

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Marítima y Ciencias del Mar

Diseño de Guía Metodológica para la definición de
celdas sedimentarias en el litoral ecuatoriano

INGE-2238

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Oceanográfico

Presentado por:

Paula Annabell Delgado Romero

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023-2024

DEDICATORIA

A Simone, Anais, Eva y Abel, por hacer de este camino un paseo. A mis padres, Abel y Carmen por apostarle siempre a mi curiosidad y, por último, pero siempre primero, al Dador de sueños.

AGRADECIMIENTOS

A los profesores que inspiraron este trabajo y a mi consejera académica la PhD. María José Marín por su compromiso con la enseñanza.

Al Centro Nacional de Recursos Costeros por los datos proporcionados, a la MSc. Gina Andrade por la guía y al Prof. Adrian Stanica por impulsarme a tomar el riesgo.

A mis amigos. Arianna por permanecer, a Eduarda por llegar, a Kurt por estar y a Pedro por regresar. Gracias por la paciencia.

Y al que hace posible todas las cosas, a quien me ha sostenido. Dios.

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo Paula Annabell Delgado Romero acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 31 de ene. del 2024.



Paula Delgado Romero
ESTUDIANTE

EVALUADORES

Jorge Espinoza Amaguaña
PROFESOR DE LA MATERIA

Gina María Andrade García
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El estudio se centra en la importancia de las celdas sedimentarias, compartimentos litorales que abarcan el ciclo completo de sedimentación con fuentes, vías de transporte y sumideros. Su reconocimiento es fundamental para gestionar la erosión costera y analizar la acumulación de sedimentos a lo largo del tiempo. Con el objetivo de comprender el litoral ecuatoriano, se propone una guía metodológica para delimitar estas celdas, aplicada desde "Punta La Cabezona" en el cantón Puerto López, Manabí hasta "La Chocolatera" en Salinas, Santa Elena. El diseño de la guía sigue diversos pasos, desde la definición de criterios hasta la elaboración de mapas mediante herramientas como Google Earth Pro, QGIS y el análisis de transporte sedimentario a través de Stata.

El estudio identifica 5 macro-celdas en el tramo A y 2 sub-celdas en el tramo B. Esto demuestra que la guía metodológica es efectiva para reconocer las celdas sedimentarias en diferentes áreas del litoral ecuatoriano. El enfoque sistemático y los pasos establecidos proporcionan una herramienta valiosa para la gestión costera, facilitando la comprensión y delimitación de estas unidades fundamentales en la dinámica sedimentaria.

Palabras clave: celdas sedimentarias, gestión costera, macro-celdas, sub-celdas.

ABSTRACT

The study focuses on the importance of sedimentary cells, coastal compartments that encompass the complete cycle of sedimentation with sources, transport pathways, and sinks. Their recognition is crucial for managing coastal erosion and analyzing the accumulation of sediments over time. In order to understand the Ecuadorian coastline, a methodological guide is proposed to delineate these cells, applied from "Punta La Cabezona" in Puerto López, Manabí to "La Chokolatera" in Salinas, Santa Elena. The guide's design follows seven steps, from defining criteria to creating maps using tools such as Google Earth Pro, QGIS and sedimentary transport analysis through Stata.

The study identifies 5 macro-cells in section A and 2 sub-cells in section B. This demonstrates that the methodological guide is effective in recognizing sedimentary cells in different areas of the Ecuadorian coastline. The systematic approach and established steps provide a valuable tool for coastal management, facilitating the understanding and delineation of these fundamental units in sedimentary dynamics.

Keywords: sedimentary cells, coastal management, macro-cells, sub-cells.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
Abreviaturas.....	v
Simbologías	vi
Índice de figuras.....	vii
Índice de tablas.....	ix
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Marco teórico	6
1.4.1 Celdas sedimentarias	6
1.4.2 Mecanismos de variación y estabilidad en los procesos litorales	8
1.4.3 Balance sedimentario.....	9
1.4.4 Transporte sedimentario.....	10
1.4.5 Equilibrio dinámico	11
1.4.6 Método de Kamphuis	12
1.5 Estado del arte	12

CAPÍTULO 2.....	16
2. Metodología	16
2.1 Áreas de estudio	17
2.2 Selección de metodologías para definición de las celdas.....	19
2.3 Caracterización detallada de las variables	29
2.4 Elaboración de mapas	31
2.5 Análisis Estadístico	32
CAPÍTULO 3.....	32
3.1 Resultados y análisis	32
3.1.1 Guía metodológica	32
3.1.2 Ejecución de la guía en la zona de estudio	44
3.1.3 Análisis estadístico del transporte sedimentario	59
3.2 Discusión.....	63
3.3 Análisis de costos	67
CAPÍTULO 4.....	68
4.1 Conclusiones.....	68
4.2 Recomendaciones.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	72
APÉNDICES	78

Abreviaturas

CENAREC Centro Nacional de Recursos Costeros

SIG Sistema de información geográfica

LEO Littoral Environment Observations

MCI Manejo Costero Integrado

Simbologías

m	Metro
km	Kilómetro
s	Segundo
yr	Año

Índice de figuras

Figura 1. Metodología para definición de celdas.....	17
Figura 2. Zona de estudio A.....	17
Figura 3. Zona de estudio B	18
Figura 4. Metodología para definición de Macro-Celdas	19
Figura 5. Metodología para definición de Sub-celdas	21
Figura 6. Estaciones en Libertador Bolívar	25
Figura 7. Estaciones en Libertador Bolívar	25
Figura 8. Estaciones en San Pedro.....	26
Figura 9. Mapa de Macro-celdas	45
Figura 10. Mapa de Sub-celdas.....	49
Figura 11. Mapa de Sub-Celda 3.1.....	51
Figura 12. Mapa de Sub-Celda 3.2	56
Figura 13. Ángulo de aproximación del oleaje y clasificación de la costa	58
Figura 14. Altura significativa de ola	60
Figura 15. Período pico de ola	60
Figura 16. Transporte sedimentario	60
Figura 17. Dirección de la ola.....	60
Figura 18. Correlación H_s v Q_s	62
Figura 19. Correlación $Alfab$ vs Q_s	63
Figura 20. Correlación T_p vs Q_s	63
Figura 21. Curva granulométrica de zona alta -Libertador Bolívar E0.....	78
Figura 22. Curva granulométrica de zona media -Libertador Bolívar E0	79
Figura 23. Curva granulométrica de zona baja -Libertador Bolívar E0.....	79
Figura 24. Curva granulométrica de zona alta - San Pedro E2	80

Figura 25. Curva granulométrica de zona media - San Pedro E2.....	80
Figura 26. Curva granulométrica de zona baja - San Pedro E2	81
Figura 27. Sub-celda 3.1 (Malecón).....	82
Figura 28. Límite superior sub-celda 3.1 (Río Atravesado).....	82
Figura 29. Límite inferior Sub-celda 3.2.....	83
Figura 30. Sub-celda 3.2 (CENAIM).....	83
Figura 31. Límite superior Sub-celda 3.2 (Río Valdivia).....	84

Índice de tablas

Tabla 1. Criterios para la caracterización de Macro-celdas Zona A.....	19
Tabla 2. Criterios para la caracterización de Sub-celdas.....	22
Tabla 3. Salidas de campo en Libertador Bolívar.....	24
Tabla 4. Coordenadas geográficas de estaciones en Libertador Bolívar.....	25
Tabla 5. Salidas de campo en San Pedro.....	26
Tabla 6. Coordenadas geográficas de estaciones en San Pedro.....	27
Tabla 7. Estudios de línea base.....	28
Tabla 8. Salidas de campo.....	30
Tabla 9. Criterios para la caracterización de macro-celdas sedimentarias.....	34
Tabla 10. Etapa 1 – Macroceldas.....	34
Tabla 11. Etapa 2 – Macroceldas.....	35
Tabla 12. Etapa 3 – Macroceldas.....	36
Tabla 13. Etapa 4 – Macroceldas.....	37
Tabla 14. Criterios para la caracterización de sub-celdas sedimentarias.....	37
Tabla 15. Etapa 1 - Subceldas.....	39
Tabla 16. Etapa 2 – Subceldas.....	39
Tabla 17. Etapa 3 – Subceldas.....	40
Tabla 18. Etapa 4 – Subceldas.....	40
Tabla 19. Etapa 5 - Subceldas.....	41
Tabla 20. Etapa 6 - Subceldas.....	42
Tabla 21. Etapa 7 - Subceldas.....	43
Tabla 22. Caracterización cualitativa Sub-Celda 3.1.....	50
Tabla 23. Resultados de análisis granulométrico en la Zona alta del perfil.....	51
Tabla 24. Resultados de análisis granulométrico en la Zona alta del perfil.....	52
Tabla 25. Resultados de análisis granulométrico en la Zona media del perfil.....	52
Tabla 26. Resultados de análisis granulométrico en la Zona media del perfil.....	52

Tabla 27. Resultados de análisis granulométrico en la Zona baja del perfil	52
Tabla 28. Resultados de análisis granulométrico en la Zona baja del perfil	52
Tabla 29. Promedio de D50 del grano.....	52
Tabla 30. Transporte de sedimentos Libertador Bolívar	53
Tabla 31. Corriente litoral Libertador Bolívar	54
Tabla 32. Caracterización cualitativa de la Sub-Celda 3.2	55
Tabla 33. Análisis granulométrico Sub-Celda 3.2.....	56
Tabla 34. Variables Estación 2.....	57
Tabla 35. Variables Estación 3.....	57
Tabla 36. Resumen Tests de Normalidad.....	60
Tabla 37. <i>Test de Mann-Whitney</i>	61
Tabla 38. T-test de Tp.....	62
Tabla 39. Matriz de Correlación	63
Tabla 40. Etapas para definición de macro-celdas.....	67
Tabla 41. Etapas para definición de Sub-Celdas	67
Tabla 42. Costos de implementación de Macro-Celdas	84
Tabla 43. Costos de implementación de Sub-celdas.....	85

CAPÍTULO 1

1. Introducción

24 ecosistemas marinos y costeros existen en nuestro mar territorial de los 27 reconocidos a nivel global (MAATE, 2018). Dentro del perfil costero ecuatoriano, las bahías, ensenadas y otros elementos geográficos representan una parte importante para el desarrollo del sector comercial y turístico del país. El interés en establecerlos como elementos territoriales e históricos radica en su relevancia para la seguridad y economía de los pueblos costeros (Bravo, 2005).

Uno de los principales objetivos de la ciencia y manejo costero es determinar la estabilidad pasada, presente y futura de las zonas costeras (Goodwin, Ribó, & Mortlock, 2020). Su manejo es imprescindible para reducir la vulnerabilidad a amenazas naturales y mantener los procesos ecológicos esenciales. Lo que implica, desarrollar y armonizar las relaciones entre los sectores costeros, la dinámica sedimentaria e hidrodinámica (Cicin-Sain, 1993).

Algunos manejadores costeros han resaltado la importancia de aproximar el estudio de los sistemas litorales a través de la comprensión cuantitativa y cualitativa de las entradas (inputs), salidas (outputs) y vías de transporte de los sedimentos (Anfuso et. al, 2013). La sedimentación, la erosión y el transporte de sedimentos son procesos naturales que moldean las costas y su entorno, pero también pueden tener impactos significativos en la infraestructura costera, la biodiversidad marina y la seguridad de las comunidades costeras.

Sin embargo, los instrumentos de análisis pueden ser deficientes en su capacidad para proporcionar una comprensión holística y detallada de la dinámica sedimentaria. Esto puede limitar la capacidad de los planificadores y autoridades para desarrollar estrategias efectivas de ordenamiento territorial marino-costero.

Es en ese sentido que diversos investigadores han concentrado sus esfuerzos en entender la dinámica sedimentaria a través de la división de la costa en compartimentos

costeros denominados “celdas sedimentarias” (Elias, Barnard, & Brocatus, 2009). Esta aproximación se define a partir de la identificación de discontinuidades en la tasa o la dirección del sedimento a lo largo y transversal a la costa, fuentes, reservas y agentes movilizadores del sedimento (Rijn, 2013).

Por lo expuesto anteriormente, el siguiente proyecto propone el diseño de una guía metodológica que combina la fotointerpretación y el análisis estadístico para la definición de celdas sedimentarias, empleada como herramienta de análisis para contribuir al manejo costero del litoral ecuatoriano y al Centro Nacional de Recursos Costeros (CENAREC).

1.1 Descripción del problema

El desarrollo de métodos para la conservación de los hábitats y promoción del aprovechamiento de los recursos costeros de manera sostenible depende del equilibrio dinámico de los sistemas, las relaciones simbióticas entre la morfología costera, las fuerzas y los sedimentos (Cooper & Pethick, 2005). Conocer la dinámica de los sedimentos en las zonas marino-costeras representa un desafío fundamental para la gestión costera.

Es así como, la gestión adecuada de la costa ecuatoriana requiere el reconocimiento de las celdas sedimentarias; unidades geográficas donde los sedimentos se mueven y circulan en un ciclo donde existen fuentes, sumideros y vías de transporte. Utilizar esta herramienta permitiría la sustitución de métodos de ingeniería tradicionales por soluciones más versátiles, adecuadas para evaluar la estabilidad de estas áreas, al analizar la dinámica sedimentaria

Identificar las celdas sedimentarias se vuelve crucial para planificar estrategias de conservación, gestionar riesgos costeros y promover un desarrollo urbano y económico sostenible en áreas menos vulnerables a la erosión; la implementación de herramientas de análisis que consideren las celdas sedimentarias potenciará un entendimiento más profundo del comportamiento de los sedimentos en contextos locales y regionales e impulsará un marco para la gestión unificada de los recursos marino-costeros en Ecuador.

1.2 Justificación del problema

Los cambios dentro de la línea costera obedecen a la influencia de eventos naturales como el incremento o disminución de la marea, el oleaje, transporte de sedimentos, la estacionalidad y variabilidad climática. Estos eventos dan como resultado la erosión o acreción de ciertos espacios costeros; la mayoría de estados costeros deben enfrentarse a eventos erosivos, capaces de afectar la infraestructura de los poblados, causando pérdidas económicas a largo o corto plazo.

Para ralentizar los efectos de la erosión, se ha optado por la construcción de estructuras ingenieriles con el objetivo de mantener una línea de defensa fija contra el mar, y aunque en gran medida se ha conseguido, no ha permitido que los sistemas costeros funcionen de manera natural y autorregulada. Muchas de estas estructuras tienen un impacto ambiental negativo sobre la conservación de la naturaleza y han proporcionado una falsa sensación de seguridad. En consecuencia, se han tomado decisiones inadecuadas para permitir la urbanización de zonas con riesgo potencial de inundación o erosión (Cooper & Pontee, 2006).

La gestión del litoral ha evolucionado considerablemente en las últimas décadas, en gran parte gracias a una comprensión cada vez mejor de los procesos de transporte de sedimentos que rigen el cambio costero (Goodwin, Ribó, & Mortlock, 2020).

En el litoral ecuatoriano, para disminuir las consecuencias de los procesos erosivos, se ha implementado la construcción de estructuras de defensa costera. Pero al mismo tiempo, ha resultado en la erosión acelerada en zonas adyacentes (Soledispa B. , 2003). Un ejemplo común de este tipo de iniciativa que tiene efectos nocivos en zonas adyacentes es el problema del espigón transversal a la costa.

Por un lado, existe retención del material, pero causa problemas de erosión en la fachada aguas abajo, necesitando más obras de defensa parciales que, a su vez, trasladan el problema más abajo. El efecto en cadena a menudo continua hasta que el último tramo de

defensa termina en el límite de la costa. Hasta incluso transferir el problema a la responsabilidad de una autoridad vecina (Cooper & Pontee, 2006).

Por lo tanto, necesitamos conceptos más apropiados y aplicables al funcionamiento de la costa a gran escala. En este contexto, se requiere la comprensión de la dinámica sedimentaria enfocada en abordar los efectos del comportamiento futuro de la costa, incluido el aumento del nivel del mar, cambios en el clima de olas y el balance de los sedimentos (Thom & Eliot, 2018).

La importancia de entender la geomorfología y los procesos físicos de los sistemas naturales se ha vuelto cada vez más evidente como un paso esencial antes de implementar soluciones efectivas para la gestión costera (Stănică, Panin, & Caraivan, 2012). El entendimiento de diversas técnicas de manejo costero ha posibilitado reemplazar, cuando es pertinente, los métodos convencionales de ingeniería por soluciones más flexibles, como la restauración de playas, las cuales se alinean con los procesos naturales en lugar de contrarrestarlos (Kuroki, y otros, 2006).

En este contexto, para iniciar un proceso de ordenamiento sostenible y gestión costera, se plantea el uso de un marco nacional de compartimentos sedimentarios, también definidos como celdas sedimentarias.

Estas facilitarán la interpretación de las tendencias históricas de los movimientos sedimentarios y proporcionarán una base importante para la proyección de futuros cambios costeros (Thom & Eliot, 2018). La definición de celdas sedimentarias dará lugar a una legislación de competencias conjuntas que permitirá a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM), actuar como una unidad para el desarrollo de estrategias de gestión costera (Inman D. L., 1994).

Las propuestas de solución para remediar los procesos erosivos, suelen requerir niveles de gasto diferentes. Para lo cual, la implementación de esta herramienta dentro del litoral ecuatoriano permitirá discriminar adecuadamente la inmediatez de acción entre

cambios costeros crónicos o agudos (Peter J. Cowell, 2003). Los presupuestos de arena comprendidos dentro de cada celda sedimentaria son una herramienta importante para la ingeniería costera y un paso vital para comprender el recorrido de los sedimentos a lo largo de la costa (Patsh & Griggs, 2007).

Cada celda sedimentaria debe contar con reservas adecuadas de sedimentos, tanto en áreas costeras como en alta mar, para equilibrar los efectos naturales o causados por el hombre, como la subida del nivel del mar y la erosión. Estas reservas, conocidas como fuentes de sedimentos, actúan como zonas tampón entre la tierra y el mar, contribuyendo al ciclo completo de erosión, deposición, y transporte de sedimentos en las celdas sedimentarias, promoviendo así un estado positivo en la dinámica sedimentaria (Rijn, 2013).

Las celdas pueden sobrepasar límites políticos, por lo que las competencias sobre la gestión de los compartimentos deben desarrollarse como una responsabilidad compartida en un marco que integre la toma de decisiones a nivel macro junto al desarrollo de políticas públicas como se ha descrito en aplicaciones de otras zonas del mundo (Bray J. M., 1995; Stănică, Panin, & Caraivan, 2012). En resumen, la implementación de las celdas sedimentarias no solo promueve una gestión más efectiva de los recursos, sino que también salvaguarda el equilibrio ecológico y asegura la sostenibilidad a largo plazo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar una guía metodológica que combina la fotointerpretación y el análisis estadístico para la definición de celdas sedimentarias.

1.3.2 Objetivos específicos

- Definir criterios de delimitación para la distinción entre macro-celdas y sub-celdas por medio de la revisión bibliográfica para compartimentar el borde costero.

- Identificar las variables que influyen en el transporte sedimentario a través de herramientas estadísticas.
- Reconocer los límites fijos o transitorios de las celdas litorales a partir de la observación en campo con la ayuda de fotografías aéreas para su definición en mapas.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Celdas sedimentarias

Una celda litoral o sedimentaria, es un compartimento costero que contiene un ciclo completo de sedimentación, incluyendo fuentes, vías de transporte y sumideros (Inman D. , 2003). Estos compartimentos forman el marco de trabajo para comprender el balance sedimentario de una zona o región (Patsh & Griggs, 2007) y se definen para reconocer el comportamiento del sistema costero, debido a que, los accidentes geográficos marinos y terrestres tienden a estar conectados por medio de procesos de intercambio de sedimentos (Stul, Gozzard, Eliot, & Eliot, 2014).

El balance sedimentario que es realizado dentro de las celdas, es la cuantificación de las ganancias y pérdidas de los sedimentos. La diferencia algebraica entre las fuentes y sumideros, debe ser igual a la tasa de cambio en el volumen de sedimentos que se produzcan en determinada zona, considerando las posibles actividades ingenieriles. Expresado en términos de variables tal como se explica en la ecuación 1.

$$\sum Q_{fuente} - \sum Q_{sumidero} - \Delta V + P - R = Residual \quad (1)$$

Donde Q_{fuente} y $Q_{sumidero}$ son las fuentes y sumideros que controlan el volumen respectivamente, ΔV es la tasa de cambio neto en la celda, P y R son las cantidades de material ubicado o removido de la celda, respectivamente. El *Residual* representa el grado en el que la celda se encuentra en equilibrio, es decir, este es 0. Las fuentes dentro del balance sedimentario incluyen el transporte de los sedimentos a lo largo de la costa, erosión

de los acantilados transporte de sedimentos hacia la costa por ríos, erosión de la playa, relleno de playa o material dragado para mantenimiento de canales de navegación. Los sumideros suelen ser, transporte a lo largo de la costa fuera de la celda, acreción de la playa, dragado y minería de la playa cerca de la línea costera, aumento del nivel del mar, y pérdidas hacia los cañones submarinos (Rosati, 2005).

Las celdas pueden visualizarse como unidades básicas e individuales; se reconocen más fácilmente en costas irregulares (por ejemplo, bahías, estuarios, etc.) o en costas rectilíneas interrumpidas por salientes rocosos. Sin embargo, resulta más complejo determinar la existencia de estas en costas uniformes y abiertas, donde se pueden formar como resultado de procesos de refracción del oleaje, generación de ondas de borda y sus condiciones están mayormente influenciadas por la morfología del fondo marino (Anfuso G. , 2004).

Su configuración depende de la magnitud y relaciones espaciales entre las fuentes de sedimentos, vías de transporte y sumideros. Es así como varía según el tipo de costa que se esté analizando; por ejemplo, si se tiene una costa montañosa con cañones submarinos, las celdas usualmente se sitúan entre cabos rocosos que interceptan las vías de transporte de los sedimentos. Para este tipo de costas la erosión de acantilados es una de sus fuentes y el transporte se da a través de las olas y corrientes, que movilizan los sedimentos costa afuera y se ubican en los cañones submarinos (Inman D. , 2003).

Los límites entre celdas se distinguen por la tasa de cambio del transporte de sedimentos. Existen dos tipos de límites entre celdas denominados como *división por deriva litoral* y *sumideros de sedimentos*. De acuerdo con esta definición, la división por deriva litoral ocurre cuando la orientación de la costa cambia abruptamente; por ejemplo, en un cabo rocoso. Si en este punto, el material se mueve alejándose en ambos lados, de modo que no hay transferencia entre un lado del cabo y otro, entonces podemos concluir que existe un límite de celda en este punto (Motyka & Brampton, 1993). Hay entonces, una evidente

tendencia erosiva cerca de este punto ya que los sedimentos se encontrarán alejándose de ahí.

Por otra parte, los sumideros de sedimentos, tienen un comportamiento opuesto. En estos puntos las vías de transporte se encuentran y construyen acumulaciones de material sedimentario. Esto ocurre en áreas cerradas como las bahías; se pueden localizar también en estuarios y desembocadura de cuerpos de agua. Así mismo, cualquier interferencia en un lado del sumidero no afectará los sedimentos del otro lado (Motyka & Brampton, 1993).

Los bordes de las celdas también pueden clasificarse por medio de la identificación de discontinuidades en dirección del transporte de sedimentos. Estas discontinuidades obedecen a cambios espacio temporales decadales o de milenios, hasta cambios mensuales según la época del año. Para lo cual se definen los límites fijos y transitorios; los límites fijos son aquellos con un récord histórico de estabilidad entre los 20 a 100 años, típicamente para estos califican los cabos y desembocaduras de cuerpos de agua, también estructuras de construcción antropogénica. Mientras que, los transitorios, tienen un carácter difuso y una estabilidad limitada; estos se refieren a puntos donde la deriva litoral converge, se divide o está marcada por cambios notorios en las tasas de transporte de sedimentos (Bray, Carter, & Hooke, 1995).

1.4.2 Mecanismos de variación y estabilidad en los procesos litorales

Una playa está en equilibrio cuando el volumen total de sedimentos movido en un determinado intervalo de tiempo no presenta pérdidas ni ganancias. Sin embargo, este estado es alterado por el régimen hidrodinámico de la zona costera, las condiciones morfológicas y batimétricas.

Dentro del régimen hidrodinámico se pueden distinguir el oleaje y los cambios en el nivel del mar, mismos que influyen sobre el aporte de sedimentos dentro de las celdas sedimentarias. El aumento del nivel del mar provocará el avance de los sedimentos fuera, dentro o a lo largo de la línea costera. Con el tiempo, incluso, puede provocar el retroceso de

la superficie costera; durante el descenso del nivel del mar, la erosión se centra sobre el frente de la playa golpeado por el oleaje (Carter, Johnston, McKenna, & Ordford, 1987).

El impacto del oleaje se concentra en los cabos y otras formas costeras salientes (promontorios); la exposición al oleaje se relaciona estrechamente con la granulometría de los sedimentos de la playa. Para arenas finas, la exposición es baja para una ola de altura media $H_s < 0,75$ m en el borde de la zona de oleaje (digamos, profundidad de 6 m); moderada para H_s entre 0,75 y 1,5 m; y alta para $H_s > 1,5$ m (Rijn, 2013).

También se tiene el efecto de las mareas; los sedimentos son desplazados varios kilómetros entre la pleamar y la bajamar. Estos cambios periódicos erosionan la zona intermareal que queda expuesta durante estos procesos. Así mismo, las corrientes de marea debido a su naturaleza rotatoria, sigue trayectorias que generan el transporte de masas de agua, que trae consigo sedimentos. Las corrientes de refluo y las crecidas, dan como resultado movimientos residuales importantes en términos de transporte y sedimentación (US Army Corps of Engineers, 2023).

Las corrientes inducidas por las olas aumentan con el incremento del ángulo de las olas; la deriva litoral neta será relativamente grande en caso de una dirección dominante de las olas (Quick, 1983).

1.4.3 Balance sedimentario

El balance sedimentario se refiere a la relación entre la cantidad de sedimento que entra y sale de una determinada área o sistema costero en un periodo de tiempo definido. Técnicamente, se calcula considerando la diferencia entre la cantidad de sedimento que ingresa al sistema (a través de fuentes como la sedimentación fluvial, la erosión costera, la deriva litoral, entre otros) y la cantidad que sale del sistema (como la sedimentación en el fondo marino, la erosión por corrientes marinas, etc.) (Rodríguez & Dean, 2009).

Este cálculo proporciona una visión general de cómo cambia la cantidad total de sedimento en esa área durante un periodo específico. Es importante tener en cuenta que el

balance sedimentario puede ser positivo (más sedimento entra que sale, lo que resulta en acumulación) o negativo (más sedimento sale que entra, lo que conduce a la erosión). Este análisis es fundamental para comprender la dinámica de sedimentación y erosión en entornos costeros, y es utilizado en la planificación y gestión costera para comprender y predecir cambios en la línea de costa y en la morfología de las playas y áreas adyacentes (Lee & Brunsden, 2001).

1.4.4 Transporte sedimentario

Dentro de la costa, el transporte de sedimentos puede movilizarse a partir de las olas, los vientos y las corrientes. En general, el que ocurre por el oleaje es el más significativo, sin embargo, esto puede divergir dependiendo de la zona de análisis. La relación entre el rompimiento de olas a lo largo de la costa y el transporte de sedimentos está estrechamente ligada. Este vínculo se origina debido a un aumento significativo en la fuerza que actúa sobre el lecho, lo que resulta en un incremento de la tensión de corte y la generación de turbulencia. Específicamente, la tensión de corte en el lecho, especialmente en áreas donde las olas rompen y se forman crestas, desencadena la movilización intermitente de partículas de sedimento durante cada ciclo de la ola, llevándolas desde un estado de reposo a ser suspendidas en el agua.

Por otra parte, la turbulencia desempeña un papel fundamental al mejorar esta suspensión de sedimentos, facilitando su transporte, movimiento y dispersión. Por lo general, las situaciones que implican el rompimiento de olas tienden a generar una mayor cantidad de sedimentos en suspensión en comparación con olas de similar altura y período que no rompen, y que ocurren a la misma profundidad del flujo (Kolokythas & Dimas, 2016).

Hay dos formas en la que el oleaje moviliza sedimento en las áreas cercanas a la costa. El transporte “cross-shore” o transversal y “longshore” longitudinal, también conocido como deriva litoral. Para ambos, la mayor tasa de transporte es resultado de la rotura del oleaje. El transporte transversal a la costa se da en dirección hacia dentro y hacia fuera de la costa. Puede ser destructivo, resultando en procesos erosivos o constructivos, generando

zonas de acreción. El transporte de sedimentos a lo largo de la costa se da cuando el oleaje se aproxima con cierto ángulo a la costa (CoastWa, 2005).

1.4.5 Equilibrio dinámico

La acción de las olas sobre una superficie inclinada de arena da lugar a un perfil de playa que eventualmente alcanza un equilibrio dinámico con la disipación de energía asociada al vaivén de las olas sobre el lecho de arena. Si la pendiente de la playa excede su equilibrio natural, ocurre un transporte de arena hacia aguas profundas, aplanando la pendiente; al contrario, una pendiente menor al equilibrio conduce al transporte de arena hacia la costa, aumentando la pendiente. Un equilibrio dinámico se logra cuando los movimientos ascendentes y descendentes son iguales, generando un perfil de playa denominado perfil de energía de equilibrio (Inman & Masters, 1991).

Las pendientes locales de la playa se ven influenciadas por diversos factores, como las corrientes de resaca y la presencia de estructuras y promontorios. En playas largas con arena fina o mediana, la pendiente en equilibrio tiende a ser más pronunciada a medida que aumenta el estrés en el fondo hacia la costa, especialmente durante la acción de las olas al romper. La pendiente es suave en aguas profundas sobre la plataforma continental, intensificándose justo antes del rompimiento de la ola, para luego suavizarse en la terraza y la barra litoral (Pilkey, 1998).

El rebote de la ola al romper recorre la terraza externa, generando gradualmente un aumento de la pendiente hasta llegar al frente de la playa, donde se disipa la energía remanente de la ola. Esta zona representa la parte más empinada del perfil de la playa. En cuanto a los ciclos estacionales, cambios en la naturaleza y dirección de las olas provocan un desplazamiento de arena entre las playas y aguas más profundas. Por lo general, las playas ganan extensión durante las suaves olas de verano y se erosionan por las tormentas más intensas del invierno. También existen ciclos más breves de erosión y deposición relacionados con mareas estacionales y no estacionales, así como con variaciones en las olas y tormentas (M. Schwartz, 2006).

1.4.6 Método de Kamphuis

El modelo propuesto por Kamphuis se basa en la fórmula del CERC y fue concebido como resultado de un estudio canadiense centrado en sedimentos costeros. En su investigación, Kamphuis (1991) diseñó una fórmula que considera la influencia del periodo de las olas (o su esbeltez), la pendiente de la playa y el tamaño de los granos. Este modelo de Kamphuis se emplea específicamente en playas sin características morfológicas complejas, como sistemas de barreras de rompientes elaborados, la ausencia de corrientes de marea, perfiles uniformes en la profundidad, y la inexistencia de estructuras como campos de groins o rompeolas más allá de la zona costera (Córdova-López & Torres-Hugues, 2011). La ecuación 2 describe la fórmula y sus respectivas variables.

$$Q_{vol} = 6.4 \times 10^4 H_{sbr}^2 T_p^{1.5} m_b^{0.75} D_{50}^{-0.25} (\sin 2\alpha_b)^{0.6} \quad (2)$$

Dónde:

Q_{vol} = Transporte de sedimentos en m³/año

H_{sbr} = Altura significativa en la rompiente

T_p = Periodo pico

m_b = Pendiente de la playa

D_{50} = Diámetro medio del sedimento

α_b = Ángulo de la ola rompiente

1.5 Estado del arte

El concepto de celda litoral basado en la continuidad del transporte de sedimentos, ha sido aplicado extensamente para el cálculo de balances sedimentarios en diferentes ambientes costeros (Anfuso G. , 2004; Bray, Carter, & Hooke, 1995; Eliot I, 2011; Ramesh, et al, 2021; Stul T, 2015; Kuroki, et al, 2006). Las celdas han sido identificadas como compartimentos donde circulan los sedimentos y la aplicación de este concepto ha

presentado variaciones que responden al tipo de costa que se esté analizando, las herramientas utilizadas para la investigación y los objetivos de cada estudio. Los objetivos suelen estar principalmente alineados con la comprensión de la circulación de los sedimentos para aplicarlo como una herramienta dentro del desarrollo de planes de manejo costero (Thoma & Eliot, 2018; Agustín Sánchez-Arcilla, 2016; Cooper & Pontee, 2006; Kantamaneni, 2016).

En Inglaterra, el concepto de celda litoral fue aplicado en la línea costera luego de una creciente concienciación medioambiental con el objetivo de reemplazar la construcción de proyectos de ingeniería dura. El Gobierno reconoció la necesidad de adaptar las defensas y estrategias costeras en función de los procesos naturales; el 11 de octubre de 1993, el ministro anuncia que los procesos costeros naturales y fluviales, deben ser solo perturbados con la construcción de obras de defensa si la vida o bienes del hombre se encuentren en peligro. La idea de utilización de celdas argumenta que si bien, la costa podría dividirse en unidades basadas en criterios económicos, sociológicos o ecológicos, una base morfológica es más funcional para la defensa costera y es la opción menos ambigua (Bray J. M., 1995).

La definición geomorfológica para las celdas utilizada en Inglaterra fue propuesta por Bray, Carter, & Hooke (1995); los límites de la celda se describieron como límites fijos y límites transitorios. Los límites fijos son aquellos con un record de estabilidad histórica que cubre al menos 20 a 100 años; son representados por los cabos, desembocaduras y algunas estructuras artificiales. Los límites transitorios son de carácter difuso y tiene una estabilidad limitada.

Este método ha sido aplicado en estudios dentro de la costa de Italia (Anfuso, Pranzini, & Vitale, 2011). En este trabajo, los patrones de erosión/acreción fueron controlados por la compartimentación costera en celdas y las sub-celdas se crearon a partir de límites establecidos por estructuras artificiales. Los resultados fueron utilizados en la gestión del transporte de sedimentos en el litoral de manera sostenible, reduciendo la necesidad de intervenciones de ingeniería. Otro trabajo en el que se utilizaron los mismos principios para

la delimitación de celdas fue realizado por Cooper (2004); en este estudio, se ejemplifican los beneficios de utilizar la aproximación del balance sedimentario como el fundamento sobre el cual se identifican soluciones sobre el manejo sostenible de la línea costera de St. Ouen's Bay, Jersey.

Otra delimitación identificada para la definición de celdas sedimentarias fue aplicada en la línea costera de Australia, una zona llamada Vlamingh, entre el Cabo Naturaliste y río Moore, en Australia Occidental. Este trabajo fue realizado por Stul (2015) junto al Departamento de transporte del Gobierno de Australia Occidental; este trabajo cartografió las celdas en una jerarquía de niveles primario, secundario y terciario para incorporar tres escalas espaciales y temporales. Según el autor, la representación jerárquica ofrece una base para planificación y gestión integrada para obras de ingeniería a pequeña escala hasta la gestión de los recursos a gran escala.

En esta investigación, las celdas primarias se relaciona con grandes formas de relieve y son relevantes para entender el comportamiento del sistema a largo plazo. Las celdas secundarias, en cambio, incorporan el movimiento de los sedimentos en la superficie costera en una escala temporal del proceso interdecadal. Finalmente, las celdas terciarias se definen por el movimiento de los sedimentos durante procesos estacionales e interanuales de la superficie de playa. Estos compartimentos se utilizan como un marco para evaluar la vulnerabilidad costera respecto a su exposición al aumento del nivel del mar, considerando condiciones meteorológicas, oceánicas y accidentes geográficos (Eliot I, 2011).

Los principios para identificar las celdas sedimentarias se encuentran en función de los agentes que modelan el comportamiento de la costa; estos pueden ser geológicos, climáticos, bióticos y atmosféricos. Por lo tanto, los acercamientos metodológicos para clasificar las celdas emplean herramientas que distinguen el nivel de influencia de los agentes modeladores de la costa sobre las celdas sedimentarias.

Por ejemplo, varios estudios, para conocer la cantidad de transporte sedimentario dentro de las celdas han realizado modelaje costero, y considerado también definiciones oceanográficas como profundidad de cierre, batimetría, corrientes dentro de la costa, índice de similitud de surf, entre otros (Anfuso & Gracia, 2005; Mazzer, Souza, & Dillenburg, 2009). Un estudio realizado en África Occidental, aplicó una metodología para estimar los sedimentos provenientes del transporte de olas a lo largo de la costa de Benin; parámetros como altura de ola significativa, periodo pico, dirección del swell y olas de viento, tomados de sevidores de data validadas con información de boyas cercanas. Junto a la caracterización de la morfología, el gradiente de la playa y el comportamiento del oleaje, se realizó la identificación de las celdas sedimentarias (Laïbi, y otros, 2014).

Las metodologías para clasificar celdas sedimentarias son variadas y se fundamentan en la comprensión de los agentes modeladores de la costa, como las corrientes marinas y las olas, que influyen en el transporte de sedimentos. La revisión de literatura destaca la importancia de entender cómo estos agentes impactan la dinámica costera, lo cual es fundamental para definir y establecer criterios de delimitación de celdas sedimentarias. Esta conexión permite aplicar metodologías más precisas y contextualizadas, facilitando una mejor gestión y comprensión de la evolución de las áreas costeras.

CAPÍTULO 2

2. Metodología

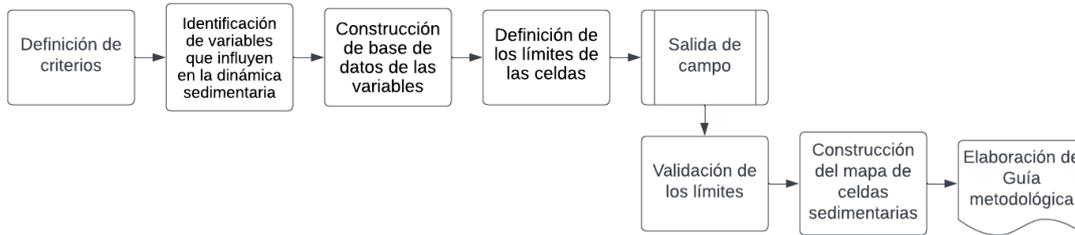
Para la definición de celdas sedimentarias se realizó una revisión bibliográfica de investigaciones donde estas se han aplicado dentro del manejo costero como base para la gestión de procesos erosivos. Se escogieron los trabajos de (Stul T, 2015) en Australia, (Bray, Carter, & Hooke, 1995) en Inglaterra y (Martínez, Silva, & Mendoza, 2006) en México.

Estas investigaciones establecieron variables para la comprensión de la dinámica sedimentaria en los compartimentos delimitados en su zona de estudio. Sin embargo, para este trabajo se tendrán en cuenta aquellas variables disponibles para el desarrollo de una metodología adaptada a los recursos y limitaciones del contexto y zona de estudio seleccionada.

Luego de la revisión bibliográfica y en función del análisis de las metodologías empleadas en los trabajos descritos anteriormente, se especificaron los siguientes pasos para la delimitación de las celdas sedimentarias y posterior diseño de guía metodológica 1) Definición de criterios para definición de las celdas sedimentarias; 2) Identificación de variables que influyen en la dinámica sedimentaria de la zona de estudio; 3) Construcción de base de datos con las variables seleccionadas previamente; 4) Definición de límites de las celdas sedimentarias a partir de los criterios seleccionados por medio de Google Earth Pro; 5) Validación de los límites de celdas en campo por medio de fotointerpretación; 6) Elaboración de los mapas de celdas sedimentarias por medio de Qgis; 7) Análisis estadístico del transporte sedimentario a partir de la base de datos; 8) Elaboración de guía la metodológica.

Figura 1.

Metodología para definición de celdas



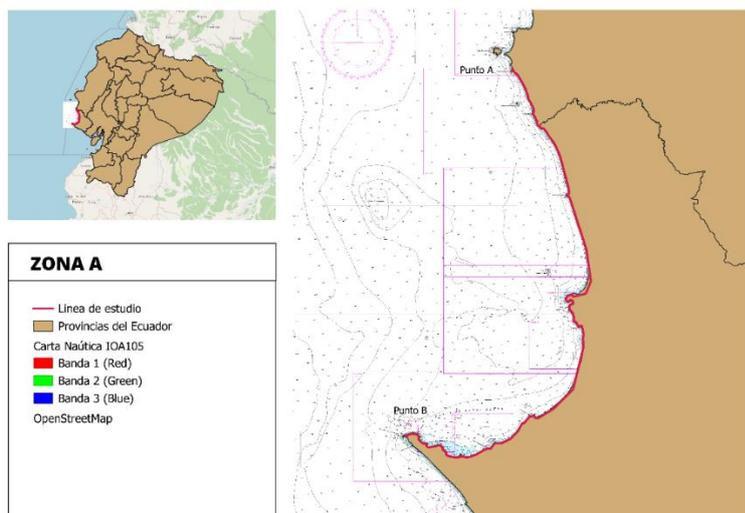
2.1 Áreas de estudio

2.1.1 Zona A.

El análisis de celdas sedimentarias se realizó en dos zonas de estudio. La primera se extendió desde la punta “La Cabezona” cercana a la comuna Puerto Rico en la provincia de Manabí hasta la punta de Salinas en la provincia de Santa Elena. En esta zona se definieron los límites que denominaremos a lo largo de este documento como Macro-Celdas de acuerdo con los criterios de delimitación geomorfológicos, con la intención de observar a nivel macro como se dividen estos segmentos litorales.

Figura 2.

Zona de estudio A

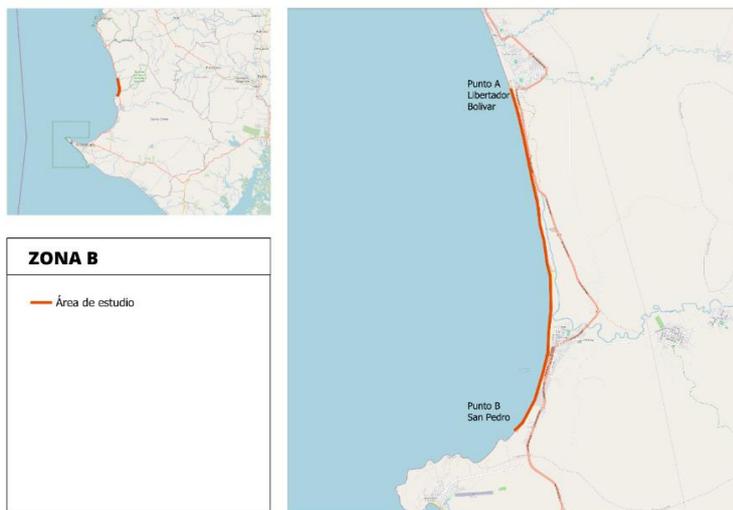


2.1.2 Zona B

Una vez realizada la primera definición, se interpretó el comportamiento de los sedimentos según las características litorales recopiladas en la base de datos de CENAREC dentro de un segundo espacio de análisis; este segundo análisis se realizó dentro de la celda sedimentaria en la que se encuentra la zona escogida, esta se extendió desde Libertador Bolívar hasta San Pedro.

Figura 3.

Zona de estudio B



En la zona de estudio B las principales zonas de interés se encuentran ubicadas entre las comunas de San Pedro, Valdivia y Libertador Bolívar pertenecientes a la provincia de Santa Elena en la parroquia de Manglaralto. El clima de esta provincia se clasifica como una zona árida, seca y subhúmeda; particularmente el área de estudio tiene un clima seco con pequeño exceso hídrico y cálido. Tiene vientos predominantes con dirección al oeste y su dirección se encuentra entre los 180° y 270° . La temperatura oscila entre los 25°C y 30°C , la variación estacional de las temperaturas es relativamente pequeña (UPSE, 2020).

Dentro de la parroquia, las principales actividades que se desarrollan son el comercio, la pesca y el turismo. Aunque la comuna Libertador Bolívar también mantiene otras actividades como la agricultura y construcción (Galarza, Navarro, & Zúñiga, 2009). San Pedro,

por otra parte, mantiene actividades de deportes extremos como la práctica de vuelo en parapente (Jiménez, 2020).

2.2 Selección de metodologías para definición de las celdas

2.2.1. Metodología para la definición de macroceldas

Como parte del primer reconocimiento de celdas sedimentarias en la costa del Ecuador, se realizó una delimitación a nivel macro entre la punta de Salinas en la provincia de Santa Elena y “Punta La Cabezona” cerca de la comuna Puerto Rico perteneciente al cantón Puerto López, con una extensión de 97,22 km aproximadamente.

Figura 4.

Metodología para definición de Macro-Celdas



A continuación, se describe en la Tabla 1 los criterios junto a la metodología aplicada para la definición de Macro-Celdas.

Tabla 1.

Criterios para la caracterización de Macro-celdas Zona A

Procedimiento	Metodología
1) Identificar puntos en la cara de la playa: - Característica geomorfológica (saliente)	Caracterización según información satelital y revisión bibliográfica.
2) Identificar puntos offshore: - Isóbata donde se encuentre la profundidad de cierre.	Revisión bibliográfica.
3) Identificar puntos onshore: - Límite terrestre de dunas.	Revisión bibliográfica.
4) Conectar los puntos onshore y offshore por medio del límite establecido por el punto en la cara de la playa.	Bosquejo de las celdas en Qgis

5) Repetición del proceso a lo largo de la línea de costa entre Salinas y Punta La Cabezona.

A continuación se describen las etapas empleadas para el reconocimiento de celdas sedimentarias.

1) *Identificar puntos en la cara de la playa.*

Se establecieron como límites fijos a los acantilados definidos por las salientes como criterio geomorfológico para su caracterización. De acuerdo con Bray, Carter, & Hooke, (1995), los límites fijos se definieron a partir de la identificación de barreras físicas para los sedimentos, como lo son los cabos prominentes de roca dura que retroceden a ritmos muy lentos. Se realizó la identificación a través de información satelital utilizando la herramienta Google Earth Pro y revisión bibliográfica de los acantilados presentes en esta zona.

2) *Identificar puntos offshore.*

Los puntos límites offshore dependen de la profundidad de cierre de cero transporte de sedimentos de la zona (Stul T, 2015). Actualmente, la data para establecer esa isóbata no está disponible por lo que se recomienda revisar el capítulo 3 donde se sugiere una metodología para recopilar esa información.

3) *Identificar puntos onshore.*

Los puntos onshore dependen del límite dunar que exista en esta zona de estudio. Actualmente, la data para establecer los límites dunares no está disponible por lo que se recomienda revisar el capítulo 3 donde se sugiere una metodología para recopilar esa información.

4) Conectar los puntos onshore y offshore por medio del límite establecido por el punto en la cara de la playa.

Una vez definidos los límites onshore y offshore se bosquejaron las celdas sedimentarias por medio de la herramienta Qgis, sin embargo, para esta primera

aproximación debido a las limitaciones de data, se realizó una distinción en función de los límites fijos descritos en en la etapa número uno.

- 5) Repetición del proceso a lo largo de la línea de costa entre Salinas y Punta La Cabezona.

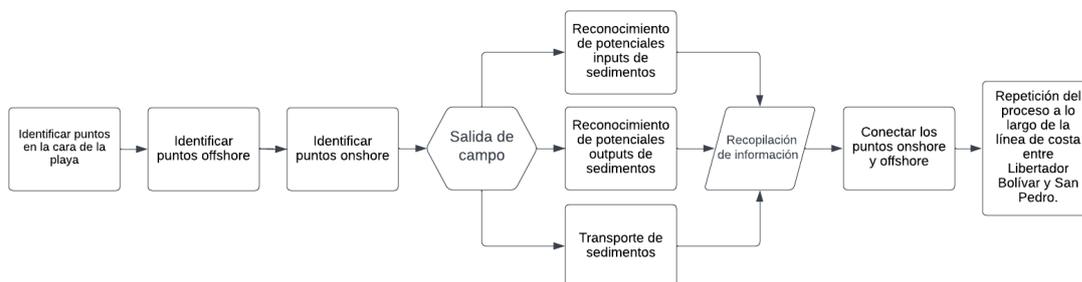
Finalmente, se bosquejaron las celdas delimitadas en el software Qgis y se repitió este proceso en la zona de estudio seleccionada.

2.2.2 Metodología para la definición de subceldas.

Si bien la aproximación de celdas sedimentarias en la zona A se realizó a partir de una caracterización geomorfológica, este segundo análisis abordó otros componentes que forman parte de la dinámica sedimentaria. Se reconocieron los límites onshore, offshore, los potenciales “outputs” (salida) de los sedimentos, junto a los “inputs” (ingreso) de sedimentos en las celdas por medio de fotografías aéreas en campo con dron. Se analizaron los cambios del transporte sedimentario por medio de herramientas estadísticas en épocas de sicigia y cuadratura, época lluviosa y seca. Finalmente, se reconoció la dirección del transporte sedimentario a través de la dirección de la corriente litoral y se estudió la granulometría del lugar (Cooper & Pethick, 2005).

Figura 5.

Metodología para definición de Sub-celdas



2.2.2.1 Definición de criterios.

En el análisis de la Zona B comprendida entre Libertador Bolívar y San Pedro se seleccionaron los puntos dentro y fuera de la costa. Adicionalmente, se identificaron

potenciales fuentes de sedimentos, vías de transporte y sumideros. Las variables y criterios utilizados se detallan en la tabla 2.

Tabla 2.

Criterios para la caracterización de Sub-celdas.

Procedimiento	Metodología
1) Identificar puntos en la cara de la playa: - Característica geomorfológica (acantilados, ríos, construcciones costeras)	Caracterización según información satelital, revisión bibliográfica y validación por observación en campo.
2) Identificar puntos offshore: - Isóbata donde se encuentre la profundidad de máximo transporte.	Revisión bibliográfica. Trabajo de Nativí & Caiza (2019)
3) Identificar puntos onshore: - Límite terrestre de dunas.	Estudio de Chicaiza (2023)
4) Reconocimiento de potenciales inputs de sedimentos	Fotointerpretación con dron
5) Reconocimiento de potenciales outputs de sedimentos	Fotointerpretación con dron
6) Transporte de sedimentos	Revisión bibliográfica del tamaño del sedimento de la zona y validación en campo.
7) Conectar los puntos onshore y offshore por medio del límite establecido por el punto en la cara de la playa.	Se dibujará la celda sedimentaria junto a los potenciales inputs y outputs, además, se definirá la dirección de transporte del sedimento.
8) Repetición del proceso a lo largo de la línea de costa entre Libertador Bolívar y San Pedro.	

1) Identificar puntos en la cara de la playa

Para este primer paso se realizó una revisión bibliográfica, caracterización según información satelital y validación por observación en campo. La caracterización se realizó a través del uso de herramientas como Google Earth y QGis; la distinción de límites longitudinales permitió reconocer los potenciales puntos donde los sedimentos podrían estar

teniendo un comportamiento acumulativo o erosivo, principalmente si son construcciones como espigones o construcciones ingenieriles costeras que podrían estar provocando erosión por un lado de la costa y acreción en otro lado, ya que son estos puntos donde el sedimento diverge o converge provocando la desestabilización del equilibrio dinámico de la costa. Generando cambios en el perfil y potenciales pérdidas de sedimento en zonas sensibles. Otros puntos donde el sedimento podría converger o divergir son las desembocaduras de ríos y acantilados bajos (Bray, Carter, & Hooke, 1995). La validación en campo se realizó por medio de fotografías tomadas con dron para el reconocimiento de estos puntos identificados por información satelital.

2) Identificar puntos offshore

Se debe agregar que no se realizó un estudio sobre intercambio transversal de sedimentos en la costa. Para incluirlo dentro del análisis debe haber un acercamiento en detalle de la profundidad en la que existe el máximo transporte de sedimentos, de modo que, se seleccione el límite offshore de la celda. Sin embargo, para conformar la celda se requiere esta medición, por lo cual se referenció el trabajo de Nativí & Caiza (2019) donde se propuso una profundidad de máximo transporte para la zona de Libertador Bolívar referenciado en la isóbata de 15m.

3) Identificar puntos onshore

Los puntos onshore se encuentran definidos por el límite dunar; este se detalló a partir del estudio previo de Chicaiza (2023) donde caracterizó las dunas existentes en la provincia de Santa Elena. De esta manera, la zona de estudio entra en la identificación de dunas y se obtuvo la ubicación de las dunas en esos puntos.

4) Reconocimiento de potenciales inputs de sedimentos

Entre los potenciales puntos de inputs de sedimentos se encuentran los ríos y acantilados. Para esta sección se realizó una identificación por medio de Google Earth Pro y posteriormente la validación por toma de fotos con dron en campo.

5) Reconocimiento de potenciales outputs de sedimentos

Los outputs de sedimentos están representados por el transporte de sedimentos que sale del sistema de la celda. En este paso se identificó el transporte que existe en la celda y su dirección, también, el límite dunar calificó como un potencial output ya que cuando existe cambios entre el perfil de invierno y verano las dunas pueden comportarse como un potencial input de sedimentos u output. Para efectos de la delimitación de las celdas, se consideró como output de sedimentos.

6) Transporte de sedimentos

La identificación del transporte de sedimentos se realizó por medio de la ecuación de Kamphuis (1991); para el cálculo de transporte se utilizó la base de datos OLÉ en la zona de Libertador Bolívar, mientras que para San Pedro se utilizó la base de datos recopilada por CENAREC; los datos empleados detallan las características litorales. Para Libertador Bolívar se realizó un análisis de los años 2017, 2018, 2019 y 2023, mientras que, para San Pedro se emplearon datos del 2023. La obtención de las variables *altura significativa en la rompiente*, *periodo pico*, *pendiente de la playa* y *ángulo de ola rompiente* se recopilaron en 10 salidas de campo realizadas durante los años 2017, 2018, 2019 y 2023 para la zona de Libertador Bolívar. Cada uno de estos se efectuaron en condiciones de sicigia y cuadratura. La tabla 3 describe las fechas en las que las salidas se realizaron y la tabla 4 los puntos de las estaciones analizadas.

Tabla 3.

Salidas de campo en Libertador Bolívar

N°	Fecha	Fase Lunar
1	7/1/2017	Sicigia
2	14/1/2017	Cuadratura
3	7/7/2018	Cuadratura
4	14/8/2018	Sicigia
5	21/7/2018	Cuadratura
3	16/6/2018	Sicigia
5	8/6/2019	Cuadratura

6	15/6/2019	Sicigia
7	26/10/2019	Sicigia
8	3/6/2023	Sicigia
9	15/6/2023	Sicigia
10	16/6/2023	Sicigia

Figura 6.

Estaciones en Libertador Bolívar

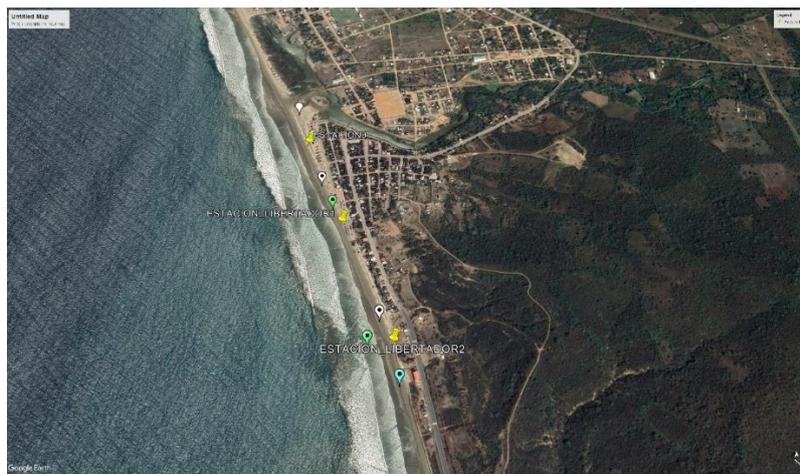


Figura 7.

Estaciones en Libertador Bolívar



Tabla 4.

Coordenadas geográficas de estaciones en Libertador Bolívar

Estaciones	Tipo	Este	Norte
Libertador_2	Fija	529602.11 m E	9791391.69 m S
Libertador_1	Fija	529474.98 m E	9791779.26 m S
Estación 0	Fija	529375.29 m E	9792096.97 m S
PR_1B	Control	529421.00 m E	9791928.00 m S
PR_2B	Control	529573.78 m E	9791459.82 m S

Estación 1	Fija	529288.29 m E	9792387.84 m S
-------------------	------	---------------	----------------

Para la zona de San Pedro se emplearon los datos tomados en 11 salidas de campo durante el año 2023. Se recogieron los datos de variables *altura significativa en la rompiente*, *periodo pico*, *pendiente de la playa* y *ángulo de ola rompiente*. La tabla 5 indica las fechas de las salidas y la tabla 6 las coordenadas geográficas de las estaciones.

Tabla 5.

Salidas de campo en San Pedro

N°	Fecha	Fase Lunar
1	07/07/23	sicigia
2	21/07/23	sicigia
3	03/08/23	sicigia
4	17/08/23	sicigia
5	01/09/23	sicigia
6	14/09/23	sicigia
7	28/09/23	sicigia
8	12/10/23	sicigia
9	30/10/23	sicigia
10	12/11/23	sicigia
11	15/12/23	sicigia

Figura 8.

Estaciones en San Pedro



Tabla 6.

Coordenadas geográficas de estaciones en San Pedro

Estaciones	Este	Norte
2	530081	9783977
3	529885	9783543

- 7) *Conectar los puntos onshore y offshore por medio del límite establecido por el punto en la cara de la playa.*

Luego de recopilar toda la información y delimitar los límites, se utilizó la herramienta QGis para definir las capas en las que se encontraron los límites longitudinales y transversales. Los límites longitudinales correspondientes a los puntos donde exista convergencia o divergencia de los sedimentos y los transversales referentes al límite dunar dentro de la costa y el punto de máximo transporte de sedimentos costa afuera como los puntos offshore.

- 8) *Repetición del proceso a lo largo de la línea de costa entre Libertador Bolívar y San Pedro.*

Posteriormente, se repitió este proceso en las playas de Libertador Bolívar y San Pedro para identificar las potenciales sub-celdas.

- 9) *Recopilación de caracterización geomorfológica*

Finalmente, se hizo una identificación por interpretación visual de los rasgos geomorfológicos característicos de la zona. Además, se reconoció el tipo de playa según su forma y los tipos de sedimentos.

2.2.2.2 Validación de variables.

Para la validación de macro-celdas se realizó una revisión bibliográfica sobre las zonas de acantilados en el perfil costero; debido a las limitaciones de recursos y tiempo para realizar el recorrido de los 10 puntos definidos como límites de las macro-celdas en el litoral,

se efectuó un recorrido virtual por medio de Google Earth Pro de estos y se utilizó el trabajo de Cedeño & Méndez (2022) para identificar las zonas de acantilados.

Mientras que, para la validación de las subceldas se realizaron dos salidas de campo con la finalidad de realizar la observación de las características litorales y verificar la existencia de los límites longitudinales (desembocaduras, construcciones, acantilados) propuestos para la delimitación de la celda. En estas salidas se tomaron fotografías aéreas con dron para visualizar todos los rasgos geomorfológicos para la caracterización de la celda y posteriormente se realizó un análisis granulométrico de los sedimentos recogidos en las zonas de San Pedro y Libertador Bolívar.

La tabla 7 detalla la revisión bibliográfica utilizada como línea base para comparar los datos recogidos en campo. Esta tabla hace referencia a estudios previos que describen la dinámica de la velocidad de la corriente litoral, la altura significativa de las olas, el período pico y la tipología de sedimentos presentes en el área de investigación.

Tabla 7.

Estudios de línea base

Estudio	Valores promedio	Autores
Corrientes litorales	Libertador Bolívar: 0.26 m/s (cuadratura), 0.21 m/s (sicigia)	(Caiza & Nativí, 2019) (Sánchez & Zavala, 2019)
	San Pedro – Valdivia: Las velocidades máximas alcanzan 0.23 m/s en flujo y 0.13 m/s en reflujo.	
Sedimentos del lugar	Libertador Bolívar: Los sedimentos mostraron un diámetro medio entre valores de 0.16 – 0.31 mm	(Sánchez & Zavala, 2019)
	San Pedro - Valdivia: Valdivia y San Pedro poseen una arena más abrasiva, mejor clasificada, mucho más silicoclástica y fosfática, con presencia de	

	minerales de hierro en menor cantidad.	
Aproximación del oleaje	Libertador Bolívar: Dirección del oleaje 244° -341°	(Allauca & Cardin, 1987)
	San Pedro: Dirección del oleaje 225°	
Tipo de playa	Libertador Bolívar: Intermedia	(Sánchez & Zavala, 2019)
	San Pedro: Reflectiva	
Hs	Libertador Bolívar: Hs = 0.5-0.7m	(Allauca & Cardin, 1987) (Caiza & Nativí, 2019)
	San Pedro- Valdivia: Hs = 0.4-0.6m	
Periodo	Libertador Bolívar: T = 13-15seg	(Allauca & Cardin, 1987) (Caiza & Nativí, 2019)
	San Pedro - Valdivia: T = 16-22seg	

2.3 Caracterización detallada de las variables

Se realizaron cuatro salidas de campo para definir las celdas sedimentarias y reconocer el transporte sedimentario en el tramo Libertador Bolívar – San Pedro. Dos salidas fueron para realizar la observación de características litorales donde se levantaron datos de perfil de playa desde la berma hasta la línea de agua en bajamar, altura de oleaje, periodo, velocidad de corriente litoral y dirección del oleaje. Los datos recabados se adjuntaron a la base de datos de CENAREC; en las tablas 3 y 5 se detallan las salidas de campo realizadas en los años 2017, 2018, 2019 y 2023 para Libertador Bolívar y 2023 para San Pedro. Mientras que, las otras dos fueron para efectuar la caracterización de las celdas y sus respectivos límites para las zonas de Libertador Bolívar y San Pedro por medio de la toma de imágenes con dron de los potenciales límites de la celda.

Tabla 8.

Salidas de campo

Actividad	Fecha	Fase Lunar	Época
Características litorales	08/12/23	Sicigia	Lluviosa
	15/12/23	Sicigia	Lluviosa
Caracterización de celda sedimentaria	13/12/23	Sicigia	Lluviosa
	22/01/24	-	LLuviosa

2.3.1 Características litorales.

Se recopiló información sobre las características costeras mediante observación in situ de vientos y olas en las estaciones señaladas en las tablas 4 y 6 durante un lapso de 7 horas con un intervalo de medición por hora. La técnica empleada fue Littoral Environment Observation (LEO); en esta se recopilan las observaciones de vientos, oleaje y corrientes en una plantilla completada por observadores en la zona de estudio.

Para garantizar la pertinencia de los datos, se establecieron las estaciones en cada área de estudio; seis estaciones en la zona de Libertador Bolívar y dos estaciones en la zona de San Pedro. Los instrumentos empleados incluyeron un anemómetro digital, brújula, cronómetro, derivador y plantilla de anotaciones. Esta metodología permitió recopilar información específica sobre la corriente litoral, estimando su velocidad; el viento, aproximando su dirección y velocidad; y el oleaje, definiendo su tipo, velocidad, período, dirección y altura.

2.3.2 Análisis granulométrico.

Se efectuó la recolección de sedimentos en las zonas de San Pedro y Libertador Bolívar; se tomó aproximadamente 1kg por muestra a lo largo del perfil berma – línea de agua de ambas zonas, una en la zona alta o berma, otra en la zona intermedia del perfil y otra sobre la línea de agua por estación resultando en un total de 3 muestras por estación.

El estudio de las muestras se realizó en el laboratorio con el ensayo de análisis granulométrico AST D422 (D422, 2007). Este método de tamizado se dividió en 4 pasos: secado, preparación, tamizado y digitalización. El secado se realizó en una estufa de secado

a 100°C durante 24h cada una de las muestras, seis para la zona de San Pedro y 30 muestras en total para la zona de Libertador Bolívar; la preparación consistió en hacer una división homogénea de la muestra; la etapa inicial implicó dividir la muestra de manera uniforme; posteriormente, se llevó a cabo el proceso de tamizado utilizando una serie de tamices desde el número 20 (que representa arenas gruesas) hasta el número 230 (correspondiente al material fino). La posterior digitalización de los datos se realizó en el programa de hojas de cálculo Excel, donde se generó la representación gráfica de la distribución de tamaños de grano.

2.4 Elaboración de mapas

Para la elaboración del mapa con las celdas sedimentarias se utilizó la herramienta QGis, empleada para visualizar la configuración final de las celdas sedimentarias (macro-celdas y sub-celdas) y dónde se encuentran los límites longitudinales y transversales de estas. También se detalló la dirección de transporte sedimentario calculado con la información recopilada en campo.

Lo primero que se realizó fue establecer cuáles serían los potenciales límites de las celdas; de acuerdo con la metodología estos pueden ser ríos que desembocan en la costa, también conocidos como desembocaduras, construcciones transversales a la costa como espigones y salientes notorias como acantilados. Dentro de la costa se agregó el límite dunar resultado del estudio de Chicaiza (2023) donde se caracterizaron estos puntos. Fuera de la costa se estableció a la isóbata de 15m como profundidad de transporte máximo de sedimentos.

Para dibujar los límites se crearon diversas capas y luego se empleó la herramienta multilínea delimitando los puntos fuera y dentro de la costa, además de los puntos longitudinales. Para el límite dunar se empleó la capa que resultó de la investigación de Chicaiza (2023) misma que fue proporcionada por su autora.

2.5 Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó a través de la herramienta Stata; se estudiaron cuatro variables que influyen en el transporte sedimentario, altura significativa en la rompiente (Hs), dirección de ola en la rompiente (Alfab) y período pico (Tp). Se realizó un análisis de normalidad para reconocer la distribución de los datos recolectados en campo, luego, para entender la relación entre las variables dicotómicas (Fase Lunar y época) y las variables cuantitativas mencionadas previamente.

Posteriormente, se analizó la diferencia de medias en las variables que muestren una distribución normal por medio de un t-test, y una diferencia de medianas para aquellos que no demuestren normalidad por medio de la prueba de Prueba U de Mann-Whitney, que es la versión no paramétrica del t-test. Los resultados determinaran si existe un cambio significativo en las variables mencionadas de acuerdo con la fase lunar en que se encuentren y la época.

CAPÍTULO 3

3.1 Resultados y análisis

3.1.1 Guía metodológica

La guía sugerida describió una metodología para alcanzar la primera delimitación de celdas sedimentarias en la costa ecuatoriana. Se detalló cómo lograr una definición de celdas sedimentarias basada en trabajos realizados a nivel global y adaptada a la costa ecuatoriana. También se incluyó el reconocimiento de algunas variables que influyen en el transporte de sedimentos dentro de las celdas.

La guía se dividió en dos secciones; en la primera sección, se describió la distinción de los criterios que permitían alcanzar la definición de las celdas sedimentarias mediante una clasificación jerárquica por etapas, para segmentar el borde costero en macro-celdas y sub-celdas.

La segunda sección planteó el análisis estadístico que se debía realizar para comprender cómo se comportaba el transporte longitudinal, tanto en diferentes períodos de sicigia y cuadratura como en las épocas lluviosa y seca. Este análisis se basó en diversas herramientas de estadística inferencial para determinar si los cambios en el transporte sedimentario longitudinal representaban cambios significativos según la fase lunar o la temporada del año. Aunque el transporte sedimentario longitudinal era una variable importante en la dinámica sedimentaria de la celda, se destacó que futuros análisis deberían considerar información relacionada con la cantidad de sedimento removido o aportado en la celda por otras variables. El alcance del trabajo se limitó únicamente al transporte sedimentario.

A continuación, se muestra la guía metodológica.

Sección 1

Para la identificación de las celdas sedimentarias se ha optado por realizar una definición según el contexto costero del litoral ecuatoriano. Por lo cual se han definido las macro-celdas y las sub-celdas. Las metodologías para su identificación se describen brevemente a continuación, sin embargo, la utilización de otras opciones queda a discreción del lector por lo que se recomienda realizar una búsqueda más exhaustiva de otros métodos.

Esta guía se desarrolla en base a aquellas que resultaron óptimas según la disponibilidad de data e información para una caracterización general. Si se desea efectuar un análisis más fino para la caracterización de las celdas, se deben realizar los estudios pertinentes que permitan cuantificar las fuentes y los sumideros de sedimentos para lograr determinar el balance sedimentario de cada celda.

Macrocelas

La metodología a emplear se resume en 5 etapas. Dependiendo del tipo de información que se maneje, las conclusiones podrían variar respecto a cuáles son los compartimentos definidos. A pesar de eso, la percepción general de las macro-celdas depende de las variables resueltas a continuación.

Tabla 9.

Criterios para la caracterización de macro-celdas sedimentarias

Etapas	Trabajos referenciados
6) Identificar puntos en la cara de la playa: - Característica geomorfológica (saliente)	(Stul T, 2015) (Cedeño & Méndez, 2022) (Bajorath, 2017)
7) Identificar puntos offshore: - Isóbata donde se encuentre la profundidad de cierre.	(Royer, 2022)
8) Identificar puntos onshore: - Límite terrestre de dunas.	(Stul T, 2015) (Marcenò, y otros, 2018) (Chicaiza, 2023)
9) Conectar los puntos onshore y offshore por medio del límite establecido por el punto en la cara de la playa.	(Stul T, 2015)
10) Repetición del proceso a lo largo de la línea de costa del área de estudio.	(Stul T, 2015)

A continuación, se describen las actividades desplegadas que deben llevarse a cabo para la definición de las celdas por cada etapa; la siguiente tabla resume la frecuencia con que deben realizarse estas actividades para la recopilación de información en campo, los instrumentos y las limitaciones reconocidas para su implementación.

La metodología se ha desarrollado para ser implementada en un año; las etapas 1 y 4 deben hacerse al principio y final del año. Mientras que la 3 y 2, deberán realizarse de manera mensual. Los días que toma cada actividad se han especificado en cada tabla.

Etapas 1

Tabla 10.

Etapas 1 – Macrocelas

Etapas	Actividad	Descripción	Limitaciones	Días	Involucrados	Instrumentos utilizados
Identificar puntos en la cara de la playa *anual	Observación por Google Earth	La observación es realizada para identificar las salientes prominentes, acantilados o construcciones.	No - Open Source	5	1 oceanógrafo	Computadora Core i7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb

Clasificación supervisada	Con imágenes Sentinel 1 (resolución 10m) se puede identificar los acantilados/construcciones en un SIG (Qgis) con una altura mayor a 15m.	No – Open source	5	1 oceanógrafo	Computadora Core 17 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb
Validación en campo	Con el uso del dron se visualizará el espacio de los acantilados, salientes o construcciones	Zonas de difícil acceso, se requieren varias baterías para el dron.	3	1 oceanógrafo	Dron

Para seleccionar el área de trabajo debe reconocerse un espacio donde se discriminen salientes prominentes de acantilados en el perfil costero. Estos acantilados deben ser estables, por lo cual se recomienda realizar la clasificación supervisada de estos puntos con imágenes satelitales de años anteriores (10 años mínimo) para validar su existencia durante ese periodo.

Etapa 2

Tabla 11.

Etapa 2 – Macroceldas

Etapa	Actividad	Descripción	Limitaciones	Días	Involucrados	Instrumentos utilizados
Identificar puntos offshore *mensual	Determinación de profundidad de cierre	Calcular a través de la fórmula.	Los cálculos deben ser validados en campo.	3	1 oceanógrafo	Computadora Core 17 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb
	Campañas batimétricas	Campañas batimétricas con el sonar multihaz en las zonas cercanas a la costa	Gestión de embarcación por los costos.	10	2 oceanógrafos 1 conductor	Sonar multihaz Embarcación

Se realizan los perfiles de playa junto a las campañas batimétricas para tener un panorama general de cómo se están comportando los sedimentos a lo largo del perfil hasta el punto de profundidad de cierre para cero movimiento; de acuerdo con Hallermeier (1991) esta profundidad se define como describe la ecuación 1.

$$d_i \approx (H_s - 0.3\sigma)T_{sm} \left(\frac{g}{5000D_{50}} \right)^{0.5} \quad (1)$$

con: H_s , la altura de ola significativa local media anual; T_{sm} , el período del oleaje significativo medio anual; σ , la desviación estándar de la altura de ola significativa y $D^* 50$.

Se ha considerado realizar esta etapa mensualmente durante dos campañas batimétricas y perfil de playa, una en verano (época seca) e invierno (época lluviosa). Las limitaciones podrían aumentar por el cambio del nivel del mar, por lo que deberían realizarse las correcciones de manera que sean necesarias.

Etapa 3

Tabla 12.

Etapa 3 – Macroceldas

Etapa	Actividad	Descripción	Días	Involucrados	Instrumentos utilizados
Identificar puntos onshore *mensual	Clasificación supervisada	Con imágenes Sentinel 1 (resolución 10m) se puede identificar las dunas en un SIG	4	1 oceanógrafo	Computadora Almacenamiento: 1t Ram: 32gb Core i7 Memoria
	Perfiles de playa	Para reconocer las dunas deben realizarse los perfiles desde la trasplaya - berma - bajamar	10	4 oceanógrafos	GPS diferencial

Se realiza la clasificación supervisada para identificar los puntos donde se encuentran las dunas y posteriormente, realizar los perfiles de playa en estos lugares. Se ha considerado ejecutar esta etapa mensualmente durante dos campañas batimétricas y perfil de playa, una en verano (época seca) e invierno (época lluviosa) para identificar como se movilizan las dunas según la época del año y tener un entendimiento de su comportamiento en la costa. Considerar realizar los monitoreos posteriores desde la trasplaya detrás de la línea de rompiente para conocer el movimiento de la barra.

Etapa 4

Tabla 13.

Etapas 4 – Macroceldas

Etapas	Actividad	Descripción	Días	Involucrados	Instrumentos utilizados
Definición de celdas *anual	Conectar los puntos onshore y offshore	Conectar los puntos onshore y offshore por medio del límite establecido por el punto en la cara de la playa. Delimitar las celdas por medio de un SIG (Qgis)	3	1 oceanógrafo	Computadora Core i7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb

Luego de un primer año de implementación de las etapas, (monitorear los parámetros, luego de la implementación de la celda) debe realizarse una segunda actualización de cada una de las etapas y luego de los dos años de análisis reconocer posteriores estudios de monitoreo del comportamiento de los sedimentos de la celda. Se puede implementar estudios de modelaje costero en las celdas para analizar las tasas de erosión o acreción y validarlo con la información recopilada mensualmente sobre los perfiles de playa y su modificación en las diferentes épocas del año y cambios de marea. Este modelaje puede realizarse con Delft3D el cual tiene una versión open source para disminuir costos.

Etapas 5

La quinta fase se refiere a la repetición de las etapas en la línea de estudio para reconocer si existen otras celdas dentro del área inicialmente seleccionada. De ser así, debe seguirse el proceso expuesto previamente.

Sub-celdas

La metodología sugerida para la identificación de sub-celdas también cuenta con etapas, entre estas se incluye también los métodos para recolección de información sobre fuentes, salidas y vías de transporte del sedimento. A continuación, se describen estas junto a los diversos estudios referenciados con algunas de las técnicas empleadas.

Tabla 14.

Criterios para la caracterización de sub-celdas sedimentarias

Procedimiento	Trabajos referenciados
1) Identificar puntos en la cara de la playa: - Característica geomorfológica	- (Bray, Carter, & Hooke, 1995)

(acantilados, ríos, construcciones costeras)	
2) Identificar puntos offshore: - Isóbata donde se encuentre la profundidad de máximo transporte de sedimentos.	- (Aragonés, Pagán, López, & Serra, 2019)
3) Identificar puntos onshore: - Límite terrestre de dunas.	- Chicaiza (2023) - (Corrado Marcenò, 2018)
4) Reconocimiento de potenciales inputs de sedimentos	- (Komar, 2013) - (Cedeño & Méndez, 2022)
5) Reconocimiento de potenciales outputs de sedimentos	- (Anfuso G. , 2004)
6) Transporte de sedimentos longitudinal	- (H. A. Arı Güner, 2011) - (Córdova-López & Torres-Hugues, 2011)
7) Bosquejar los puntos onshore y offshore por medio del límite establecido por el punto en la cara de la playa.	- (Stul T, 2015)
8) Repetición del proceso a lo largo de la línea de costa en el área de estudio.	- (Stul T, 2015)

Las etapas se dividen en diversas actividades, por lo cual, se detalla la frecuencia de estas en días y los instrumentos a emplear. Al igual que las macro-celdas, se señala que algunas de las etapas se realizan anualmente y otras mensualmente. Se recomienda seguir el orden según se establecen las etapas, sin embargo, estas pueden realizarse de manera independiente a excepción de la etapa 1, ya que es indispensable para obtener una primera aproximación de la sub-celda. Las etapas posteriores se relacionan con el estudio del comportamiento de los sedimentos en la sub-celda.

Las etapas realizadas mensualmente se deben realizar en dos campañas, una en temporada de verano (seca) entre los meses de junio a noviembre e invierno (lluviosa) de diciembre a mayo. Se recomienda repetir las etapas mensuales durante dos meses en las respectivas temporadas interanuales, esto para recopilar mayor data y obtener una mejor precisión de los resultados.

Etapa 1

Tabla 15.

Etapa 1 - Subceldas

Etapa	Actividad	Descripción	Limitaciones	Días	Involucrados	Instrumentos utilizados
Identificar puntos en la cara de la playa *anual	Observación por Google Earth	La observación es realizada para identificar las salientes prominentes, acantilados o construcciones	No - Open Source	5	1 oceanógrafo	Computadora Core i7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb
	Clasificación supervisada	Con imágenes Sentinel 1 (resolución 10m) se puede identificar los acantilados, construcciones o desembocaduras de ríos en un SIG	Qgis	5	1 oceanógrafo	Computadora Core i7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb
	Validación en campo	Con el uso del dron se visualizará el espacio de los acantilados, salientes o construcciones transversales a la costa.	Para las zonas de difícil acceso, se requerirán varias baterías	3	1 oceanógrafo	Dron

Etapa 2

Tabla 16.

Etapa 2 – Subceldas

Etapa	Actividad	Descripción	Limitaciones	Días	Involucrados	Instrumentos utilizados
Identificar puntos offshore *mensual	Profundidad de máximo transporte de sedimentos	Calcular la profundidad de máximo transporte de sedimentos.	Los datos calculados deben ser validados en campo.	3	1 oceanógrafo	Computadora Core i7 Almacenamiento: 1t Memoria ram 32gb
	Campañas batimétricas	Campañas batimétricas con el sonar multihaz en las zonas cercanas a la costa	Gestión de embarcación por los costos.	10	2 oceanógrafos 1 conductor	Sonar multihaz Embarcación

Para reconocer los límites offshore se realiza el cálculo de la profundidad de máximo transporte de sedimentos y con las campañas batimétricas se valida la profundidad; el objetivo es combinar estos dos productos y tener una percepción general de lo que ocurre en este punto. La ecuación 2 de Hallermeier (1981) denominada profundidad de cierre del perfil hc, aproxima este parámetro.

$$hc = 2H_s + 11\sigma \quad (2)$$

Etapa 3

Tabla 17.

Etapa 3 – Subceldas

Etapa	Actividad	Descripción	Limitaciones	Días	Involucrados	Instrumentos utilizados
Identificar puntos onshore *mensual	Clasificación supervisada	Con imágenes Sentinel 1 (resolución 10m) se puede identificar las dunas en un SIG	Se realiza con Qgis, se pueden identificar dunas con vegetación (NDVI) pero no dunas móviles sin vegetación	3	1 oceanógrafo	Computadora Core i7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb
	Perfiles de playa	Para clasificación de dunas y reconocimiento de cambio de variabilidad climática interanual debe realizarse desde la trasplaya - berma - bajamar	No	5	4 oceanógrafos	Método Emery

Para conocer los puntos onshore se realiza la clasificación supervisada para identificar donde se encuentran las dunas por medio de zonas de vegetación dunar a través de una clasificación supervisada y un posterior análisis con índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Luego se realizan los perfiles de playa para validar los puntos de dunas y evaluar cómo se comportan a lo largo del perfil de playa.

Etapa 4

Tabla 18.

Etapa 4 – Subceldas

Etapa	Actividad	Descripción	Limitaciones	Días	Involucrados	Instrumentos utilizados
Reconocimiento de potenciales inputs sedimentos *mensual	Observación por Google Earth	La observación es realizada para identificar posibles desembocaduras de ríos y acantilados	No	2	1 oceanógrafo	Computadora Core i7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb

Clasificación supervisada	Con imágenes Sentinel 1 (resolución 10m) se puede identificar los acantilados o desembocaduras en un SIG	Dependiendo de la extensión y altura de los acantilados se podrán identificar estos puntos. Si son más pequeños a la resolución (10m) no se identificarán.	5	1 oceanógrafo	Computadora Core i7 Almacenamiento : 1t Memoria Ram: 32gb
Validación en campo	Observación en campo con dron de los rasgos geomorfológicos identificados	Dificultad a zonas de poco acceso, se requieren varias baterías.	5	2 oceanógrafos	Dron
Cuantificación de sedimentos	Ríos: trampas de sedimentos	Puede con la fuerza del agua averiar las trampas, el monitoreo debe ser diario.	2	2 oceanógrafos	Trampas

El reconocimiento se realiza por medio de la observación por Google Earth para distinguir los acantilados y desembocaduras de ríos ya que estos representan elementos aportantes de sedimentos al sistema. Luego se realiza la validación en campo de estos puntos para observar su estado en la costa y su comportamiento.

Para saber cuánto se está movilizando, se pueden emplear trampas de sedimentos para identificar la tasa de sedimentos ingresando o saliendo de la desembocadura, los monitoreos deben hacerse en las dos épocas del año, invierno y verano y analizar al mismo tiempo el cambio de caudal.

Etapa 5

Tabla 19.

Etapa 5 - Subceldas

Etapa	Actividad	Descripción	Limitaciones	Días	Involucrados	Instrumentos utilizados
Reconocimiento de potenciales outputs de sedimentos *mensual	Perfiles de playa *Para observar la migración de dunas.	Analizar el cambio de los perfiles de invierno y verano nos dan información sobre el nivel de sedimento que sale o entra de la celda sedimentaria	No	5	4 oceanógrafos	Método Emery

Características litorales	Por medio del método LEO (Littoral Environment Observations) se recogen los datos de corriente litoral, altura, periodo y dirección del oleaje.	No	5	4 oceanógrafos	Método LEO
Transporte de sedimentos	El cálculo neto de la fórmula nos puede indicar si sale del sistema	No	5	1 oceanógrafo	Computadora Core i7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb
Análisis granulométrico	Para los cálculos y para identificación del tipo de playa. Toma de 3 muestras en la berma, zona intermareal y zona intramareal.	No	3	3 oceanógrafos	Laboratorio: horno, tamizadora y herramientas para granulometría.

Se realizan los perfiles de playa para conocer la pendiente de playa, además, se monitorea como se mueven las dunas durante los cambios de invierno y verano. Posteriormente se hace un monitoreo de características litorales y se calculan los valores de transporte sedimentario para saber cuánto sedimento sale o entra de la celda longitudinalmente. Para complementar el tipo de sedimento que sale de la celda se realiza un análisis granulométrico.

Etapa 6

Tabla 20.

Etapa 6 - Subceldas

Etapa	Actividad	Descripción	Limitaciones	Días	Involucrados	Instrumentos utilizados
Transporte de sedimentos *mensual	Características litorales	Recolección de las variables de características litorales	No	5	5 oceanógrafos	Plantilla de características
	Análisis granulométrico	Para los cálculos y para identificación del tipo de playa. Toma de 3 muestras en la berma, zona intermareal y zona intramareal.	No	3	3 oceanógrafos	Laboratorio: horno, tamizadora y herramientas para granulometría.
	Cálculo de transporte	Con las observaciones recogidas se obtendrán la estimación del transporte	No	2	1 oceanógrafo	Computadora Core i7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb

Dirección de transporte	de	Para identificar la dirección del sedimento se concluye a partir de la dirección de las corrientes litorales	No	1	1 oceanógrafo	Computadora Core i7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb
-------------------------	----	--	----	---	---------------	--

El cálculo de transporte se realiza a través de la identificación de las características litorales, el tamaño del sedimento reconocido del análisis granulométrico y su dirección por medio de la dirección de la corriente litoral. Se sugiere hacer el cálculo del transporte de sedimentos con la fórmula de Kamphuis (1981) y recoger data durante dos campañas, invierno y verano para analizar cómo cambia el transporte longitudinal en este periodo.

Etapa 7

Tabla 21.

Etapa 7 - Subceldas

Etapa	Actividad	Descripción	Limitaciones	Días	Involucrados	Instrumentos utilizados
Conectar los puntos onshore y offshore *anual	Dibujo de la celda	Se dibujará la celda sedimentaria junto a los potenciales inputs y outputs, además, se definirá la dirección de transporte del sedimento. (SIG)	No	3	1 oceanógrafo	Computadora Core i7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb SIG: Qgis

Etapa 8

Esta etapa se refiere a la repetición del proceso dependiendo de la zona de estudio escogida. Si luego de la primera etapa se observa la presencia de varias sub-celdas, entonces, debe repetirse el proceso de identificación de los límites en esta.

Sección 2

Análisis estadístico del transporte sedimentario

Para realizar un análisis estadístico se debe considerar inicialmente un muestreo aleatorio estratificado a partir de la data recolectada en campo. La idea de realizar este tipo de muestreo es para recoger información comparable para los periodos de invierno y verano, además, considerar cuando existen diferentes fases lunares, en este caso, sicigia y cuadratura. Se recomienda emplear el software Stata para ejecutar los siguientes pasos.

Para el cálculo del transporte sedimentario, de acuerdo con la fórmula de Kamphius (1981), se requiere la altura significativa (Hs), período pico (Tp), dirección del oleaje (Alfa), la pendiente de la playa (mb) y el diámetro medio del sedimento (D50). Todos estos datos se obtienen a partir del monitoreo de características litorales y el análisis granulométrico.

Análisis de las variables

Se evalúa la normalidad cada una de las variables cuantitativas (Hs, Tp, Alfa, Qs, mb y D50) mediante un gráfico de histogramas y tres pruebas de normalidad: Test Shapiro-Wilk, Shapiro Francia y Kolmogorov-Smirnov. Los Histogramas de frecuencias muestran si las variables Hs, Alfa y Qs están sesgadas a la izquierda, derecha o si estos se muestran simétricos.

Si la distribución de datos se encuentra sesgada a la derecha o izquierda se reconoce que la muestra no es normal. Además, los tests de normalidad al estimar el valor-p se puede reconocer si se supera el valor de significancia y si deben analizarse los datos con una diferencia de medias o medianas. Cuando se tiene una distribución normal de los datos, se evalúa la diferencia de medias por medio del t-test y en caso de no ser una distribución normal, se hace la versión no paramétrica del t-test, la Prueba U de Mann-Whitney.

La hipótesis nula del test Mann-Whitney señala que no existe diferencia entre las medias, por lo tanto, al ser el valor-p mayor que el nivel de significancia, no existe asociación estadísticamente significativa entre las variables analizadas. Si los datos se distribuyen normalmente se puede emplear el t-test.

3.1.2 Ejecución de la guía en la zona de estudio

3.1.2.1 Definición de macro-celdas

De acuerdo con la metodología seleccionada, el primer paso fue identificar los puntos en la cara de playa correspondiente a los acantilados y salientes en la zona de estudio. Luego de la revisión bibliográfica y la exploración por GoogleEarth Pro se definieron los límites longitudinales y se reconocieron cinco macro-celdas; una de ellas se encuentra en el límite

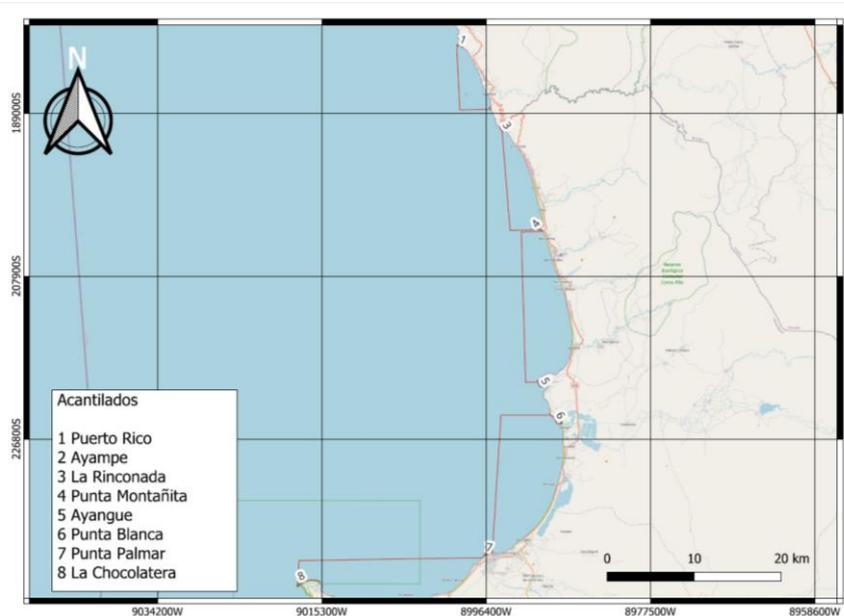
de Manabí con Santa Elena y las otras cuatro en la provincia de Santa Elena. Los acantilados y salientes se señalan en la leyenda del mapa según sus ubicaciones.

El alcance de los resultados de esta investigación, debido a la extensión de la zona de estudio A y las limitaciones de transportación y tiempo, se basan en los hallazgos previos de otros autores para comentar sobre la circulación de los sedimentos y las variables que influyen sobre su dirección.

Se realiza una descripción basada en los hallazgos de los trabajos de Vera et. al. (2009), Cedeño & Méndez (2022), Galarza & Mera (2021), Portilla & Coello (2022). Además, los límites onshore y offshore por limitaciones de tiempo y recursos no fueron definidos, sin embargo, se propone la metodología para su delimitación en el capítulo 3.

Figura 9.

Mapa de Macro-celdas



3.1.2.1.1 Macro-Celda 1.

Puerto Rico – Ayampe

Las salientes que limitan esta zona se denominan punto 1: La Cabezona y punto 2: Punta Blanca. Las salientes tienen estos nombres de acuerdo con la información recopilada del GeoPortal del Instituto Geográfico Militar. El primer punto pertenece a la provincia de

Manabí, parroquia Salango y la información recopilada de esta saliente fue escasa; la denominaremos Puerto Rico, ya que se encuentra cercano a la comuna de Puerto Rico. Mientras que, para el segundo punto, según GeoPortal se ha denominado Punta Blanca, para este se usará el nombre referencial "Ayampe" al ser la comuna cercana a esta zona.

En esta segunda saliente, los acantilados son altos y continuados en ascenso por una pendiente que supera los 110m de altura. Están modelados en roca volcánica (basalto); la zona que conecta la base de los acantilados con la plataforma de abrasión se caracteriza por tener depósitos de playas permanentes hechas de arena gruesa. Estas áreas elevadas, conocidas como "bermas", están compuestas por sedimentos considerablemente más grandes, como gravilla, grava y guijarros (Cedeño & Méndez, 2022).

Según Vera et. al. (2009), el 8 de mayo del 2008, las velocidades máximas de las corrientes superficiales obtenidas son de 0.73 m/s en flujo y 0.42 m/s en reflujo, mientras que la dirección es hacia el noroeste tanto para flujo como para reflujo. Esto podría indicar un movimiento ascendente de los sedimentos, referente al norte geográfico.

3.1.2.1.2 Macro-Celda 2.

La Rinconada – Punta Montañita

En el punto 1 La Rinconada, los acantilados tienen 25m de altura aproximadamente y su plataforma de abrasión es de superficie extensa mostrando el retroceso de estos. Están constituidos por lutitas y nichos de abrasión al pie de los acantilados, sin embargo, la extensa plataforma de abrasión de superficie disminuye los efectos erosivos del oleaje.

El punto 2 se ha denominado como punta Montañita, sin embargo, los acantilados en esta zona corresponden a los puntos más cercanos a Olón. En esta zona los acantilados superan los 80m de altura y están constituidos por areniscas; la hidrodinámica controla el retroceso de los acantilados, sin embargo, la cobertura vegetal en las zonas altas provee estabilidad en la pendiente (Cedeño & Méndez, 2022).

Se toma como referente las velocidades máximas de corriente en La Entrada para La Rinconada, donde se tuvieron 0.22 m/s en flujo y 0.11 m/s en reflujo. Durante el flujo, las direcciones observadas fueron hacia el noroeste, mientras que durante el reflujo fueron hacia el suroeste. El transporte de sedimentos, por lo tanto, tiene un comportamiento variable en esta zona y se recomienda realizar el seguimiento de esta tendencia. De acuerdo con la investigación de Vera, Lucero & Mindiola (2009) en el punto Montañita se registraron velocidades máximas de 0.35 m/s para el flujo y 0.19 m/s para el reflujo. Las velocidades promedio oscilaron entre 0.05 y 0.18 m/s. Estos flujos y reflujos presentaron una tendencia general hacia el sureste durante el periodo de mediciones.

3.1.2.1.3 Macro-Celda 3.

Punta Montañita – Ayangue

Los acantilados para el punto Montañita se describieron previamente. Mientras que, para el punto 2 Ayangue, se distinguen acantilados de alturas menores a 25m conformados por areniscas bien cementadas. El oleaje es de altura moderada para esta zona por lo que su proceso erosivo es moderado, sin embargo, existen ciertos complejos turísticos ubicados en la cima expuestos a la caída de bloques de roca y escarpes (Cedeño & Méndez, 2022).

Las velocidades de las corrientes alcanzan velocidades alrededor de 0.062 m/s en el punto Ayangue con dirección al noreste, provocando un potencial transporte de sedimentos en esa dirección (Galarza & Mera, 2021). Entre los puntos Montañita y Ayangue hay diferentes direcciones de corrientes por la naturaleza de su morfología, por lo tanto, se recomienda actualizar los datos sobre las velocidad y dirección de corriente para reconocer la dirección del transporte de sedimentos.

3.1.2.1.4 Macro-Celda 4.

Ayangue – Punta Blanca

Los acantilados en la zona de Punta Blanca son bajos con alturas de 10-15m, su material se compone de arenas gruesas, gravas y guijarros. Su inestabilidad depende del

peso de la infraestructura y los nichos de abrasión, reflejando una tasa de erosión moderada. Las corrientes de punta Blanca mantienen magnitudes máximas de 0.20 m/s en flujo y 0.15 m/s en reflujos, ambas con dirección al este. Con respecto a estos dos puntos, el transporte de sedimento se encontraría movilizándose hacia el noroeste. Para ser concluyente sobre esto debería realizarse estudios actualizados de corrientes (Vera S., Lucero, & Mindiola, 2009).

3.1.2.1.5 Macro-Celda 5.

Punta Blanca – La Chokolatera

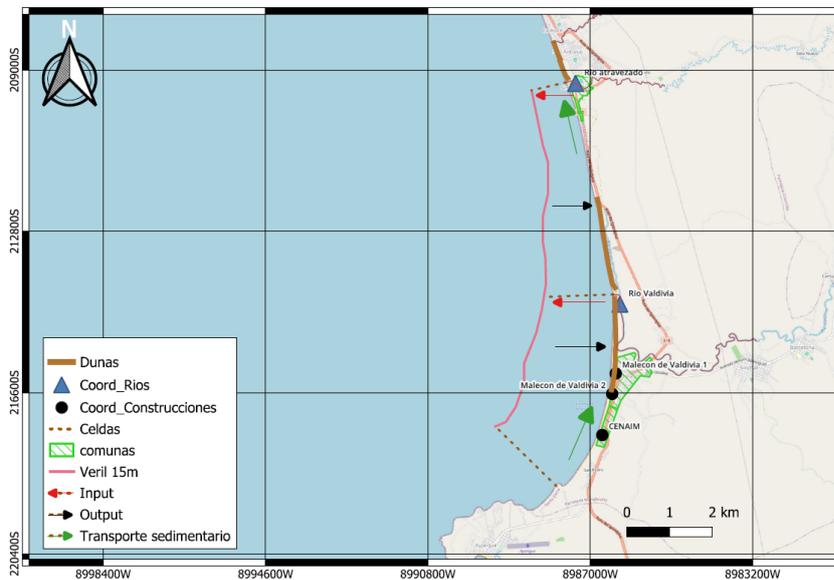
Los acantilados de La Chokolatera son medianos con alturas entre 10m y 15m, con una plataforma de abrasión irregular y geoformas compuestas de material conglomeráticos. El oleaje tiene alta energía erosiva. Las velocidades de corrientes alcanzadas en esta zona son de 0.24 m/s con dirección noroeste, el transporte de sedimentos podría estar yéndose hacia esta dirección también y el mayor aporte viene de los acantilados en este punto (Portilla & Coello, 2022).

3.1.2.2 Definición de subceldas

Luego de reconocer los distintos componentes dentro de las celdas, además de identificar los límites longitudinales y transversales se presenta a continuación el resultado de la definición de las sub-celdas entre Libertador Bolívar y San Pedro.

Figura 10.

Mapa de Sub-celdas



3.1.2.2.1 Sub-Celda 3.1.

Río Libertador Bolívar – Río Valdivia

De acuerdo con los criterios dispuestos en la sección 2.2.2, se identificaron los puntos en la cara de playa como límites longitudinales, al límite dunar identificado en el trabajo de Chicaiza (2023) como límite onshore y el punto de máximo transporte de sedimentos en la isóbata de 15m correspondiente al límite offshore propuesto por Nativí & Quinga (2019).

Para esta sección de playa no se encontraron construcciones transversales a la línea de costa o salientes que podrían ocasionar un potencial punto de divergencia o convergencia de sedimentos, por lo cual, se escogieron a las desembocaduras de los ríos identificados en esta zona como límites en la cara de la playa. Al ser estos puntos potenciales de ingreso de sedimentos al sistema, existirá una divergencia de sedimentos cuando el caudal del río aumente, o una convergencia si el caudal disminuye. Para ser concluyente respecto al comportamiento de los sedimentos en estos puntos se sugiere la metodología adjunta en el capítulo 3 para la identificación de sedimentos aportados por ríos.

Por medio del sobrevuelo del dron se validaron los puntos definidos como límites de la celda y se caracterizó la celda; a continuación, se describen los resultados de la observación e identificación realizada en campo. Si bien la caracterización es cualitativa, el estudio de material de playa se realizó a partir del análisis granulométrico de la zona.

Tabla 22.

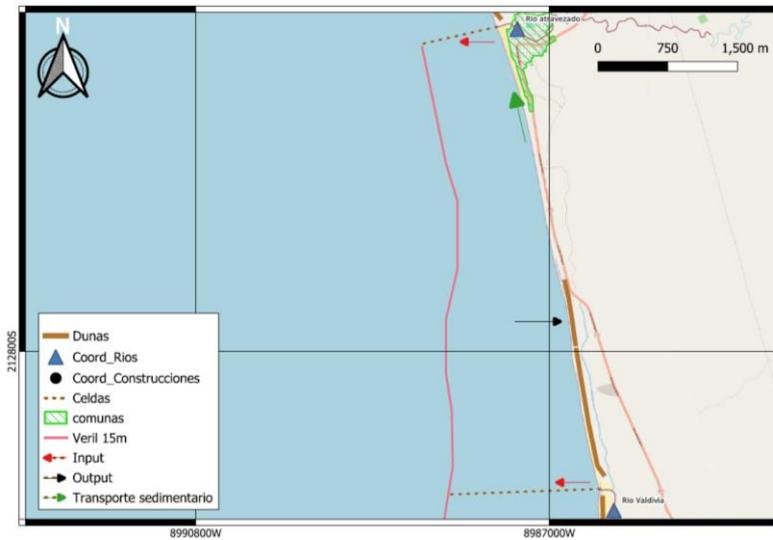
Caracterización cualitativa Sub-Celda 3.1

Coordenadas de la celda litoral (°)				Rasgos morfológicos relevantes	
Final		Inicio			
Este(UTMX)	Norte (UTMY):	Este(UTMX)	Norte (UTMY):	Tombolo:	No
529378.90	9792217.70	530372.90	9787404.20	Bajos:	No
Identificador de la celda:				Barra:	Si
Subcelda 1				Arrecife:	No
Características físicas de la playa:				Deltas:	No
Ancho aprox (m)		Longitud aprox (m)		Fuentes:	Si
0.08 km		4.94km			
Material de playa:				Aflora de agua:	No
Rocosa:		No		Aflora rocosos:	1
Mixta:		No		Semitombolo:	No
Granular:		Si			
Forma de la playa:				Estructuras sobre la línea de playa: Si	
Rectilínea:		Si		Perpendicular:	No
Semirectilínea:		No		Adyacente:	Si
Encajada:		No		Tipo:	Malecón
No. De salientes:		1		Cambios evidentes por estructuras: No	
Tipo de saliente:		Natural		Edificaciones:	Si
				Uso:	Servicios Turísticos

Nota: Tomado de Martínez, Silva, & Mendoza (2006), adaptado a los resultados de este estudio.

Figura 11.

Mapa de Sub-Celda 3.1



Análisis granulométrico.

La granulometría de los sedimentos de Libertador Bolívar se realizó a partir de la toma de muestras en tres diferentes zonas de la playa como referencia del cambio de sedimentos a lo largo del perfil de playa; se cubrió la zona alta (berma), media (intermareal) y baja (línea de agua). Luego estas se analizaron en el laboratorio para obtener la mediana (D50) como diámetro característico para conocer la distribución del tamaño del sedimento. Los resultados en este apartado podrían catalogar a la muestra de sedimentos como arena fina, gruesa o media bajo la clasificación de Udden-Wentworth (1922).

Para esto, se utilizaron las muestras recopiladas en campo el 15 de junio y 8 de diciembre del 2023, ambas como parte del muestreo regular que lleva CENAREC para esta zona. En este apartado se muestran los valores de D50 para ambas salidas, en cinco de las estaciones establecidas por CENAREC; las curvas granulométricas se adjuntan en el apéndice A.

Tabla 23. Resultados de análisis granulométrico en la Zona alta del perfil

Fecha	15 de junio 2023					
Estación	E1	PR1B	LIB1	LIB2	E0	Promedio
D50	0,222	0,238	0,192	0,2	0,245	0,219

Tabla 24.*Resultados de análisis granulométrico en la Zona alta del perfil*

Fecha	8 de diciembre 2023					
Estación	E1	PR2B	PR1B	E2	E0	Promedio
D50	0,216	0,195	0,193	0,202	0,225	0,206

Tabla 25.*Resultados de análisis granulométrico en la Zona media del perfil*

Fecha	15 de junio 2023					
Estación	E1	PR1B	LIB1	LIB2	E0	Promedio
D50	0,239	0,217	0,195	0,195	0,245	0,232

Tabla 26.*Resultados de análisis granulométrico en la Zona media del perfil*

Fecha	8 de diciembre 2023					
Estación	E1	PR2B	PR1B	E2	E0	Promedio
D50	0,221	0,189	0,207	0,206	0,241	0,212

Tabla 27.*Resultados de análisis granulométrico en la Zona baja del perfil*

Fecha	15 de junio 2023					
Estación	E1	PR1B	LIB1	LIB2	E0	Promedio
D50	0,208	0,202	0,199	0,237	0,179	0,205

Tabla 28.*Resultados de análisis granulométrico en la Zona baja del perfil*

Fecha	8 de diciembre 2023					
Estación	E1	PR2B	PR1B	E2	E0	Promedio
D50	0,211	0,206	0,345	0,198	0,337	0,259

Se realizó el promedio de los valores encontrados entre las muestras de la misma zona para cada una de las estaciones, esto con el objetivo de comparar los posibles cambios.

Tabla 29.*Promedio de D50 del grano*

Zona	15-jun(mm)	8-dic (mm)
alta	0,219	0,206
media	0,232	0,212
baja	0,205	0,259

El promedio de estos valores fue 0,222 mm, dentro de la tabla de clasificación de Udden-Wentworth (1922), se clasifica dentro de arenas finas, pero se acerca al límite de arenas con granos medianos.

Transporte sedimentario

El cálculo del transporte sedimentario se realizó analizando la base de datos de la plataforma OLÉ, en esta se encuentran las variables requeridas para obtener los valores de transporte para los años 2017, 2018, 2019 y 2023. De esta base se tomaron los valores de altura significativa del oleaje, periodo pico, pendiente de la playa, ángulo del oleaje en la rompiente y para el D50 se utilizó el valor obtenido del promedio del análisis granulométrico, el cual resultó en 0,222 mm.

Se analizó el transporte para la temporada seca y lluviosa, durante sicigia o cuadratura. Sin embargo, los datos recopilados se utilizaron para hacer un cálculo de transporte anual, por lo que se promedió el transporte de cada estación para reconocer las diferencias anuales en la estimación de transporte, esto se señala en la tabla 17. Los espacios vacíos corresponden a los periodos donde no se realizaron mediciones por lo que no se cuenta con estos datos dentro de la base.

Tabla 30.

Transporte de sedimentos Libertador Bolívar

Época	Lluviosa		Seca		
	Fase lunar	Sicigia [m3/yr]	Cuadratura [m3/yr]	Sicigia [m3/yr]	Cuadratura [m3/yr]
2017		55429	18692	-	-
2018		-	-	23695	49757
2019		-	-	26639	48988
2023		-	-	25085	-

3.1.2.1.3 Análisis de la circulación de sedimentos.

El transporte de sedimentos calculado para el año 2017 reflejó que durante los periodos de sicigia existió una tasa mayor de transporte anual con un valor de 55429 m3/yr

en comparación con los períodos de cuadratura del mismo año, donde se aprecia una tasa de 18692 m³/yr. Se presume que los cambios de volumen se deben a que hay una altura de oleaje mayor en sicigia, que en cuadratura. Por otra parte, el transporte para sicigia en los años 2018 y 2019 fue menor que durante la cuadratura.

Este cálculo es realizado para zonas donde existe un transporte ininterrumpido de sedimentos por estructuras de protección costera (Hooke, Bray, & Carter, 1996) Sin embargo, debe considerarse al malecón de Libertador Bolívar y su influencia sobre el transporte para futuros estudios.

Corriente litoral

La corriente litoral también se recopiló de las mediciones realizadas en campo y se promediaron los valores para sicigia y cuadratura que existieron para los años 2017, 2018, 2019 y 2023, señalados en la tabla 18. Además, por medio del derivador empleado en campo se concluyó la dirección de la corriente, misma que predominó hacia la derecha referente a la ortogonal de la playa y hacia el noroeste, en referencia al norte geográfico.

Al igual que el transporte sedimentario, los espacios vacíos corresponden a los periodos donde no se realizaron mediciones por lo que no se cuenta con estos datos dentro de la base.

Tabla 31.

Corriente litoral Libertador Bolívar

	Lluviosa		Seca	
	Sicigia [m/s]	Cuadratura [m/s]	Sicigia [m/s]	Cuadratura [m/s]
2017	0,27	0,29	-	-
2018	-	-	0,33	0,32
2019	-	-	0,30	0,29
2023	-	-	0,45	-

Se puede observar de la tabla 18 que la velocidad de la corriente litoral, durante los años 2017, 2018 y 2019, en sicigia y cuadratura no difirieron demasiado entre sí. Sin embargo, se aprecia una velocidad de corriente menor para el año 2017 durante época

lluviosa, en comparación con los valores del 2018 y 2019 durante época seca. Para el 2023 no se puede realizar este análisis ya que no existen mediciones para el período de cuadratura. A pesar de la obtención de estos valores para corriente litoral, deben realizarse seguimientos periódicos para definir las diferencias entre cada fase de marea, las épocas seca y lluviosa, con una base de datos más extensa.

3.1.2.2.2 Sub-Celda 3.2.

Río Valdivia – Los piedreros

La delimitación de la celda se realizó a partir de las características en la cara de la playa, en esta se encontró al Río Valdivia como límite final de la sub-celda previa, actuando como límite para la siguiente y la saliente observada en los Piedreros como límite final de la celda. De igual forma, los límites onshore y offshore se aplicaron de acuerdo a los estudios de Chicaiza (2023) y Nativí & Quinga (2019).

Para esta sección de playa no se encontraron construcciones transversales que pudiesen estar modificando la línea de costa, sin embargo, se tienen construcciones adyacentes como el Malecón de Valdivia. Infraestructuras como estas deben ser evaluadas para reconocer su impacto en el comportamiento de los sedimentos a largo plazo.

Tabla 32.

Caracterización cualitativa de la Sub-Celda 3.2

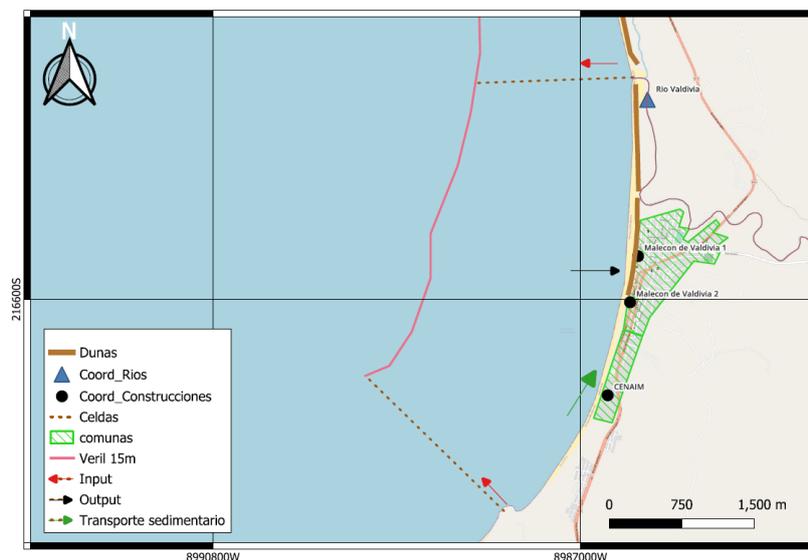
Coordenadas de la celda litoral (°)				Rasgos morfológicos relevantes	
Final		Inicio			
Este(UTMX)	Norte (UTMY):	Este(UTMX)	Norte (UTMY):	Tombolo:	No
526361.10	9782275.80	530372.90	9787314.50	Bajos:	No
Identificador de la celda:				Barra:	Si
Subcelda 1				Arrecife:	No
Características físicas de la playa				Deltas:	No
Ancho aprox (m)		Longitud aprox (m)		Fuentes:	Si
0.08 km		11.64 km			
Material de playa				Aflora de agua:	No
Rocosa:		No		Aflora rocosos:	Si
Mixta:		No		Semitombolo:	No
Granular:		Si			

Forma de la playa		Estructuras sobre la línea de playa: Si	
Rectilínea:	No	Perpendicular:	No
Semirectilínea:	Si	Adyacente:	Si
Encajada:	No	Tipo:	Enrocado CENAIM/ Malecón
No. De salientes:	1	Cambios evidentes por estructuras:	No
Tipo de saliente:	Natural	Edificaciones:	Si
		Uso:	Servicios Turísticos

Nota: Tomado de Martínez, Silva, & Mendoza (2006), adaptado a los resultados de este estudio.

Figura 12.

Mapa de Sub-Celda 3.2



Análisis granulométrico

Los resultados del análisis granulométrico mostraron que existen arenas con valores entre 0.17- 0.25, las cuales entran en la categoría entre arenas finas y medianas.

Tabla 33.

Análisis granulométrico Sub-Celda 3.2

Fecha: 15 de diciembre 2023			
Estación	E2	E3	Promedio
Alta	0,221	0,258	0,239
Media	0,217	0,234	0,225

Baja	0,179	0,196	0,187
-------------	-------	-------	-------

Transporte sedimentario

El cálculo de transporte se hizo a partir de la fórmula de Kamphuis (1991) y se utilizaron los datos recogidos por CENAREC en el presente año desde el mes de julio. El análisis se realizó para las estaciones 2 y 3. Las salidas de campo fueron un total de 11, sin embargo, para realizar el cálculo se emplearon los datos de las 10 primeras ya que todas estas mediciones se realizaron durante sicigia en época seca por lo que las variables como altura significativa, periodo, pendiente de playa y dirección de oleaje se promediaron para obtener un cálculo de transporte de sedimentos desde el mes de julio hasta noviembre; para el valor del D50 se empleó el valor promedio de las dos estaciones muestreadas 0,21 mm, resultado del análisis granulométrico. Se resumen los resultados de cada variable en la tabla 21 para la estación 2 y la tabla 22 para la estación 3.

Tabla 34.

Variables Estación 2

Hsbr	Tp	Mb	D50	alfab	Qvol
0,47	18,91	0,06	0,21	292,85	204621,64

Tabla 35.

Variables Estación 3

Hsbr	Tp	Mb	D50	alfab	Qvol
0,44	21,37	0,07	0,21	295,35	56866,54

Análisis de la circulación de sedimentos

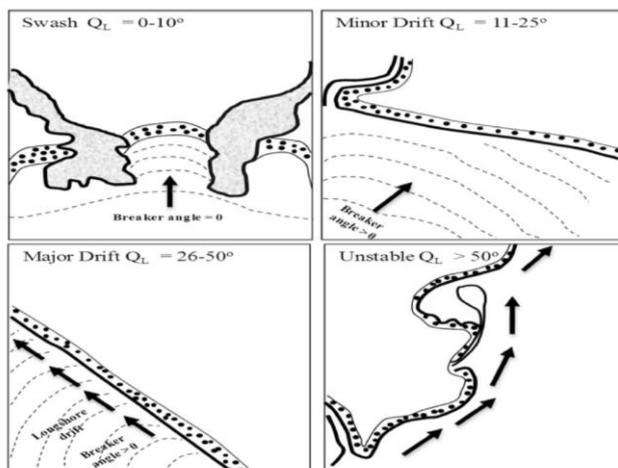
De acuerdo con la teoría, si existe un ángulo de aproximación del oleaje casi paralelo a la costa, la deriva litoral será mayor comparado con un oleaje que llegue perpendicular a la costa (Ramesh, Purvaja, Rajakumari, & Suganya, 2021). Bajo esta premisa, se comparó el transporte longitudinal que ocurrió en las estaciones 2 y 3 de San Pedro. Para la estación 2 se calculó el transporte litoral dando como resultado una tasa de 204621,64 m³/yr, mientras, en la estación 3 existe una tasa menor de 56866,54 m³/yr. Si consideramos que estos puntos

tienen la misma inclinación de playa, el principio del ángulo con el que llega el oleaje se cumple, puesto que el menor ángulo lo percibe la estación 2 con 292.85° acercándose más a la dirección de inclinación de la playa. Por otra parte, la estación 3 recibe un ángulo de oleaje de $295,35^\circ$.

A través del análisis de la fórmula de Kamphuis y cuanto cambiaba el valor del transporte según se aumentaban o disminuían los parámetros de altura, pendiente, periodo y D50, esta se mostró más sensible al ángulo con que llega el oleaje provocando cambios significativos en el valor de la tasa de transporte de sedimentos.

Figura 13.

Ángulo de aproximación del oleaje y clasificación de la costa



Nota: Imagen tomada de Ramesh, Purvaja, Rajakumari, & Suganya (2021)

Corriente litoral

Para interpretar la dirección del sedimento resulta necesario conocer la corriente litoral; esta se calculó a partir de las mediciones realizadas en las diferentes salidas de campo y se obtuvieron valores promedio. Además, la dirección de la corriente se caracterizó por medio de un derivador durante las diferentes mediciones, dando como resultado un valor de 0.15 m/s en la estación 2 y $0,22 \text{ m/s}$ en la estación 3, con dirección hacia la derecha respecto a un observador perpendicular a la playa y noreste respecto al norte geográfico.

3.1.3 Análisis estadístico del transporte sedimentario

La base de datos utilizada para este análisis se obtuvo de las mediciones en la zona de Libertador Bolívar ya que se contaba con mayor información que en San Pedro. El objetivo de este análisis es comparar si el transporte sedimentario (variable cuantitativa) calculado por medio de la fórmula de Kamphuis tuvo diferencias significativas durante los periodos de invierno y verano, y en los periodos de sicigia y cuadratura (variables dicotómicas).

Como se muestra en la sección de resultados 17 se obtuvieron valores en los años 2017, 2018, 2019 y 2023 para el transporte sedimentario. Sin embargo, la base de datos tiene varios espacios no cubiertos ya que no se obtuvo información en esos periodos; se presume que, por ello, los resultados podrían resultar no tan fiables.

Además, se realizaron comparaciones sobre las diferencias de las variables altura significativa (H_s), el período pico (T_p) y la dirección del oleaje (α) obtenidos mediante el monitoreo de características litorales, esto con el propósito de analizar cómo cambian las variables según la fase lunar y la época del año.

Según el tipo de distribución de cada variable se utiliza el Test de diferencia de medias (Variables con Distribución Normal) o el Test U de Mann-Whitney (Variables con Distribución No Normal). El objetivo de este paso es definir si existe una diferencia entre una variable cuantitativa y las categorías de una variable dicotómica. Por ejemplo: ¿La época del año incide sobre la H_s y en qué medida?

Análisis de Normalidad

Para cada una de las variables cuantitativas (H_s , T_p , α y Q_s) se evaluó la normalidad mediante un gráfico de histogramas y tres pruebas de normalidad: Test Shapiro-Wilk, Shapiro Francia y Kolmogorov-Smirnov.

Los histogramas se muestran a continuación.

Figura 14.

Altura significativa de ola

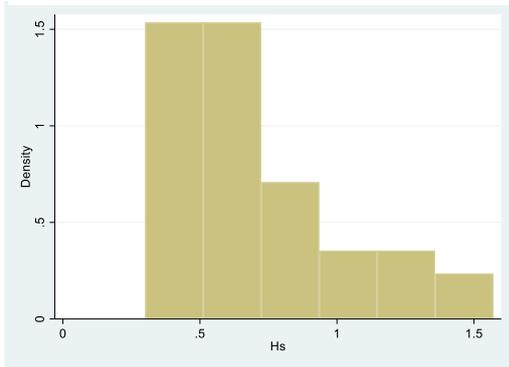


Figura 15.

Período pico de ola

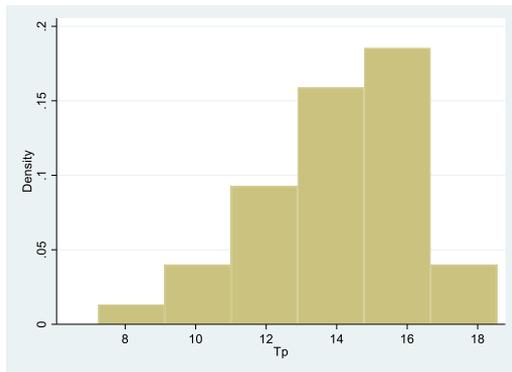


Figura 17.

Dirección de la ola

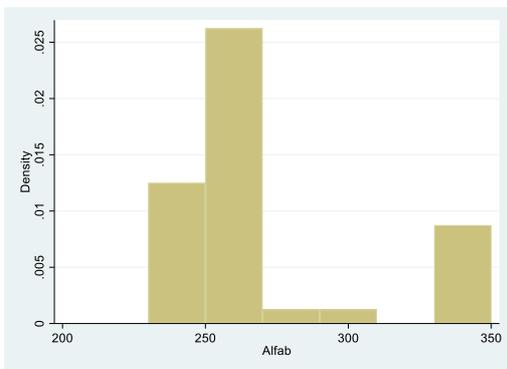
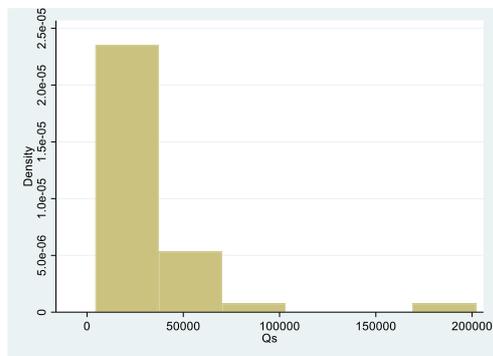


Figura 16.

Transporte sedimentario



Los Histogramas de frecuencias muestran que las variables Hs, Alfab y Qs están sesgadas a la izquierda, mientras que la variable Tp es simétrica.

La siguiente tabla detalla las pruebas de normalidad realizadas a las variables antes mencionadas.

Tabla 36.

Resumen Tests de Normalidad.

	Valor p		
	Kolmogorov-Smirnov	Test Shapiro-Wilk	Shapiro-Francia
Hs	0,0138	0,00119	0,00267
Tp	0,0442	0,11111	0,06279
Alfab	0,0047	0,00000	0,00001

Qs	0,0000	0,00000	0,00001
----	--------	---------	---------

La hipótesis nula de cada prueba indica que la muestra proviene de una población normalmente distribuida, al estimar el valor-p en solo en la variable Tp se supera el nivel de significancia de 0,05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y añadido al análisis gráfico, en donde se observa que los datos están sesgados, se concluyó que en las variables Hs, Alfab y Qs los datos no se ajustan a una distribución normal. A su vez la distribución de la variable Tp se ajusta a una distribución normal.

Diferencia de medianas

Para entender la relación entre las variables dicotómicas (Fase Lunar y Epoca) y la las variables Hs, Alfab y Qs se debería realizar un análisis de diferencia de medias, sin embargo, al conocer por los test realizados que estas no se ajustan a una distribución normal, la diferencia de medias utilizando el t-test no es la prueba adecuada para determinar si existe una diferencia significativa entre los subgrupos de las variables dicotómicas y las variables Hs, Alfab y Qs. En su lugar se realizó la Prueba U de Mann-Whitney, que es la versión no paramétrica del t-test. Esta prueba permite determinar si existe una relación entre los resultados de una variable cuantitativa y las categorías de una variable dicotómica.

Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 37.

Test de Mann-Whitney

	Valor p	
	Fase Lunar	Epoca
Hs	0,8315	0,8727
Alfab	0,2682	0,2492
Qs	1,0000	0,7540

La hipótesis nula del test Mann-Whitney señaló que no existe diferencia entre las medias, por lo tanto, al ser el valor-p mayor que el nivel de significancia, no existe asociación estadísticamente significativa entre las variables analizadas.

Adicionalmente, debido a que sus datos se distribuyen normalmente se puede utilizar el t-test para la variable Tp. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 38.

T-test de Tp

	Valor p	
	Fase Lunar	Epoca
Tp	0,3449	0,3130

Correlación

Para conocer como para evaluar si existe una relación estadísticamente significativa entre dos conjuntos de datos numéricos, se realiza una correlación de Pearson entre las variables Hs, Tp y Alfab vs Qs. Por medio de esta podemos analizar la correlación lineal entre las variables analizadas.

A continuación, se muestran los gráficos de dispersión entre las variables cuantitativas: Hs, Tp, Alfab y Qs.

Figura 18.

Correlación Hs v Qs

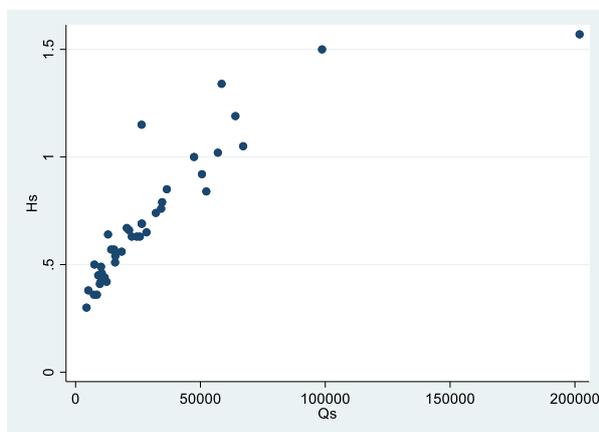


Figura 20.

Correlación Tp vs Qs

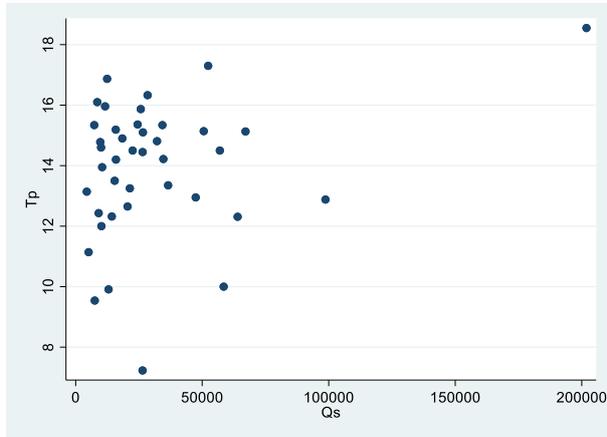
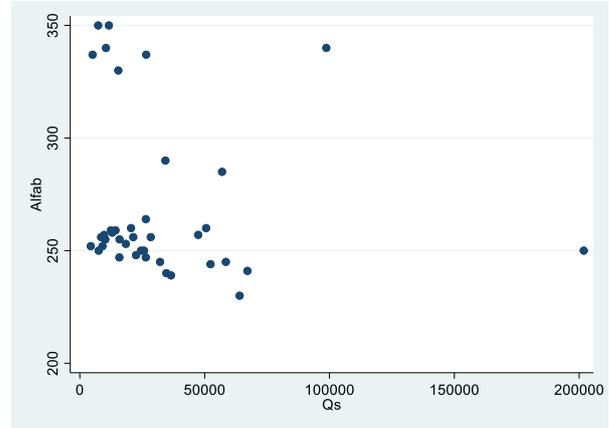


Figura 19.

Correlación Alfab vs Qs



Por último, se detalla las correlaciones antes mostradas en la siguiente matriz de correlación.

Tabla 39.

Matriz de Correlación

	Hs	Tp	Alfab	Qs
Hs	1			
Tp	-0,0893	1		
Alfab	-0,1677	0,0624	1	
Qs	0,8547	0,2789	-0,1179	1

3.2 Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio ofrecen una perspectiva ilustrativa sobre la dinámica sedimentaria dentro de un nivel macro en el litoral ecuatoriano. Si bien no se logró validar el primer marco de macro-celdas identificadas, se logró evaluar en campo las sub-celdas como unidades menores donde también existe una circulación de sedimentos importante para la gestión costera y el ordenamiento territorial de las comunidades aledañas.

El análisis de las variables cuantitativas y cualitativas para este proyecto permitieron realizar un acercamiento al estado morfodinámico de las playas consideradas dentro de la investigación y los potenciales agentes causantes de su modificación. Siguiendo los trabajos de varios autores (Goodwin, Ribó, & Mortlock, 2020; Cowell, y otros, 2000); Montreuil, 2012) estos eventos se desarrollan a distintas escalas de tiempo, por ejemplo, la modificación del perfil de playa que puede suceder en la variación de un año respecto a las temporadas de invierno y verano, o los cambios de marea que pueden suceder en el período de un mes.

Se concentraron los esfuerzos de este trabajo en el reconocimiento de tres puntos críticos para delimitar una celda sedimentaria, los límites longitudinales, transversales y el transporte longitudinal de los sedimentos, de acuerdo con los estudios de Bray, Carter, & Hooke (1995) y Stul T. (2015) en las costas de Inglaterra y Australia respectivamente.

Los límites longitudinales fueron reconocidos a partir de los acantilados y desembocaduras de ríos, el límite transversal costa adentro se definió por medio de las dunas y el límite transversal costa afuera a partir de la profundidad de máximo transporte de sedimentos. Además, como vía principal de transporte, a la corriente litoral longitudinal.

Por medio de estos hallazgos se logra diseñar una guía que combina la fotointerpretación de estos límites y el análisis estadístico del transporte sedimentario, para la definición de celdas sedimentarias. La aplicación de celdas sedimentarias ha funcionado como herramienta para el manejo costero sedimentario (Khalil, Finkl, Roberts, & Raynie, 2010; Randazzo, 2011; Khalil & Finkl, 2009). Lo que implica tener una relación directa con los sectores interesados en el desarrollo económico e integral de la zona costera para planificar el desarrollo sostenible, gestionar riesgos naturales, promover el turismo y la recreación, así como para diseñar infraestructuras portuarias.

Lo que se espera entender de la dinámica sedimentaria, además de los cambios que tienen para los diversos elementos del ecosistema, es comprender el nivel de actuación que

debe haber para promover comunidades resilientes a los cambios temporales, resultado de la dinámica costera y prever estos cambios.

Distintos países como Australia (Thom & Eliot, 2018), Inglaterra (Hooke, Bray, & Carter, 1996), Escocia (Hansom, Lees, McGlashan, & Jhon, 2004), Italia (Anfuso, Martínez-del-Pozo, & Rangel-Buitrago, 2013), Brasil (Mazzer, Souza, & Dillenburg, 2009), India (Ramesh, Purvaja, Rajakumari, & Suganya, 2021), Países Bajos (Mulder, 2011), han adoptado este instrumento dentro de sus planes de manejo costero con la intención de disminuir la rigidización de la costa resultado de la ingeniería dura para la defensa costera. Algunos de estos forman parte del marco europeo para manejo de los recursos costeros, quienes fomentan la restauración del balance sedimentario y la promoción de espacios para el desarrollo de los procesos costeros de forma natural (Mulder, 2011).

Los países mencionados enfrentaron dificultades de origen antropogénico o natural, por lo que el medio de intervención menos disruptivo para el ecosistema, resultó del monitoreo de las reservas de sedimento y el conocimiento de estos patrones de acumulación de sedimentos identificados dentro de las celdas litorales para la aplicación de técnicas de recuperación de playa (Pranzini, 2020). Los sistemas costeros poseen un equilibrio dinámico en donde todos sus elementos y procesos son fundamentales para la protección de la línea costera contra la erosión y eventos extremos (Davidson-Arnott, 2010).

Si se comparan los resultados de este estudio con los resultados previamente, se evidencia que el Ecuador se enfrenta a un extenso itinerario en materia de gestión de los sedimentos costeros, sin embargo, varios hallazgos se destacan de este. La identificación de macro-celdas amplía la percepción de la costa en un marco geomorfológico de evolución a largo plazo de los sistemas terrestres y costeros. Aunque sucedan a grandes escalas de tiempo, estos cambios representan tendencias generales en la gestión costera de las sub-celdas.

Por otra parte, las sub-celdas, como compartimentos más sensibles a los cambios temporales en escalas de días a años, son útiles para el reconocimiento de patrones erosivos en el corto y mediano plazo. Proveyendo un mayor margen de actuación sobre medidas de mitigación u ordenamiento territorial de ser necesarias. Además, su aplicación puede incluirse dentro del manejo costero, unificando diversos actores, como comunas y Gobiernos Autónomos Descentralizados. En este caso, las sub-celdas identificadas entre Libertador Bolívar y San Pedro, comparten parte de su zona de playa, por lo que deberían administrar el monitoreo de estas celdas de manera conjunta.

Se espera que estos subcompartimentos se relacionen con los compartimentos periféricos y estos también se encuentren interconectados con las celdas mayores. Por lo que resulta indispensable contar con un monitoreo constante de estas áreas para reconocer los puntos de mayor o menor sedimentación. Con el principal objetivo de desarrollar un plan de adecuada gestión para enfrentar los retos, no sólo debido a los procesos naturales que ocurren en esta zona, sino también, el cambio climático y fenómenos naturales como “El Niño” o “La Niña”.

En el Ecuador, estudios previos han identificado puntos de erosión en el perfil costero (Campos & Intriago, 2022; Andrade & Maquilón, 2019; Portilla & Coello, 2022; Briones & Lynch, 2020). Estos trabajos, si bien nos dan un acercamiento al problema, logran distinguir la cantidad erosionada y percibir los impactos sobre las comunidades costeras, omiten la evaluación de un balance sedimentario para comprender como ocurre la circulación de los sedimentos y si este comportamiento es parte de un ciclo que obedece a un patrón dependiente de la hidrodinámica y geomorfología de la zona.

El flujo de los sedimentos y sus mecanismos de movilización pueden analizarse a partir del concepto de celdas sedimentarias. Por eso resulta relevante aproximar estudios enfocados en estos compartimentos.

3.3 Análisis de costos

Para este apartado se consideraron los costos para la implementación de la guía metodológica de definición de macro-celdas y sub-celdas sedimentarias en su totalidad. En este resumen de costos se contemplan las diversas etapas llevadas a cabo descritas en la sección 3.1 de los resultados. A continuación, se resumen los costos por etapa; en el detalle de costos se incluye información relevante sobre el personal y los instrumentos requeridos para la ejecución de los estudios y monitoreo de las celdas identificadas. Para mayor información revisar el apéndice C donde se describen estos rubros.

Tabla 40.

Etapas para definición de macro-celdas

Etapas	Costo total
Identificar puntos en la cara de la playa	\$6.950
Identificar puntos offshore	\$11.900
Identificar puntos offshore	\$8.700
Definición de celdas	\$2.200
Total	\$29.750

Tabla 41.

Etapas para definición de Sub-Celdas

Etapas	Costo Total
Identificar puntos en la cara de la playa	\$6.450
Identificar puntos offshore	\$11.464
Identificar puntos onshore	\$5.512
Reconocimiento de potenciales inputs de sedimentos	\$8.820
Reconocimiento de potenciales outputs de sedimentos	\$8.516
Transporte de sedimentos	\$7.000
Conectar los puntos onshore y offshore	\$1.440
TOTAL	\$49.202

CAPÍTULO 4

4.1 Conclusiones

A partir de la revisión de los estudios de Bray et.al (1995), Stul T (2015), Anfuso G. (2004), Goodwin et. al (2020), Cooper & Pontee (2006), Martínez et.al (2006) en las regiones costeras de Inglaterra, Australia, España y México, donde se identificaron las celdas sedimentarias para la gestión costera, se logró adaptar el diseño de una metodología para el reconocimiento de los compartimentos sedimentarios en la costa del Ecuador.

Si bien estos trabajos emplearon diversas herramientas de análisis y contaban con bases de datos exhaustivas sobre los sistemas costeros, este proyecto alcanzó el reconocimiento de herramientas como imágenes satelitales, muestreo de sedimentos e imágenes tomadas con dron para la distinción de celdas litorales en dos áreas de estudio.

En la zona de estudio A, entre Salinas en la provincia de Santa Elena y punta “La Cabezona” cerca de la comuna Puerto Rico en la provincia de Manabí, se caracterizaron cinco celdas litorales basadas en el criterio de acantilados rocosos estables como puntos donde no hay un traspaso significativo de sedimentos. Siguiendo la interpretación por medio de imágenes satelitales y el estudio de Cedeño & Méndez (2022) se localizaron las macroceldas 1) Puerto Rico – Ayampe; 2) La Rinconada – Montañita; 3) Montañita – Ayangue; 4) Ayangue – Punta Blanca; 5) Punta Blanca – La Chokolatera.

Por otra parte, en la zona B, se identificaron dos subceldas entre la comuna Libertador Bolívar y San Pedro. Sus límites longitudinales fueron definidos por desembocaduras y acantilados como potenciales zonas donde divergen o convergen los sedimentos de acuerdo con Bray et.al (1995). La SubCelda 1 se definió entre el río “Atravesado” en la comuna Libertador Bolívar y el río “Valdivia” de la comuna Valdivia, mientras que, la SubCelda 2 se identificó entre el río “Valdivia” y la saliente en la zona de “Los Piedreros” en la comuna San Pedro.

La combinación de observación en campo y análisis de fotografías aéreas para delimitar celdas litorales resulta en el primer bosquejo de celdas en el borde costero. Este enfoque permite ampliar las opciones de reconocimiento en campo a partir de herramientas de teledetección.

Para ambas celdas se efectuó una validación en campo a través de la toma de muestras de sedimentos y evaluación de características litorales. Data que fue fundamental para el cálculo de transporte de sedimentos por medio de la fórmula de Kamphuis, dando como resultado un transporte sedimentario para la sub-celda 3.1 y la sub-celda 3.2 con dirección noreste y noroeste, respectivamente; ambos transportes ocurren hacia la derecha en referencia ortogonal a la playa.

Se logró alcanzar un análisis estadístico del transporte calculado para la sub-celda 3.1 y se encontró que las diferencias durante sicigia y cuadratura no fueron significativas (fase lunar), de la misma forma, para las temporadas seca y lluviosa. Los resultados son alentadores y sugieren que el análisis estadístico tiene una capacidad predictiva, adecuada para estudios estratégicos de la evolución de la línea costera regional.

Sin embargo, para concluir sobre la cantidad de sedimento transportado se requiere una base de datos más amplia; analizar los cambios según la fase de marea y la época del año en que se tomen las mediciones, junto al análisis del balance sedimentario considerando otros elementos aportantes de sedimentos dentro del sistema.

Por medio de las características litorales se logró obtener valores promedio de las corrientes litorales con valores entre 0,27 m/s y 0,45 m/s en la zona de Libertador Bolívar para los años 2017, 2018, 2019 y 2023. Mientras que, en San Pedro estos valores se encontraron entre 0,15 m/s y 0,22 m/s resultado de las mediciones realizadas por CENAREC durante los meses de julio a diciembre. En ambas zonas la corriente litoral fue predominante hacia la derecha por lo que se estima un transporte hacia la derecha.

A pesar del reconocimiento de la cantidad de sedimento movilizado y su dirección en estos períodos, resulta indispensable analizar mediciones más regulares durante las diferentes fases lunares y la época del año. Además, considerar los cambios de marea que ocurren mensualmente para identificar patrones de circulación de sedimentos durante estas transformaciones hidrodinámicas y ejecutar posteriores estudios sobre el comportamiento de las celdas durante eventos extremos. Para ser más concluyente sobre estos aspectos se requiere una base de datos más amplia que analice las características litorales y los cambios en el perfil de playa.

Finalmente, se comparte el diseño de una guía metodológica para la definición de las celdas sedimentarias. Esta herramienta proporciona un marco estructurado y sistemático para evaluar y categorizar las celdas, no contribuyendo solo al conocimiento científico para su comprensión, sino también aportando al alcance del objetivo de desarrollo sostenible 11 Ciudades y comunidades sostenibles. El cual propone entre sus metas la utilización efectiva de los recursos, la reducción de los impactos y adaptación al cambio climático (Naciones Unidas, 2024); de acuerdo con esta premisa los resultados de esta investigación también tienen el potencial de guiar estrategias y decisiones en la gestión sostenible de las zonas costeras.

4.2 Recomendaciones

Con la finalidad de reconocer los patrones de circulación de los sedimentos, se sugiere alimentar la base de datos sobre características litorales y la granulometría de los puntos límites de las celdas sedimentarias. Además, considerar establecer un seguimiento de las mediciones durante períodos donde el comportamiento del oleaje y las corrientes establezcan cambios en el perfil de playa, sean estos en invierno o verano.

Realizar estudios sobre el retroceso en la línea de costa dentro de las celdas litorales a partir de herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica para determinar las tasas de erosión de acantilados y estimar el aporte de sedimento en las celdas.

Herramientas como DSAS (Digital Shoreline Analysis system), que emplea imágenes satelitales para analizar la tasa de retroceso costero pueden ser utilizadas para este tipo de análisis.

Otra opción para reconocer el transporte de sedimentos es utilizar el módulo de Delft3D- Sediment Transport. Los resultados de este tipo de estudios resaltarían como ocurre la circulación de sedimentos y los agentes que lo movilizan. Así mismo, incluir la caracterización de las cuencas que desembocan en el perfil costero y cuantificar el aporte sedimentario fluvial a través de trampas sedimentarias o trazadores fluorescentes.

Si se precisan estos detalles, se alcanzaría a definir el balance sedimentario dentro de las celdas y visualizar como sucede el intercambio sedimentario entre ellas. Además, estimar las escalas de tiempo en que se evidencien cambios significativos en el perfil costero y prever erosiones que afecten a las comunidades cercanas.

Se sugiere socializar el conocimiento de las celdas sedimentarias con las comunas y los GAD Parroquiales, para fomentar la necesidad de estudiar estos sistemas costeros y anticipar estrategias ante el cambio climático y el aumento del nivel del mar por medio de encuestas y talleres participativos con todos los sectores interesados en el manejo de la costa.

BIBLIOGRAFÍA

- Agustín Sánchez-Arcilla, M. G.-L. (2016). Managing coastal environments under climate change: Pathways to adaptation. *Science of the Total Environment*.
- Allauca, S., & Cardin, V. (1987). Análisis de las olas en la costa central del Ecuador. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 1-7.
- Andrade, G., & Maquilón, B. (2019). Evaluación de diseños ingenieriles ante procesos erosivos costeros, utilizando modelos numéricos. *Tesis*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Anfuso, G. (2004). Caracterización de celdas litorales en un tramo costero aparentemente homogéneo del Litoral de Cádiz (SO De España). *Revista C&G*, 25-36.
- Anfuso, G., & Gracia, F.-J. (2005). Morphodynamic Characteristics and Short-Term Evolution of a Coastal Sector in SW Spain: Implications for Coastal Erosion Management. *Journal of Coastal Research*, 1139-1153.
- Anfuso, G., Martínez-del-Pozo, & Rangel-Buitrago, N. (2013). Morphological cells in the Ragusa littoral (Sicily, Italy). *J Coast Conserv.*
- Anfuso, G., Pranzini, E., & Vitale, G. (2011). An integrated approach to coastal erosion problems in northern Tuscany (Italy): Littoral morphological evolution and cell distribution. *Geomorphology*, 204-214.
- Aragonésa, Pagán, López, & Serra. (2019). Cross-shore sediment transport quantification on depth of closure calculation from profile surveys. *Coastal Engineering* , 64-77.
- Bravo, B. (2005). La importancia del mar, las costas y sus recursos en el Ecuador. *Monografía*.
- Bray, J. M. (1995). Coastal Groups, Littoral Cells, Policies and Plans in the UK. *The Royal Geographical Society*, 358-368.
- Bray, M., Carter, D., & Hooke, J. (1995). Littoral Cell Definition and Budgets for Central Southern England. *Journal of Coastal Research*, 381-400.
- Briones, V., & Lynch, J. (2020). Evaluación de alternativas para la protección costera frente a procesos erosivos utilizando MIKE 21. Caso de estudio: Libertador Bolívar. *Tesis*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Caiza, R., & Nativí, S. (2019). Evaluación y Modelamiento del Cambio de Línea de Costa en Condiciones Naturales y bajo Influencia de Obras de Protección Costera. Caso de Estudio: Libertador Bolívar, Santa Elena-Ecuador. *Proyecto Integrador* . Guayaquil , Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Campos, D., & Intriago, A. (2022). Análisis del cambio de la línea de costa en la playa El Murciélago-Manta durante el periodo 2006-2022. *Tesis*. Escuela Superior Politécnica del Litoral .
- Carter, Johnston, McKenna, & Orford. (1987). Sea-Level, Sediment Supply and coastal changes: Examples from the coast of Ireland. *Progress in Oceanography*.
- Cedeño, F., & Méndez, W. (2022). Acantilados litorales del Pacífico Sur de Ecuador (Provincia Santa Elena) como marcadores geomorfológicos de susceptibilidad a la erosión litoral. *Revista Geociencias* , 255-272.

- Chicaiza, S. (2023). Diseño de una metodología para la caracterización, clasificación y evaluación de dunas costeras en Ecuador. *Tesis*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Chrzastowski, M., Thompson, T. A., & Trask, C. B. (1994). Coastal Geomorphology and Littoral Cell Divisions along the Illinois-Indiana Coast of Lake Michigan. *Journal Great Lakes*, 27-43.
- Ciarletta, D. J., Shawler, J. L., Tenebruso, C., Hein, C. J., & Lorenzo-Trueba, J. (2019). Reconstructing Coastal Sediment Budgets From Beach- and Foredune-Ridge Morphology: A Coupled Field and Modeling Approach. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 1398-1416.
- Cicin-Sain, B. (1993). Sustainable Development and Integrated Coastal Management. *Ocean & Coastal Management*, 21, 11-43.
- CoastWa. (2005). Coastal Sediment Transport. *Coastal processes*. Department of Transport.
- Coca, O., & Ricaurte-Villota, C. (2022). Regional Patterns of Coastal Erosion and Sedimentation Derived from Spatial Autocorrelation Analysis: Pacific and Colombian Caribbean. *Coasts*, 125-151.
- Cooper, N. J., & Pethick, J. S. (2005). Sediment Budget Approach to Addressing Coastal Erosion Problems in St. Ouen's Bay, Jersey, Channel Islands. *Journal of Coastal Research*, 112-122.
- Cooper, N., & Pontee, N. (2006). Appraisal and evolution of the littoral 'sediment cell' concept in applied coastal management: experiences from England and Wales. *Ocean & Coastal Management*, 498-510.
- Córdova-López, L. F., & Torres-Hugues, R. (2011). Modelo matemático para la determinación del transporte longitudinal para playas del Caribe. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 127-140.
- Cowell, P. J., Niedorod, M. J., Swift, D. J., Vriend, H. J., Buijsman, M. C., Nicholls, R. J., . . . Boer, P. L. (2000). The Coastal-Tract (Part 2): Applications of Aggregated Modeling of Lower-order Coastal Change. *Journal of Coastal Research*, 828-248.
- Davidson-Arnott, R. (2010). *An Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.
- Elias, E., Barnard, P., & Brocatus, J. (2009). Littoral Transport Rates in the Santa Barbara Littoral Cell: A Process Based Model Analysis. *Journal of Coastal Research*, 2, 947-951.
- Eliot I, N. C. (2011). *Coastal Compartments of Western Australia Report to the Departments of Environment & Conservation, Planning and Transport*. Western Australia: Geological Survey of Western Australia and Department of Environment & Conservation.
- Fontolan, G., Bezzi, A., Martinucci, D., Pillon, S., Popesso, C., & Rizzetto, F. (2015). Sediment budget and management of the Veneto beaches, Italy: an application of the modified Littoral Cells Management System (SICELL). *Coastal and Maritime Mediterranean Conference*.

- Galarza, K., & Mera, Y. (2021). Caracterización oceanográfica aledaña a la Bahía de Ayangue, Santa Elena. Repoblación de ostras de roca (*Striostrea prismatica*) para el cultivo controlado. *Tesis de Grado*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Galarza, M., Navarro, M., & Zúñiga, K. (2009). Propuesta de creación de un Ecolodge & Spa, en la comuna Libertador Bolívar del cantón Santa Elena. *Tesis*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Goodwin, I. D., Ribó, M., & Mortlock, T. (2020). Coastal sediment compartments, wave climate and centennial-scale sediment budget. *Marine Climate Research Group, Department of Earth and Environmental Sciences*.
- Hansom, J. D., Lees, G., McGlashan, D., & Jhon, S. (2004). Shoreline Management Plans and Coastal Cells in Scotland. *Coastal Management*, 32(3), 227-242.
- Hooke, J. M., Bray, M. J., & Carter, D. J. (1996). Sediment transport analysis as a component of coastal management - a UK example. *Environmental Geology*, 27(4), 347-357. doi:doi:10.1007/bf00766704
- Inman, D. (2003). Littoral Cells. *Encyclopedia of Coastal Science*.
- Inman, D. L. (1994). Types of coastal zones: similarities and differences. *Environmental Science in the Coastal Zone*, 67-84.
- Inman, D. L., & Masters, P. M. (1991). *Coastal Sediment Transport Concepts and Mechanisms*. Los Angeles: U. S. Army Corps of Engineers.
- Instituto Geográfico Militar. (2024). *GeoPortal*. Obtenido de GeoPortal del Instituto Geográfico Militar - Ecuador: <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>
- Jiménez, G. S. (2020). Análisis situacional de los centros de turismo comunitario Valdivia y San Pedro. *Tesis de grado*. La Libertad, Ecuador: Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Kamphuis, J. (1991). Alongshore Sediment Transport Rate. *Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, 624-640.
- Kantamaneni, K. (2016). Counting the cost of coastal vulnerability. *Ocean & Coastal Management*, 155-169.
- Khalil, S. M., Finkl, C. W., Roberts, H. H., & Raynie, R. C. (2010). New Approaches to Sediment Management on the Inner Continental Shelf Offshore Coastal Louisiana. *Journal of Coastal Research*, 26(4), 591-604.
- Khalil, S., & Finkl, C. (2009). Regional Sediment Management Strategies for Coastal Restoration in Louisiana, USA. *Journal of Coastal Research*, 2, 1320-1324.
- Kobayashi, N. (2016). Coastal Sediment Transport Modeling for Engineering Applications. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*.
- Kolokythas, G. A., & Dimas, A. A. (26 de junio de 2016). Oblique Wave Breaking and Suspended Sediment Transport Over a Constant Slope Bed. *Proceedings of the Twenty-sixth (2016) International Ocean and Polar Engineering Conference*. Rhodes, Grecia.

- Kuroki, K., Goda, Y., Panin, N., Stanica, A., Diaconeasa, D. I., & Babu, G. (2006). Beach Erosion and Coastal Protection Plan Along the Southern Romanian Black Sea Shore. *Coastal Engineering* .
- Laïbi, R. A., Anthony, E. J., Almar, R., Castelle, B., Senechal, N., & Kestenare, E. (2014). Longshore drift cell development on the human-impacted Bight of Benin sand barrier coast, West Africa. *Journal of Coastal Research*, 78-83.
- Lee, E. M., & Brunnsden, D. (2001). Sediment budget analysis for coastal management, west Dorset. *Engineering Geology Special Publications*.
- Lim, C., Hsu, J. R., & Lee, J. L. (2022). MeePaSoL: A MATLAB-based GUI software tool for shoreline management. *Computers & Geosciences*.
- M. Schwartz, M. L. (2006). *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer.
- MAATE. (7 de agosto de 2018). *La Red de Áreas Marinas y Costeras Protegidas del Ecuador empieza un nuevo proyecto*. Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica: <https://www.ambiente.gob.ec/la-red-de-areas-marinas-y-costeras-protegidas-del-ecuador-empieza-un-nuevo-proyecto/>
- Martínez, G., Silva, R., & Mendoza, E. (2006). Caracterización geomorfológica de la línea de la costa del estado de Quintana Roo, México (caso Cancún) . *XIX Congreso Nacional De Hidráulica*.
- Mazzer, A. M., Souza, C., & Dillenburg, S. (2009). Method to Determinate Coastal Cells in Sandy Beaches at Southeast Coast of Santa Catarina Island, Brazil. *Journal of Coastal research* , 98-102.
- Montreuil, A.-L. &. (2012). A 150-year record of coastline dynamics within a sediment cell: Eastern England. *Geomorphology*. *Geomorphology*, 168-185.
- Motyka, & Brampton. (1993). Mapping of littoral cells. *Coastal Management*.
- Mulder, J. P. (2011). Implementation of coastal erosion management in the Netherlands. . *Ocean & Coastal Management*, 888–897.
- Naciones Unidas. (2024). *Naciones Unidas*. Obtenido de Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Nicholas C. Kraus, D. M. (1998). Depth of Closure in Beach-fill Design. *Coastal Engineering Technical Note*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station.
- Nicholls, R. J., Larson, M., Capobianco, M., & Birkemeier, W. A. (1998). Depth of closure: Improving Understanding and prediction. *Coastal Engineering*.
- Patsh, K., & Griggs, G. (2007). Development of sand budgets for California's major littoral cells. *Institute of Marine Sciences* .
- Peter J. Cowell, M. J. (2003). The Coastal-Tract (Part 1): A conceptual approach to aggregated modeling of low-order coastal change. . *Journal Coastal Research*, 812-827.
- Pilkey, O. H. (1998). *The North Carolina Shore and Its Barrier Islands*. Duke University Press.
- Portilla, A., & Coello, D. (2022). Estudio del proceso erosivo en la zona comprendida entre La Chocolatera y La Lobería, Salinas . *Proyecto Integrador*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

- Pranzini, C. C. (2020). An Integrated Coastal Sediment Management Plan: The Example of the Tuscany Region (Italy). *Journal of Marine Science and Engineering*, 33.
- Putro, A. H., & Lee, J. L. (2020). Analysis of Longshore Drift Patterns on the Littoral System of Nusa Dua Beach in Bali, Indonesia. *Journal of Marine Science and Engineering*.
- Quick, M. C. (1983). Sediment transport by waves and currents. *Canadian Journal of Civil Engineering* .
- Ramesh, R., Purvaja, R., Rajakumari, S., & Suganya, G. M. (2021). Sediment cells and their dynamics along the coasts of India - A review. *Journal of Coastal Conservation*, 25-31.
- Randazzo, S. L. (2011). Improvements to a Coastal Management Plan in Sicily (Italy) New Approaches to borrow sediment management. *Journal of Coastal Research*, 1357-1361.
- Rangel-Buitrago, N. G., Anfuso, G., & Williams, A. T. (2015). Coastal erosion along the Caribbean coast of Colombia: Magnitudes, causes and management. *Ocean & Coastal Management*, 129-144.
- Rijn, V. (2013). Coastal Erosion Control Based on the concept Of Sediment Cells. *Journal of Coastal Management*.
- Rodríguez, E. L., & Dean, R. G. (2009). A Sediment Budget Analysis and Management Strategy for Fort Pierce Inlet, Florida. *Journal of Coastal Research*.
- Rosati, J. D. (2005). Concepts in Sediment Budgets . *Journal of Coastal research*, 307-322.
- Royer, E. (2022). Determining Depth of Closure Based on Time-series Beach Profiles and Empirical Formulas: A Case Study along the Florida Coast. *USF Tampa Graduate Theses and Dissertations*.
- Sánchez, M. D., & Zavala, M. (2019). Determinación de características oceanográficas y biológicas de Playa Rosada, San Pedro y Valdivia para apoyar el manejo de la anidación de tortugas marinas en el Ecuador y promover turismo responsable. *Proyecto Integrador*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Soledispa, B. (2003). La acelerada erosión de la playa del Balneario de Jambelí (Varios métodos para su regeneración). *Acta Oceanográfica del Pacífico* .
- Soledispa, B., & Villacres, J. (1989). Estudio sedimentológico y mineralógico de la Plataforma Continental Ecuatoriana en el tramo comprendido entre Salinas y Ayampe. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 56-77.
- Stănică, A., Panin, N., & Caraivan, G. (2012). Romania. *Coastal*.
- Stul T, G. J. (2015). *Coastal Sediment Cells for the Vlamingh Region between Cape Naturaliste and Moore River, Western Australia*. Fremantle: Western Australian Department of Transport.
- Stul, Gozzard, Eliot, & Eliot. (2014). Coastal Sediment Cells for the Northampton Region between Glenfield Beach and the Murchison River, Western Australia. *Report prepared by Seashore Engineering Pty Ltd and Geological Survey of Western Australia for the Western Australian Department of Transport*.
- Thom, B., & Eliot. (2018). National sediment compartment framework for Australian coastal management. *Ocean and Coastal management*, 103-120.

- UPSE. (2020). Diagnóstico integral del proceso de planificación territorial del cantón Santa Elena 2020-2023. *Plan de desarrollo y Ordenamiento territorial*.
- US Army Corps of Engineers. (11 de noviembre de 2023). *US Army Corps of Engineers*. Obtenido de Coastal Effects of Tides: <https://www.iwr.usace.army.mil/Missions/Coasts/Tales-of-the-Coast/Coastal-Dynamics/Tides/Coastal-Effects-of-Tides/>
- Vera S., L., Lucero, M., & Mindiola, M. (2009). Caracterización oceanográfica de la costa central ecuatoriana entre la Punta del Morra y Jaramijó, Ecuador. *Acta oceanográfica del Pacífico*, 7-17.
- Vera, L. (2000). Análisis de los procesos costeros en La Libertad. *Tesis de grado*. Guayaquil, Ecuador.
- Zavala, M., & Cuadra, M. D. (2019). Determinación de características oceanográficas y biológicas de Playa Rosada, San Pedro y Valdivia para apoyar el manejo de la anidación de tortugas marinas en el Ecuador y promover turismo responsable. *Proyecto Integrador* .

APÉNDICES

Apéndice A

Curvas granulométricas

El total de curvas corresponde a las 30 muestras tomadas de Libertador Bolívar y las 6 muestras tomadas de San Pedro, sin embargo, se usará un ejemplo de curvas granulométricas, representativo de cada zona de estudio.

Figura 21.

Curva granulométrica de zona alta -Libertador Bolívar E0

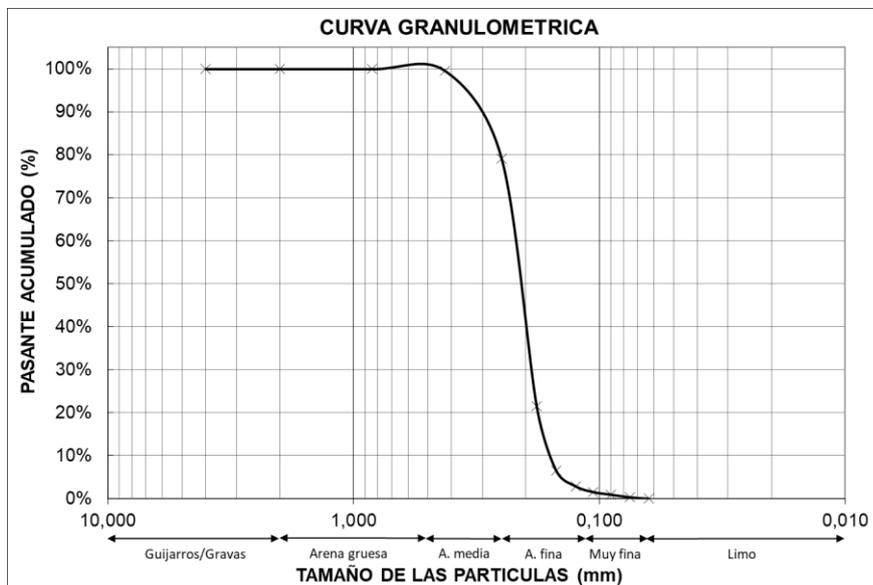


Figura 22.

Curva granulométrica de zona media -Libertador Bolívar E0

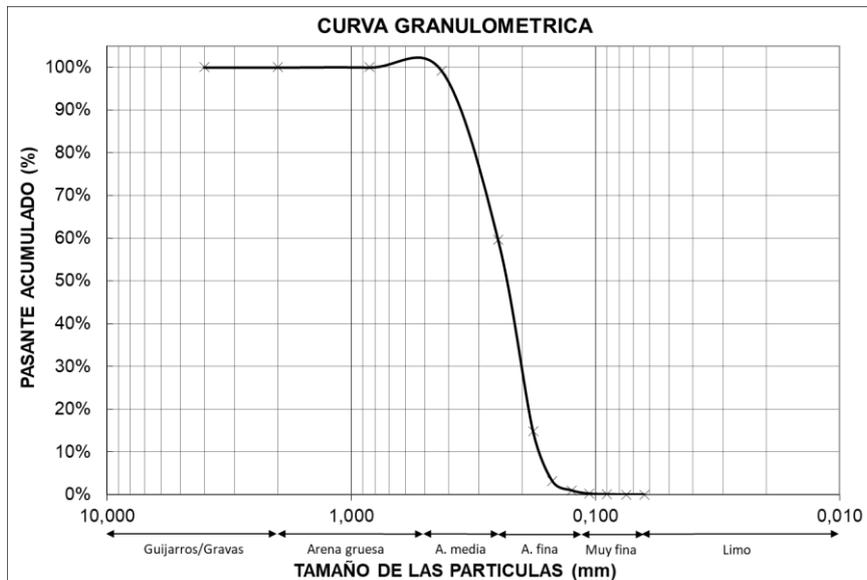


Figura 24.

Curva granulométrica de zona alta - San Pedro E2

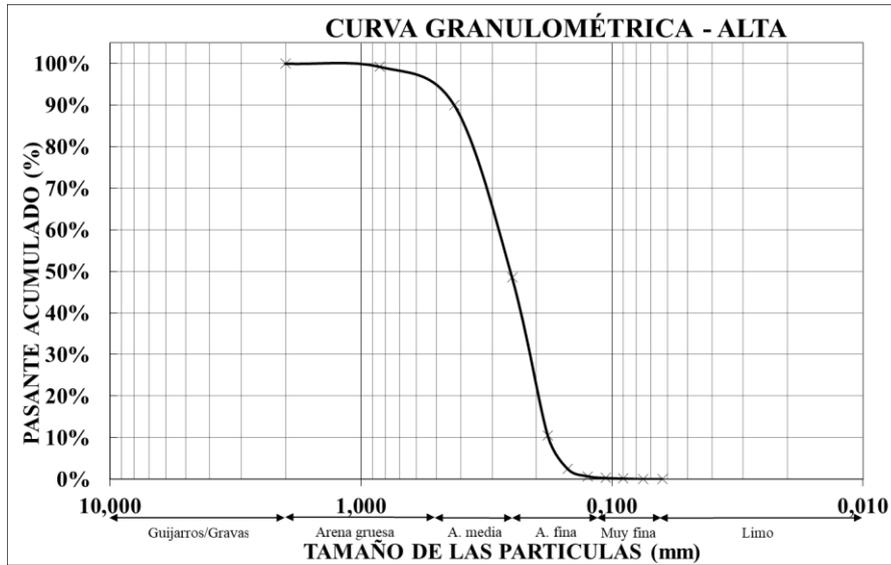


Figura 25.

Curva granulométrica de zona media - San Pedro E2

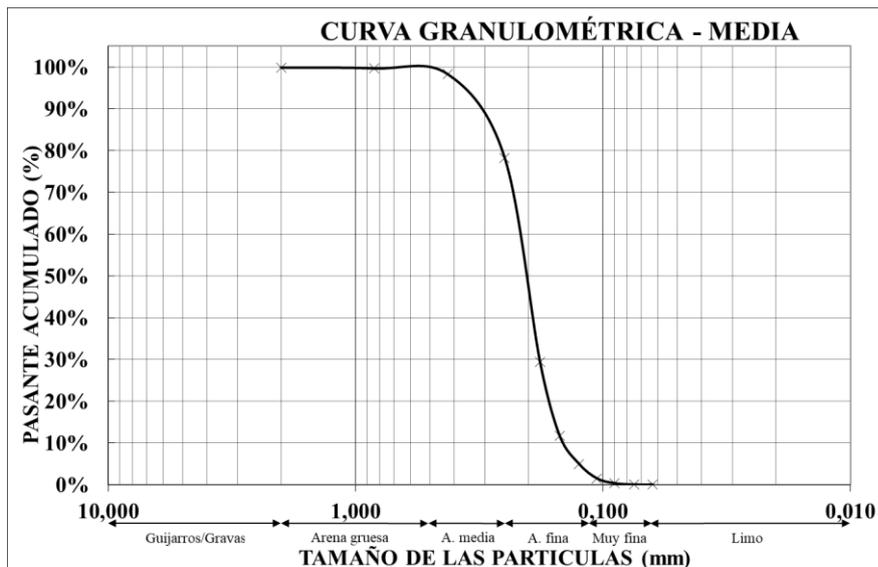
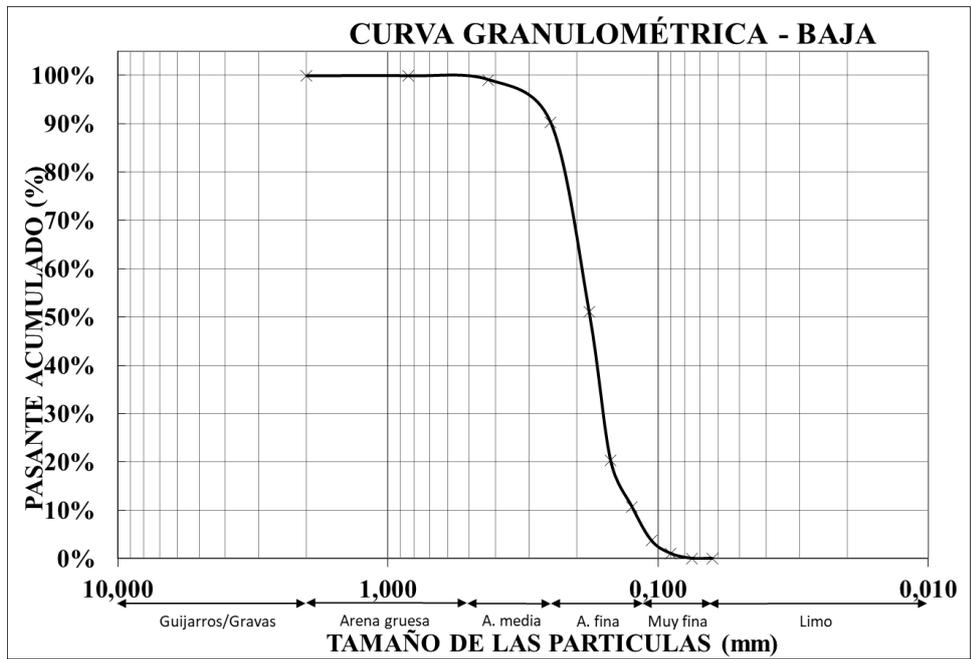


Figura 26.

Curva granulométrica de zona baja - San Pedro E2



Apéndice B

Fotografías tomadas por dron

Sub-celda 3.1

Figura 27.

Sub-celda 3.1 (Malecón)



Figura 28.

Límite superior sub-celda 3.1 (Río Atravesado)



Sub-celda 3.2

Figura 29.

Límite inferior Sub-celda 3.2



Figura 30.

Sub-celda 3.2 (CENAIM)



Figura 31.

Límite superior Sub-celda 3.2 (Río Valdivia)



Apéndice C

Costos

Los costos se basan en la implementación de la guía para definición de celdas sedimentarias que se encuentra en el capítulo 3.

Tabla 42.

Costos de implementación de Macro-Celdas

Actividad	Concepto	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Mensual
Identificar puntos en la cara de la playa	<i>Personal profesional</i>				
	Oceanógrafo	3	personas	\$40	\$2.400
	<i>Instrumentos</i>				
	Dron	1		\$2.500	\$2.500
	Computadora Core I7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb	1		\$1.400	\$1.400
	<i>Movilización</i>	13	días	\$50	\$650
Identificar puntos offshore	<i>Personal profesional</i>				
	Oceanógrafo	6	personas	\$40	\$4.800
	Conductor	1	personas	\$20	\$400

	<i>Instrumentos</i>				
	Computadora Core I7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb	1		\$1.400	\$1.400
	Sonar multihaz	1		\$2.900	\$2.900
	Embarcación	1		\$2.000	\$2.000
	<i>Movilización</i>	20	días	\$20	\$400
Identificar puntos onshore	<i>Personal profesional</i>				
	Oceanógrafo	5	personas	\$40	\$4.000
	<i>Instrumentos</i>				
	GPS diferencial	1		\$2.900	\$2.900
	Computadora Core I7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb	1		\$1.400	\$1.400
	<i>Movilización</i>	13	días	\$50	\$400
Definición de celdas	<i>Personal profesional</i>				
	Oceanógrafo	1		\$40	\$800
	<i>Instrumentos</i>				
	Computadora Core I7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb	1		\$1.400	\$1.400
				TOTAL	\$29.750

Tabla 43.

Costos de implementación de Sub-celdas

Actividad	Concepto	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Mensual
Identificar puntos en la cara de la playa	<i>Personal Profesional</i>				
	Oceanógrafo	3	personas	\$40	\$2.400
	<i>Instrumentos</i>				
	Dron			\$2.500	\$2.500
	Computadora Core I7 Almacenamiento:	1		\$1.400	\$1.400

	1t Memoria Ram: 32gb				
Identificar puntos offshore	<i>Movilización</i>	3	días	\$50	\$150
	<i>Personal</i> <i>Profesional</i>				
	Oceanógrafo	6	personas	\$40	\$4.800
	<i>Instrumentos</i>				
	Emery	6		\$4	\$24
	Cartas Náuticas	3		\$60	\$180
	Sonar Multihaz	1		\$2.900	\$2.900
	Embarcación	1		\$2.000	\$2.000
	Computadora Core I7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb	1		\$1.200	\$1.200
	<i>Movilización</i>	18	días	\$20	\$360
Identificar puntos onshore	<i>Personal</i> <i>Profesional</i>				
	Oceanógrafo	5		\$40	\$4.000
	<i>Instrumentos</i>				
	Computadora Core I7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb GPS	1		\$1.400	\$1.400
	Emery	3		\$4	\$12
	<i>Movilización</i>	5		\$20	\$100
Reconocimiento de potenciales inputs de sedimentos	<i>Personal</i> <i>Profesional</i>				
	Oceanógrafo	6	persona	\$40	\$4.800
	<i>Instrumentos</i>				

	Computadora Core I7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb GPS	1		\$1.400	\$1.400
	Dron	1		\$2.500	\$2.500
	Trampas	4		\$10	\$40
	Movilización	4	dias	\$20	\$80
Reconocimiento de potenciales outputs de sedimentos	<i>Personal</i> <i>Profesional</i> Oceanógrafo	8		\$40	\$6.400
	<i>Instrumentos</i> Método Emery	4		\$4	\$16
	GPS	4			
	Laboratorio	1		\$600	\$600
	Computadora Core I7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb	1		\$1.400	\$1.400
	Movilización	5		\$20	\$100
Transporte de sedimentos	<i>Personal</i> <i>Profesional</i> Oceanógrafo	7		\$40	\$5.600
	<i>Instrumentos</i> Computadora Core I7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb	1		\$1.400	\$1.400
Conectar los puntos onshore y offshore	<i>Personal</i> <i>Profesional</i> Oceanógrafo	1		\$40	\$40
	<i>Instrumentos</i> Computadora Core I7 Almacenamiento: 1t Memoria Ram: 32gb	1		\$1.400	\$1.400
				TOTAL	\$49.202