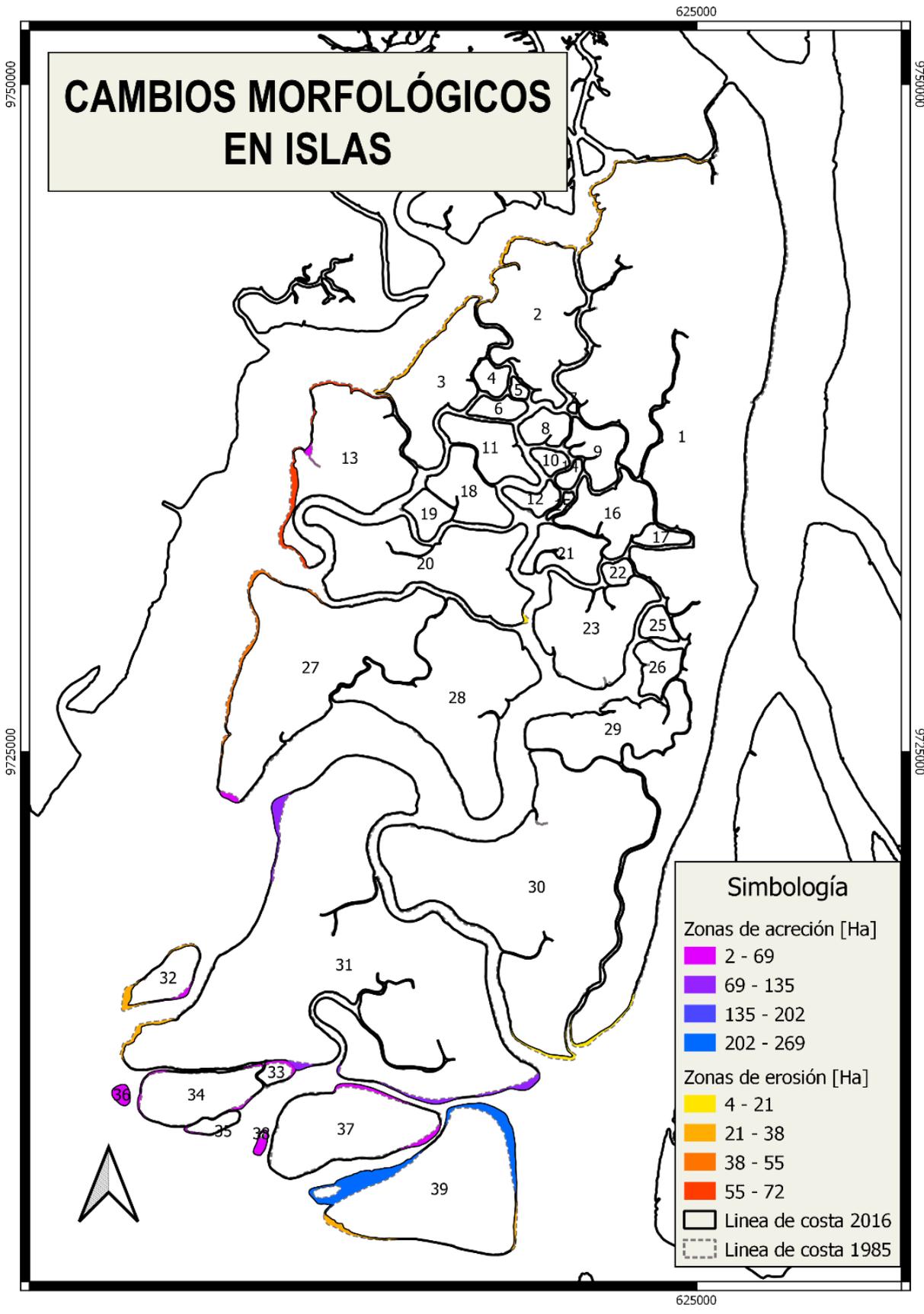


Figura 3.19. Mapa de cambios morfológicos en islas

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La metodología aplicada para detectar cambios en la línea de costa en las islas es aplicable para uso de data satelital con sensores ópticos y depende de la resolución del espacial para detectar los cambios a una escala adecuada.
- La geometría y el tamaño de las islas tienen una relación en cuanto a su ubicación por lo que se puede inferir que estas dos características están influenciadas por la circulación estuarina, las islas de mayor superficie tratan de alinearse al estero salado y la ría Guayas, mientras que las islas de menor superficie se agrupan en el interior del conjunto de islas en donde el aporte de los cuerpos de agua mencionados es relativamente menor.
- Los esteros se comportan de manera similar a la hidrodinámica de canales abiertos en ríos, con la diferencia de que los esteros del Golfo son bidireccionales debido a la acción de la marea. Además, teniendo en cuenta la sinuosidad y la influencia de marea hacen que los perfiles de la sección transversal tengan definidas las zonas profundas, cuando su ancho es menor, y las zonas someras, cuando su ancho es mayor.
- Este trabajo comenzó con la hipótesis sobre la posible relación del cambio de línea de costa con la pérdida de salitrales, usados actualmente como camaroneras. Sin embargo, con el análisis de la evolución morfológica del humedal, realizado en el presente estudio, no es posible concluir aún que dichos cambios se relacionan de manera exclusiva al cambio de uso de suelos. Para confirmarlo se debería obtener la línea de costa antes de la creación de piscinas camaroneras además de analizar años intermedios.
- Los resultados dan un indicio para futuras investigaciones, se demostró que existe un cambio, morfológico entre los años 1985 y 2016, pero queda incertidumbre sobre la circulación sedimentaria y porqué unas zonas tienden a erosionarse o acrecentarse más que otras. Por lo que es necesario tomar en cuenta muchos factores, y quizás estos no necesariamente se encuentren actuando explícitamente dentro del ecosistema.

4.2. Recomendaciones

- Monitorear el cambio de línea de costa usando teledetección hiperespectral las cuales se han demostrado ser buenas en aplicaciones geológicas y monitoreo costero/oceánico, con la única limitación de cobertura espacial para regiones específicas por lo que no se encuentran disponibles de manera global.
- Usar una máscara del área de estudio que excluya las zonas camaroneras que se encuentran cerca del borde costero, para que la herramienta extract shoreline al ejecutar su algoritmo no dibuje el borde de la piscina.
- Debido a la compleja circulación en los esteros del humedal Don Goyo y a la importancia económica para la región, es necesario realizar campañas batimétricas y estudio de sedimentos de manera periódica y continua. Para conocer el comportamiento del sistema y tener predicciones de daños frente a posibles afectaciones frente a cambios en el medio ambiente.
- Llegar a acuerdos interinstitucionales, beneficiando a las partes interesadas que a su vez dependen del ecosistema, para poder hacer uso sostenible del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- Anthony, E. J. (2004). Sediment dynamics and morphological stability of estuarine mangrove swamps in Sherbro Bay, West Africa. *Marine Geology*, 208(2–4), 207–224. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.04.009>
- Augustinus, P. G. E. F. (1995). Geomorphology and sedimentology of mangroves. En G. M. E. Perillo (Ed.), *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Developments in Sedimentology* (Vol. 53, pp. 333–357). [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(05\)80032-9](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(05)80032-9)
- Benites Acosta, S. (1975). *Morfología y sedimentos de la plataforma continental del Golfo de Guayaquil*. ESPOL.
- Bravo Morales, N. F. (2017). Teledetección Espacial LANDSAT, SENTINEL-2, ASTER L1T y MODIS. *Geomática ambiental*, 1, 105. Recuperado de <https://sites.google.com/view/geomatica-ambiental-srl/>
- Chuvieco, E. (1996). Teledetección Ambiental: La observación de la tierra desde el espacio.
- Cucalón, E. (1983). Temperature , Salinity and Water Mass Distribution Off Ecuador During an El Niño Event in 1976. *Revista Ciencias del Mar y Limnología*, 2(1), 1–25.
- Dalrymple, R. W. (2012). Principles of tidal sedimentology. En *Principles of Tidal Sedimentology* (pp. 1–621). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-0123-6>
- Dalrymple, R. W., Knight, R. J., & Lambiase, J. J. (1978). Bedforms and their hydraulic stability relationships in a tidal environment, Bay of Fundy, Canada. *Nature*, 275(5676), 100–104. <https://doi.org/10.1038/275100a0>
- Daniels, R. C. (2012). Using ArcMap to Extract Shorelines from Landsat TM & ETM+ Data. *Thirty-second ESRI International Users Conference Proceedings*, 1–23.
- FAO. (2004). Características , estructura y recursos del sector acuícola nacional. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura para un mundo sin hambre*, 2005, 13.
- Geoestudios; Consulsua. (2011). *Fase 1 - Determinación de la Tasa de Sedimentación para el Puerto Marítimo de Guayaquil* (Vol. 3).
- Gobierno Provincial del Guayas, F. C. V. (2010). *Asociación Usuarios del Manglar Cerrito de los Morreños, Agosto 2010. Plan de Manejo para la concesión de 10.823,94 has de manglar en el Estuario Interior Central del Golfo de Guayaquil, Puerto Libertad - Cerrito de los Morreños - Santa Rosa*. Recuperado de [file:///C:/Users/pablo/Downloads/4190279_PM cm.pdf](file:///C:/Users/pablo/Downloads/4190279_PM%20cm.pdf)
- Godoy, M., & De Lacerda, L. (2014). River-island morphological response to basin land-use change within the Jaguaribe river estuary, NE Brazil. *Journal of Coastal Research*, 30(2), 399–410. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00059.1>

- Gugliotta, M., & Saito, Y. (2019). Matching trends in channel width, sinuosity, and depth along the fluvial to marine transition zone of tide-dominated river deltas: The need for a revision of depositional and hydraulic models. *Earth-Science Reviews*, 191(October 2018), 93–113. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.02.002>
- Hamilton, S. E. (2020). *Mangroves and aquaculture a five decade remote sensing analysis of Ecuador's estuarine environments*.
- Leopold, Luna B.; Wolman, M. G. (1970). River Channel Patterns. En G. H. Dury (Ed.), *Rivers and River Terraces*. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-15382-4>
- Lomónaco, P., Medina, R., & Losada, I. J. (2007). Modelo conceptual de evolución a largo plazo de la morfología de los estuarios. *Ingeniería del agua*, 14(1), 11. <https://doi.org/10.4995/ia.2007.2899>
- MAE, & MAGAP. (2015). Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental. *Ministerio del Ambiente del Ecuador y Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca*, 1–49.
- Murray, S., Conlon, D., Siripong, A., & Santoro, J. (1975). Circulation and Salinity Distribution in the Rio Guayas Estuary, Ecuador. *Geology and Engineering*, 2, 345–363. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-197502-9.50026-5>
- Nienhuis, J. H., Ashton, A. D., Edmonds, D. A., Hoitink, A. J. F., Kettner, A. J., Rowland, J. C., & Törnqvist, T. E. (2020). Global-scale human impact on delta morphology has led to net land area gain. *Nature*, 577(7791), 514–518. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1905-9>
- Orellana, O. (2018). *Introducción Básica a Google Earth Engine GEE*. 24. Recuperado de http://www.reddccadgiz.org/new/wp-content/uploads/2020/02/01_INTRODUCCIÓN-A-GOOGLE-EARTH-ENGINE.pdf
- Padilla, N. (2020). *Morfología dinámica de sistemas deltaicos menores en sudamerica - aproximación a la influencia antrópica* (Vol. 2507). Universidad del Norte.
- Perillo, G. (1995). Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries BT - Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*, 17–47. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0070457105800226%5Cnpapers2://publication/uuid/21DA5C1B-E1F8-4B76-8D47-244E2FAEBC43>
- QGIS - El SIG Líder de Código Abierto para Escritorio. (s/f). Recuperado de <https://www.qgis.org/es/site/about/index.html>
- Reyes Camus, M. (2014). *EFFECTOS EN LA MORFOLOGÍA DEL ESTERO PUREMA DERIVADOS DEL TSUNAMI DE 2010*.
- Reynaud, J. Y., Witt, C., Pazmiño, A., & Gilces, S. (2018). Tide-dominated deltas in active margin basins: Insights from the Guayas estuary, Gulf of Guayaquil, Ecuador. *Marine Geology*, 403(May), 165–178. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2018.06.002>
- Steer, A. (s/f). Google Earth Engine. Recuperado de <https://earthengine.google.com/>

- Twilley, R. R., Cárdenas, W., Rivera-Monroy, V. H., Espinoza, J., Suescum, R., Armijos, M. M., & Solórzano, L. (2001). *The Gulf of Guayaquil and the Guayas River Estuary, Ecuador*. 144, 245–263. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04482-7_18
- Van Der Wal, D., Pye, K., & Neal, A. (2002). Long-term morphological change in the Ribble Estuary, northwest England. *Marine Geology*, 189(3–4), 249–266. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00476-0](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00476-0)
- Vente Chow. (1959). *Open Channel - Hydraulics*. Recuperado de <http://93.174.95.29/main/1693494C544C7ADC43DEB859973A9023>
- Vinculación, P. de. (2018). *Fortalecimiento de capacidades de gestión ambiental en el Golfo de Guayaquil a través de un programa de monitoreo ambiental participativo para lograr la sostenibilidad de áreas concesionadas*.
- Wells, J. T. (1995). Tide-dominated estuaries and tidal rivers. En *Developments in Sedimentology* (Vol. 53, pp. 179–205). [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(05\)80026-3](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(05)80026-3)
- Zhao, J., Guo, L., He, Q., Wang, Z. B., van Maren, D. S., & Wang, X. (2018). An analysis on half century morphological changes in the Changjiang Estuary: Spatial variability under natural processes and human intervention. *Journal of Marine Systems*, 181(May 2017), 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.01.007>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Código para visualizar imágenes Landsat en Google Earth Engine.

```
var Landsat = ee.ImageCollection("LANDSAT/L008/C01/T1_RT")  
  .filter(ee.Filter.eq("WRS_PATH",11))  
  .filter(ee.Filter.eq("WRS_ROW",62))  
  .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'Less_Than', 40)  
  .filterDate('2016-11-25','2016-11-27');  
  
var L8 = Landsat.median().clip(geometry);  
  
var vis = {bands: ['B5','B4','B3'], min: 0.0, max: 1.0};  
  
Map.addLayer(L8.clip(geometry), vis, 'Landsat8')  
  
print(L8);
```

APÉNDICE B

Descripción de licencia de ArcGIS usada en este proyecto.

Software	ArcGIS 10.5
Licencia	CADS - ESPOL
Descripción de equipo	PC Escritorio con Sistema operativo Windows 10
Características técnicas del equipo	Procesador Intel Core I5, RAM 8GB, Disco Duro: SSD 480GB + 2TB 7200 RPM.

APÉNDICE C

Tabla de atributos del archivo vectorial polígono línea de costa año 1985.

1985			
ID	Nombre	Área [Ha]	Área [Km ²]
1	Isla Sabana	12510.4	125.104
2	Isla De La Esperanza	1642.13	16.4213
3	Isla Las Conchitas	1228.45	12.2845
4	Isla Las Piedritas	140.097	1.40097
5	Isla Las Piedritas	43.5008	0.435008
6	Isla Piedritas	154.35	1.5435
7	SN	13.9895	0.139895
8	Isla Los Castillos	215.157	2.15157
9	Isla Tortuga	376.955	3.76955
10	Isla Los Castillos	102.877	1.02877
11	Isla De La Caja	515.811	5.15811
12	Isla Bocanita	162.815	1.62815
13	Isla La Orozco	1766.72	17.6672
14	Isla Los Castillos	70.8051	0.708051
15	SN	39.1213	0.391213
16	Isla San Ignacio	655.825	6.55825
17	Isla San Ignacio	120.734	1.20734
18	Isla Del Mero	529.313	5.29313
19	Isla Del Mero	210.834	2.10834
20	Isla Las Canoas	2030.44	20.3044
21	Isla Santa Rosa	464.129	4.64129
22	Isla San Ignacio	93.7887	0.937887
23	Isla San Ignacio	1267.58	12.6758
25	Isla Las Piedras	131.811	1.31811
26	Isla Desclabando	251.358	2.51358
27	Isla De Los Quiñonez	3277.59	32.7759
28	Isla Bellavista	2576.07	25.7607
29	Isla Chupadores Chico	1109.22	11.0922
30	Isla Chupadores Grande	5584.03	55.8403
31	Isla Escalante	9008.71	90.0871
32	Isla Escalante	355.561	3.55561
33	SN	81.1364	0.811364
34	Isla Escalante	737.508	7.37508
35	SN	95.8156	0.958156
37	Isla Escalante	1391.16	13.9116
38	SN	3.95973	0.0395973
39	Isla Verde	2310.62	23.1062
40	SN	34.9103	0.349103

Tabla de atributos del archivo vectorial polígono de línea de costa año 2016.

2016						
ID	Nombre	Área [Ha]	Área [Km2]	Longitud [m]	Ancho [m]	Índice A/L
1	Isla Sabana	12252.8	122.528	5009.64	31126.38	0.16
2	Isla De La Esperanza	1591.15	15.9115	2734.04	5526.89	0.49
3	Isla Las Conchitas	1184.19	11.8419	2442.48	4272.27	0.57
4	Isla Las Piedritas	133.923	1.33923	1238.35	1297.92	0.95
5	Isla Las Piedritas	40.4664	0.404664	646.73	733.58	0.88
6	Isla Las Piedritas	144.14	1.4414	1922.02	695.29	2.76
7	SN	11.4256	0.114256	351.82	395.79	0.89
8	Isla Los Castillos	205.267	2.05267	1863.67	1339.81	1.39
9	Isla Tortuga	364.756	3.64756	1571.79	2301.1	0.68
10	Isla Los Castillos	93.5609	0.935609	1152.36	998.88	1.15
11	Isla De La Caja	498.68	4.9868	2162.77	2268.33	0.95
12	Isla Bocanita	150.623	1.50623	1775.62	873.27	2.03
13	Isla La Orozco	1686.79	16.8679	4562.27	4273.21	1.07
14	Isla Los Castillos	64.571	0.64571	857.22	1052.34	0.81
15	SN	32.9043	0.329043	236.24	1001.74	0.24
16	Isla San Ignacio	639.589	6.39589	3292.66	2578.7	1.28
17	Isla San Ignacio	116.323	1.16323	2173.19	656.63	3.31
18	Isla Del Mero	520.294	5.20294	2255.91	2903.75	0.78
19	Isla Del Mero	206.131	2.06131	1809.55	1971.56	0.92
20	Isla Las Canoas	1986.62	19.8662	6405.26	2823.49	2.27
21	Isla Santa Rosa	454.056	4.54056	2709.73	1810.92	1.5
22	Isla San Ignacio	91.0405	0.910405	1167.14	870.86	1.34
23	Isla San Ignacio	1262.45	12.6245	3753.02	3655.95	1.03
25	Isla Las Piedras	129.862	1.29862	1367.37	1204.51	1.14
26	Isla Desclabando	248.321	2.48321	1408.42	1927.99	0.73
27	Isla De Los Quiñonez	3207.77	32.0777	6969.27	5978.57	1.17
28	Isla Bellavista	2539.45	25.3945	6289.56	6672.89	0.94
29	Isla Chupadores Chico	1097.12	10.9712	6090.62	2299.54	2.65
30	Isla Chupadores Grande	5519.96	55.1996	8366.69	11400.91	0.73
31	Isla Escalante	9021.34	90.2134	10907.18	11382.25	0.96
32	Isla Escalante	337.499	3.37498	1951.45	1842.77	1.06
33	SN	88.3419	0.883419	1194.93	834.52	1.43
34	Isla Escalante	756.942	7.56942	4425.32	1890.48	2.34
35	SN	98.444	0.98444	1289.54	539.78	2.39
36	SN	35.3448	0.353448	611.48	721.08	0.85
37	Isla Escalante	1448.16	14.4816	6005.18	2841.36	2.11
38	SN	27.1899	0.271899	333.19	796.47	0.42
39	Isla Verde	2586.78	25.8678	6260.08	5487.63	1.14

Tabla de atributos de esteros para el cálculo de índice de sinuosidad.

ESTEROS						
ID	Nombre	Longitud [m]	Ancho [m]	Lon [m]	L_Rec [m]	Sinuosidad
1	Estero Pirañero	8681	153	8681	6175	1.41
4	Estero Lagarto	22995	178	22995	14670	1.57
5	Cruce De Los Lagartos	2724	64	2724	1531	1.78
6	Estero La Libertad	6315	238	6562	4025	1.63
7	Estero Conchitas	4242	100	4242	3380	1.26
8	Cruce Libertad Lagarto 1	1850	127	1850	1883	0.98
9	Cruce Libertad Lagarto 2	2743	51	2743	2257	1.22
10	Estero Guayacanes	10717	115	8835	4218	2.09
11	Estero Rio Nilo	6718	95	6718	5991	1.12
13	Estero La Viuda	9192	356	8945	5026	1.78
14	Estero Madre Chica	2370	19	1883	1613	1.17
15	Estero Cruce Del Mero	7825	211	5560	4322	1.29
16	Estero Las Tortugas	15086	95	15086	8611	1.75
17	Estero Rio Las Bocanitas	3141	67	3141	2410	1.3
18	Estero La Arenosa	4097	160	4097	2953	1.39
19	Estero El Manantial	1220	8	1220	1088	1.12
21	Estero Las Canoas	8491	247	8491	7700	1.1
22	Estero Disvirgadero	9541	30	9541	5778	1.65
24	Estero Sabana Grande	1564	190	1564	1515	1.03
25	Estero Grande	8990	1647	8990	6645	1.35
26	Estero Los Uñeros	6312	26	6312	3750	1.68
27	Estero Chupadores Grande	30661	1027	30661	17818	1.72
28	Estero Chupadores Chico	17204	107	17204	11346	1.52
31	Estero Moquiñaña	24898	293	10260	9463	1.08

Tabla de atributos con cálculo del índice de sinuosidad del estero Lagarto – Chupadores Grande.

ID	Nombre	Longitud	Lon [m]	L_Rec [m]	Sinuosidad
1	Lagarto - Chupadores Grande	45929	1347	1010	1.33
2	Lagarto - Chupadores Grande	45929	1659	812	2.04
3	Lagarto - Chupadores Grande	45929	1416	780	1.82
4	Lagarto - Chupadores Grande	45929	688	418	1.65
5	Lagarto - Chupadores Grande	45929	1308	774	1.69
6	Lagarto - Chupadores Grande	45929	802	680	1.18
7	Lagarto - Chupadores Grande	45929	1653	1442	1.15
8	Lagarto - Chupadores Grande	45929	2130	1090	1.95
9	Lagarto - Chupadores Grande	45929	2015	978	2.06
10	Lagarto - Chupadores Grande	45929	1880	1531	1.23
11	Lagarto - Chupadores Grande	45929	1569	1231	1.27
12	Lagarto - Chupadores Grande	45929	1126	741	1.52
13	Lagarto - Chupadores Grande	45929	2072	1880	1.1
14	Lagarto - Chupadores Grande	45929	2656	2002	1.33
15	Lagarto - Chupadores Grande	45929	3340	3124	1.07
16	Lagarto - Chupadores Grande	45929	4460	3485	1.28
17	Lagarto - Chupadores Grande	45929	4043	2750	1.47
18	Lagarto - Chupadores Grande	45929	2163	1884	1.15
19	Lagarto - Chupadores Grande	45929	1987	1714	1.16
20	Lagarto - Chupadores Grande	45929	3247	2810	1.16
21	Lagarto - Chupadores Grande	45929	544	531	1.02
22	Lagarto - Chupadores Chico	45929	3894	3595	1.08

Tabla de atributos de archivo vectorial Zonas de acreción

ZONA DE ACRECIÓN			
ID	Nombre	Area [Ha]	Area [m2]
13	Isla La Orozco	7.60	76025.90
27	Isla De Los Quiñonez	12.15	121463.00
31	Isla Escalante	111.21	1112130.00
32	Isla Escalante	8.42	84172.20
33	SN	11.41	114106.00
34	Isla Escalante	14.77	147690.00
35	SN	1.98	19794.30
36	SN	35.34	353448.00
37	Isla Escalante	41.52	415220.00
38	SN	23.24	232405.00
39	Isla Verde	268.65	2686530.00

Tabla de atributos de archivo vectorial Zonas de erosión

ZONAS DE EROSIÓN			
ID	Nombre	Área [Ha]	Área [m²]
1	Isla Sabana	35.1381	351381
1	Isla Sabana	20.4226	204226
2	Isla De La Esperanza	31.5208	315208
3	Isla Las Conchitas	35.6315	356315
13	Isla La Orozco	72.3053	723053
20	Isla Las Canoas	3.875399598	38754
27	Isla De Los Quiñonez	51.6917	516917
30	Isla Chupadores Grande	18.9779	189779
31	Isla Escalante	22.6482	226482
32	Isla Escalante	29.5782	295782
39	Isla Verde	30.2434	302434