

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Diseño de una metodología para la caracterización, clasificación y
evaluación de dunas costeras en Ecuador

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Oceanográfico

Presentado por:

Siza Libertad Chicaiza Mantilla

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, Luis y Elsy, quienes siempre me han brindado su apoyo y han sido para mí ejemplo de honestidad, perseverancia, entrega y amor. A mi hermana Tami, con quien he compartido sueños que ahora vemos cumplir. A mi sobrino Julián, mi más grande motivación para alcanzar mis objetivos. Y también lo dedico a Dome y Carlos, los amigos que Guayaquil me dio, quienes, entre risas y llantos, no me dejaron vencer.

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a mis tutores, la M.Sc. Gina Andrade y el M.Sc. Eduardo Cervantes; y a mi profesor, el Ph.D Carlos Martillo, quienes me guiaron en el desarrollo de este proyecto y han sido un gran ejemplo de profesionales para mí. También agradezco a Melissa y María José, quienes siempre estuvieron prestas a brindarme todo su apoyo, escuchándome y aconsejándome. A Kelly Mendoza por ser mi compañera, amiga y ejemplo de responsabilidad. A Valeria, es nuestro año, amiga de mi vida. Y a todos mis profesores y compañeros con quienes tuve el gusto de compartir, aprender y crecer.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Siza Libertad Chicaiza Mantilla doy mi consentimiento para que la ESPOC realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Siza Libertad Chicaiza Mantilla

EVALUADORES

.....
Jorge Espinoza Amaguaña

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Gina María Andrade García

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Las dunas costeras son acumulaciones de arena que se desarrollan en el borde costero y sirven de protección del mismo y como fuente de sedimentos, es por esto que son importantes en el desarrollo de las costas. Actualmente en Ecuador la investigación sobre dunas costeras es escasa, y existe un único estudio sobre estas, es por esto que se desarrolla este proyecto, para establecer una metodología que permita caracterizar, clasificar y evaluar dunas costeras en la línea de costa del Ecuador y generar una base de datos y registro con las zonas donde se han desarrollado estas formaciones. Este trabajo se desarrolló mediante 4 pasos: 1) se definió criterios para el análisis de dunas costeras, 2) se identificó los sistemas de dunas mediante el explorador de imágenes satelitales Google Earth Pro, 3) se generó una base de datos y cartografía en el Sistema de Información Geográfica, QGIS, y 4) se validó la información en campo para la retroalimentación de la metodología. Así se identificó 226 km de dunas costeras en las 5 provincias litorales del Ecuador, siendo que el 50% de estas son dunas primarias con vegetación pionera y el 43,74% tienen un alto grado de intervención antropogénica. Luego de aplicar los criterios previamente establecidos se puede afirmar que la metodología es confiable ya que la información verificada en campo cumple con la información obtenida por la interpretación subjetiva de las imágenes satelitales.

Palabras Clave: Dunas costeras, identificación, imágenes satelitales, interpretación.

ABSTRACT

Coastal dunes are accumulations of sand that develop on the coastline and serve as its protection and as a source of sediments, which is why they are important in the development of the coasts. Currently in Ecuador, research on coastal dunes is scarce, and there is only one study on these, which is why this project is developed, to establish a methodology to characterize, classify and evaluate coastal dunes on the Ecuadorian coastline and generate a database and registry with the areas where these formations have been developed. This was developed through 4 steps: 1) criteria were defined for the analysis of coastal dunes, 2) the dune systems were identified through the exploration of Google Earth Pro satellite images, 3) a database and cartography were generated in the Information System Geographic, QGis, and 4) the information was validated in the field for feedback on the methodology. Thus, 226 km of coastal dunes were identified in the 5 coastal provinces of Ecuador, and 50% of these are primary dunes with pioneer vegetation and 43.74% have a high degree of anthropogenic intervention. After applying the previously established criteria, it affirms that the methodology is reliable since the information verified in the field complies with the information obtained by the subjective interpretation of the satellite images.

Keywords: Coastal dunes, identification, satellite images, interpretation

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO 1	1
1.Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Marco teórico	5
1.4.1 Dunas costeras	5
1.4.2 Inventario de Dunas Costeras.....	7
CAPÍTULO 2.....	11
2.Metodología	11
2.1 Áreas de estudio.....	11
2.1.1 Línea costera del Ecuador (área de estudio 1)	12
2.1.2 Provincia de Santa Elena (área de estudio 2)	12
2.1.3 Parroquia de Manglaralto (área de estudio 3)	13
2.2 Definición de criterios.....	15

2.3	Identificación de dunas costeras.....	16
2.4	Generación de base de datos y cartografía	18
2.5	Validación	20
2.5.1	Identificación, caracterización y clasificación	20
2.5.2	Evaluación.....	21
2.6	Actualización de la base de datos y cartografía.....	22
2.6.1	Caracterización detallada	23
2.7	Banco de preguntas.....	25
CAPÍTULO 3.....		26
3.RESULTADOS Y ANÁLISIS		26
3.1	Caracterización.....	26
3.2	Clasificación.....	27
3.3	Evaluación	28
3.4	Validación	30
3.4.1	Identificación, caracterización y clasificación	30
3.4.2	Evaluación.....	31
3.5	Caracterización detalla	32
3.5.1	Características litorales	32
3.5.2	Perfil playa-duna	33
3.5.3	Sedimentos de playa.....	35
3.6	Banco de preguntas.....	36
CAPÍTULO 4.....		39
4.Conclusiones Y Recomendaciones		39
	Conclusiones	39
	Recomendaciones	40
BIBLIOGRAFÍA.....		42

APÉNDICES 45

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
CAP	Capacidades, Actitudes y Práctica
SIG	Sistema de Información Geográfica
LEO	Littoral Environment Observations
SE	Servicios Ecosistémicos
GEMAC	Grupo de Investigación Geociencia Marina y Costera

SIMBOLOGÍA

m	Metro
km	Kilómetro
s	Segundo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema de intercambio de arena [Psuty, 2008]	6
Figura 1.2 Boceto del perfil playa-duna el sistema de antedunas y el campo de dunas [Davidson-Arnott, 2010]	7
Figura 1.3 Mapa de ubicación de dunas costeras en la región 5 del “Directorio Costero” desarrollado por [Barne et al., 1995].....	9
Figura 2.1 Proceso estructurado para la clasificación de dunas costeras de Ecuador	11
Figura 2.2 Área de estudio 1, línea costera del Ecuador	12
Figura 2.3 Área de estudio 2, Provincia de Santa Elena.....	13
Figura 2.4 Área de estudio 3, tramo San Antonio – Valdivia.....	15
Figura 2.5 Sistema de dunas primarias identificado, cobertura en 1:300	17
Figura 2.6 Sistema de dunas secundarias identificado, cobertura en 1:400	17
Figura 2.7 Sistema de dunas terciarias identificado, cobertura en 1:1000.....	18
Figura 2.8 Ruta de salida de validación de sistemas de dunas en Santa Elena. Fuente: [Google Maps, 2023].....	20
Figura 3.1 Longitud de los sistemas de dunas en kilómetros, por provincia y a nivel nacional	26
Figura 3.2 Longitud, en kilómetros, de la caracterización de los sistemas de dunas costeras en Ecuador.	27
Figura 3.3 Longitud, en kilómetros, de la clasificación de los sistemas dunares por provincia.	28
Figura 3.4 Longitud, en kilómetros, de la clasificación de los sistemas dunares en Ecuador.	28
Figura 3.5 Longitud, en kilómetros, de la evaluación de los sistemas de dunas por provincia.	29
Figura 3.6 Longitud, en kilómetros, de la evaluación de los sistemas de dunas en Ecuador	30
Figura 3.7 Número de sistemas de dunas validadas, descartadas y de no acceso, visitadas en el área de estudio 2.....	31

Figura 3.8 Porcentajes de las clases identificadas para la evaluación de dunas costeras mediante clasificación supervisada en el área de estudio 3	32
Figura 3.9 Perfil playa-duna para el sistema de dunas de San Antonio, Santa Elena	34
Figura 3.10 Perfil playa-duna para el sistema de dunas de Playa Bruja, Santa Elena	34
Figura 3.11 Perfil playa-duna para el sistema de dunas de Valdivia, Santa Elena	35
Figura 3.12 Resultado de la encuesta CAP, sección Conocimientos.	37
Figura 3.13 Resultado de la encuesta CAP, sección Actitudes.	37
Figura 3.14 Resultado de la encuesta CAP, sección Práctica	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Categorías principales establecidos por (Bezzi et al., 2018) para el análisis de sistemas de dunas costeras.....	8
Tabla 2.1 Principales actividades productivas del área de estudio. Fuente: [Salinas, 2014].....	14
Tabla 2.2 Tipos de criterios para el análisis de sistemas dunares basada en interpretación de imágenes satelitales.....	15
Tabla 2.3 Relación entre los criterios y el nivel de certeza para los sistemas dunares identificados.....	18
Tabla 2.4 Campos establecidos para la recopilación de información en la base de datos sobre dunas costeras.....	19
Tabla 2.5 Simbología aplicada en los mapas de identificación de dunas costeras....	19
Tabla 2.6 Clases definidas para aplicar el método de clasificación supervisada	21
Tabla 2.7 Condiciones para definir evaluación NVIU.....	22
Tabla 2.8 Síntesis de información de las salidas de campo de caracterización detallada.	23
Tabla 3.1 Valores promedios de características litorales tomadas en el área de estudio 3.....	32
Tabla 3.2 Diámetro medio de las partículas de sedimento D50 para 4 zonas de la playa del área de estudio 3	35

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de las dunas costeras ha sido reconocida en varias regiones del mundo, es así, que se puede encontrar varias publicaciones (libros, investigaciones, artículos científicos) que brindan información sobre estas. Estos escritos abordan tópicos que van desde la descripción de componentes, geomorfología y formación (Bird, 2000; Davidson-Arnott, 2010; Ottman, 1967; Psuty, 2008a); el desarrollo de metodologías de clasificación, caracterización e índices de evaluación ; hasta temas de manejo costero y conservación de dunas (Albertos et al., 2010; Rooney, 2010; Vega de Seoane et al., 2007).

Las dunas costeras son geoformas que, con el cumplimiento de funciones naturales y mediante los servicios ecosistémicos (SE), brindan beneficios a la sociedad. El principal SE de estas geoformas es el de protección a las zonas costeras, ya que reducen la energía del oleaje y del viento, siendo así, sistemas de amortiguación de perturbaciones naturales, protegiendo las tierras interiores de la erosión que pueden causar las tormentas, los oleajes anómalos y el aumento del nivel del mar (Rodríguez, 2017).

En Ecuador no se han desarrollado estudios sobre dunas costeras, pese a la importancia socioeconómica y al desarrollo turístico y urbanístico adyacente a estas. Es por lo que frente a esta problemática, el Grupo de Investigación Geociencias Marina y Costera (GEMAC) establece la necesidad de generar conocimiento sobre las dunas costeras ecuatorianas. Así, como una de las primeras investigaciones sobre estas formaciones se desarrolló este proyecto, con dos componentes:

1. Metodología para clasificación, caracterización y evaluación de dunas costeras, tomando como punto de referencia el proyecto integrador: “Dunas costeras del cantón Playas, una aproximación para su estudio” (Mendoza, 2022), esta metodología se aplicó a lo largo de aproximadamente 1300 km. de línea de costa ecuatoriana. Se obtuvo dos productos: el primero, una tabla de criterios y parámetros para la identificación y análisis de dunas costeras; y el segundo, un inventario de dunas a lo largo de la costa del Ecuador, aplicando interpretación de imágenes satelitales, y generando la aproximación del primer Atlas de Dunas Costeras Ecuatorianas.

2. Cuestionario de preguntas sobre percepción de dunas, donde se estableció preguntas que ayuden a investigadores y tomadores de decisiones a evaluar la percepción que los habitantes de zonas costeras con presencia de dunas (actor clave), tienen sobre estas geoformas y así aportar al manejo de las mimas.

1.1 Descripción del problema

Las dunas costeras son de gran importancia para el bienestar del perfil costanero, así como la de todas las actividades antropogénicas que se generan sobre ellas y a su alrededor. Estas brindan protección contra las inundaciones producidas por fuertes oleajes o tormentas; son el hogar de especies vegetales nativas adaptadas a las hostiles condiciones marinas; albergan y alimentan dentro del sustrato a numerosas especies de invertebrados, consumidores primarios y demás; son área de anidación y corredores de migración. Por otro lado, desde la perspectiva económica, el mayor valor que ofrecen las dunas es la protección a las estructuras costeras humanas, reduciendo los riesgos de daños por tormenta e inundaciones.

En el proceso de estudio de las dunas costeras, en varias regiones, se han generado algunos registros, inventarios y atlas. (Bezzi et al., 2018) utilizaron data Lidar; ortofotos; encuestas en campo; y reportes técnicos de vigilancia de playas e intervención en la regeneración de la región de Veneto, para realizar un inventario y evaluación de la conservación de dunas costeras en Italia. Otra metodología aplicada ha sido la recopilación de fuentes existentes, a nivel nacional, regional y local; con información sobre recursos costeros; así lo hicieron (Barne et al., 1995; Doody, 2005) desarrollando: un “Directorio del margen costero del Reino Unido” y un “Inventario de dunas de arena en Europa”, respectivamente. Por otra parte (Wolfe, 2010) mediante el análisis de imágenes satelitales de Google Earth, proporciona un inventario de las áreas abiertas de arena en Alberta, Saskatchewan y Manitoba, Canadá.

En Ecuador, actualmente, existe un único estudio de dunas costeras registrado; la investigación, “Dunas costeras del cantón Playas, una aproximación para su estudio”, realizada por (Mendoza, 2022), se presenta como el primer acercamiento donde se establecen conceptos, procesos y análisis, referentes a estas formaciones, en un área representativa y desarrollada de dunas sobre la línea de costa ecuatoriana. Además, tampoco se cuenta con algún tipo de base de datos o inventario con el cual se pueda identificar zonas de dunas a lo largo de la costa ecuatoriana. Siendo esto, por lo que aún

no se reconoce la importancia de los SE y funciones que desempeñan las dunas, y no se ha desarrollado lineamientos para su correcto manejo.

Por esto, el Grupo de Investigación Geociencias Marina y Costera (GEMAC) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) busca ampliar y continuar la investigación de dunas costeras en Ecuador, mediante el diseño e implementación de una metodología de identificación de dunas, aplicable en la línea de costa ecuatoriana; junto con la ejecución y retroalimentación de las metodologías de caracterización, clasificación y evaluación planteadas por el estudio de (Mendoza, 2022). De esta manera, GEMAC avanza hacia el desarrollo de un plan de manejo integrado para zona de dunas costeras.

1.2 Justificación del problema

Las dunas costeras se desarrollan en la zona de transición entre los ambientes continentales y marinos, siendo parte del sistema playa-duna, su formación se da por la acción de las olas, las corrientes y el viento, que interactúan con los sedimentos (arena), trasladándolos hacia la parte alta de la playa, para fijarse, mayormente, debido a la vegetación nativa (Psuty, 2008). Así, por el dinamismo presente en las formaciones de dunas, estas son propensas a sufrir alteraciones significativas debido a interacciones externas en sus procesos naturales.

Los sistemas de dunas, así como muchas formaciones y ambientes litorales, han sido utilizados por los seres humanos, como lugares de asentamiento urbano, y fuente para explotar sus recursos y servicios, degradando así los sistemas. Debido a esto y por el evidente impacto negativo que genera la descontrolada intervención antropogénica, en los últimos años, la sociedad ha empezado a reconocer la importancia de preservar los ecosistemas naturales, y no sólo por el tema estético (paisaje), sino también por sus bienes, servicios y funciones; siendo que, una adecuada sinergia de sus elementos y procesos representa para la humanidad prosperidad y bienestar (Vega de Seoane et al., 2007).

Ahora, considerando que las dunas costeras brindan varios SE, se destacan tres: protección del borde costero, balance sedimentario y hábitat para especies faunísticas y florísticas. Estos servicios, aportan al resguardo de posible invasión del agua de mar sobre intereses humanos, a la regeneración natural de la playa y a la conservación de especies, respectivamente (Trujillo Vera, 2018a); generando así, zonas adecuadas para el seguro desarrollo de actividades antropogénicas en las regiones costeras. La

degradación de los sistemas dunares representa la pérdida de estos beneficios y servicios, y su recuperación implica la inversión en costosos proyectos de restauración. Actualmente se desconoce el estado en que se encuentran las dunas costeras ecuatorianas, pero a lo largo de la costa hay gran desarrollo urbanístico y turístico. Por lo que, establecer un método técnico para identificar las áreas de dunas, para clasificarlas, caracterizarlas y evaluarlas, ayuda a reconocer puntos críticos y de interés que requieran acciones de conservación o restauración. Para posteriormente, dirigir este estudio a autoridades competentes, que planteen objetivos claros a favor de la gestión y manejo de sistemas de dunas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Establecer una metodología de clasificación, caracterización y evaluación de dunas costeras aplicable a lo largo de la línea de costa del Ecuador, mediante búsqueda bibliográfica y análisis de estudios de dunas realizados en otros países, para la definición de un estudio base con el que se pueda desarrollar planes de manejo.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Definir criterios para la identificación, clasificación, caracterización y evaluación de dunas costeras, mediante el análisis de características visuales y subjetivas del área de dunas en el cantón Playas, previamente estudiado por (Mendoza, 2022), el establecimiento de parámetros basados en, para la composición de una tabla de criterios de análisis de dunas costeras, aplicable en la línea de costa ecuatoriana.
2. Identificar las zonas de dunas a lo largo de la línea de costa del Ecuador, mediante el uso de herramientas del explorador de imágenes satelitales Google Earth Pro y del Sistema de Información Geográfica (SIG) QGis, para la elaboración de un primer Atlas de Dunas Costeras Ecuatorianas, que sirva como referente cuantificativo de las áreas de dunas presentes en línea costera del Ecuador.
3. Evaluar la percepción que tiene un actor clave (habitantes) a cerca de las dunas costeras, mediante la aplicación de una encuesta sobre Conocimientos, Actitudes y Prácticas (CAP), para la generación de información útil para investigadores y tomadores de decisiones que aporten al manejo de estas geoformas.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Dunas costeras

Las dunas costeras (geoformas litorales) son acumulaciones de sedimentos ubicadas en la parte alta de la playa (*backshore*) formadas por la interacción del oleaje, las mareas y el viento; y que se fijan debido a la presencia de vegetación. Estas geoformas se desarrollan por la disponibilidad de sedimentos expuesto en las playas de arena, siendo su geometría muy variable. Generalmente, en pequeñas ensenadas rocosas, se puede encontrar formaciones de un solo cordón de dunas, de 0.5m de altura y varios metros de ancho; y en playas de barrera y planicies litorales, sistemas dunares de, incluso, más de 100m de altura y decenas de kilómetros de ancho (Davidson-Arnott, 2010). Es más frecuente encontrar dunas costeras desarrolladas en playas con un amplio rango de marea, que sean disipativas, anchas, con pendiente suave que, en playas con cortos rangos de marea, reflectivas, estrechas y empinadas (Bird, 2000).

Dentro del ambiente marino-costero, las dunas representan un elemento con gran valor geológico y de diversidad, ya que brindan varios servicios ecosistémicos, como: moderación de fenómenos extremos, prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo, hábitat para las especies, formación del suelo, recreación y ecoturismo, y valores estéticos. De estos servicios, el más importante es el de moderación de fenómenos extremos ya que brinda defensa de oleaje irregular e invasión del agua de mar a intereses humanos (Vega de Seoane et al., 2007).

1.4.1.1 Origen y Formación

Los sistemas de dunas costeras son formados, principalmente, por sedimentos de origen fluvial que llegan al litoral y son transportados hacia la playa por la acción del oleaje y las corrientes. Una vez que los sedimentos están en la playa, son llevados tierra adentro, detrás de la berma, por acción eólica, esta dinámica hace que las dunas costeras sean sustratos muy móviles, finalmente la vegetación que se desarrolla, dependiendo de la tolerancia que tiene a la movilidad del sustrato, la salinidad, la maresía, la humedad, etc.; ayuda al asentamiento de los granos de arena en uno o varios cordones, paralelos a la costa, y separados por depresiones dunares (Albertos et al., 2010). Sin embargo, detrás de la línea de costa, donde haya suficiente vegetación para capturar sedimentos, se puede identificar formaciones de antedunas adyacentes a la playa o también campos de dunas costeras desarrollados hacia el lado continental (Davidson-Arnott, 2010).

Dentro de la geomorfología costera existe un concepto que define la relación entre olas, corriente y viento, previamente descrita, este es el modelo de respuesta al proceso. El modelo fue planteado por (Psuty, 2008a) y describe un perfil de playa-duna que se alimenta por los sedimentos provenientes de la barra *offshore*, transportados a la playa seca y depositados en la anteduna que se desarrolla adyacente a la línea de costa; siendo que el modelo también puede darse a la inversa, es decir, sedimento transportado desde la duna hasta la barra *offshore*, es así que se forma un sistema cerrado de intercambio de arena, observe **Figura 1.1**.

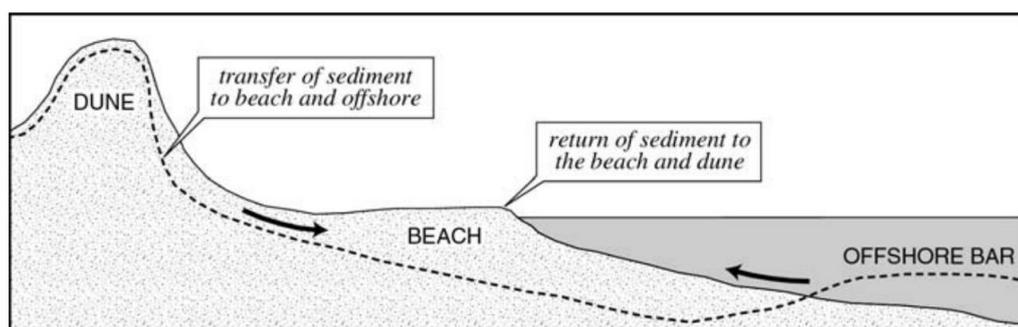


Figura 1.1 Sistema de intercambio de arena [Psuty, 2008]

1.4.1.2 Componentes Morfológicos

La morfología dunar, anchura, orografía, transición suave o abrupta entre cordones, etc., está condicionada por la cantidad de sedimentos que llegan por acción del oleaje al litoral, por el régimen de corrientes y por la morfología de la costa (Albertos et al., 2010). En cuanto al tamaño de los sedimentos que se encuentran en las dunas, este suele ser mayor a 0.15mm, y menor a 1mm, ya que este es el tamaño disponible en playas activas de arena (Davidson-Arnott, 2010).

El sistema de dunas primarias (antedunas o *foredune*), se encuentra ubicada en primera línea detrás de la berma, o incluso puede iniciar en la cresta de esta, está integrado por una duna frontal establecida, paralela a la costa, y asociada a alguna duna embrionaria, (Davidson-Arnott, 2010), con aproximadamente un 80% de cobertura vegetal del tipo incipiente. Seguido de las antedunas y antes de la primera duna secundaria, se puede encontrar depresiones dunares (*swale*), esta irregularidad puede llegar a estar por debajo del nivel freático en épocas húmedas (Vega de Seoane et al., 2007).

Los campos de dunas son formaciones más desarrolladas que se encuentran tierra adentro, en esta área la dinámica con la playa es menor por lo que el desarrollo de la vegetación es más estable, siendo así que estas formaciones pueden presentarse con el 100% de cobertura vegetal, contando con la presencia de vegetación arbustiva, en la

parte más cercana al mar, y asentamiento de garrigas o bosquetes esclerófilos, del otro lado (Albertos et al., 2010). Estos campos dunares integran las dunas secundarias y terciarias, siendo las primeras con menor grado de desarrollo vegetativo y menores dimensiones (decenas de metros de ancho) que las segundas (grandes dunas parabólicas alargadas de cientos de metros de ancho y más de 1km de largo) (Davidson-Arnott, 2010). En la Figura 1.2 se esquematiza un perfil playa-duna ideal, donde se visualiza el sistema de antedunas y el campo de dunas.

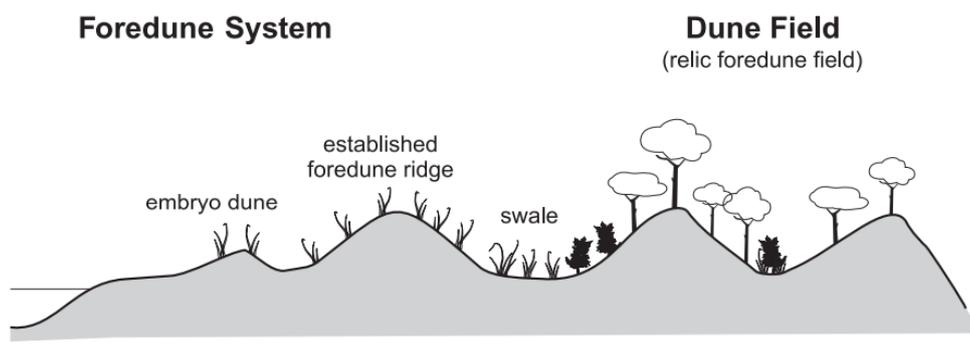


Figura 1.2 Boceto del perfil playa-duna el sistema de antedunas y el campo de dunas [Davidson-Arnott, 2010]

1.4.2 Inventario de Dunas Costeras

Las dunas costeras son un elemento importante en el manejo costero, por lo beneficios brindados a ecosistemas naturales e intervenidos (Bezzi et al., 2018). Encontrar el equilibrio entre la conservación de dunas costeras y el desarrollo de actividades antropogénicas en la playa, implica identificar las áreas donde las dunas se desarrollan,; que permita recopilar información, zonificarlas, caracterizarlas, evaluarlas y entender sus procesos, para con esto plantear controles de acceso, construcción de instalaciones alternativas, y programas de educación a locales y visitantes. Reconociendo esto, en varias regiones el mundo se han desarrollado una serie de registros, bases de datos, inventarios o atlas de dunas costeras. A continuación, se detallan los objetivos, metodología y productos de cuatro estudios realizados en diferentes partes del mundo.

1.4.2.1 Estado del arte

Un inventario y evaluación de la conservación de las dunas costeras realizado por (Bezzi et al., 2018) fue desarrollado en la región de Veneto, Italia, con el objetivo de ilustrar, en una geodatabase, de manera general y completa una visión de las dunas costeras de la región para el futuro desarrollo de pautas que generen una correcta gestión de dunas. La construcción de la geodatabase es basada en el método Sistema de Gestión de las

Celdas Litorales (SICELL) desarrollado por (Regione, 2016). En la geodatabase, los datos espaciales y sus atributos se organizan en tres categorías principales, ver tabla 1.1. Para la descripción de las dunas costeras usan 20 parámetros cuantitativos y cualitativos que abarcan la morfología dunar, la presencia de estructuras y el desarrollo de actividades antropogénicas sobre los sistemas dunares. Las fuentes de datos son imágenes Lidar de alta resolución, ortofotos, encuestas de campo específicas e informes técnicos sobre el monitoreo de playas de la zona. Con esto, los resultados del análisis resaltan las fortalezas y debilidades del estado actual de las dunas, generando cartografía que permite visualizar la distribución de los diferentes tipos de dunas y elevaciones en el área de estudio, la distribución del sedimentario de la playa según el código ASPE (*Accretion, Stable, Precarious, Erosive*), la distribución geográfica de dunas costeras asociadas a diferentes grados de presión turística, entre otras.

Tabla 1.1 Categorías principales establecidos por (Bezzi et al., 2018) para el análisis de sistemas de dunas costeras.

Categoría Principal	Categoría Secundaria
Estado de la playa y conexión con el continente.	Ancho de la playa
	Pendiente de la costa
	Sedimentología
	Presión turística
	Presión del uso del suelo
Dinámica evolutiva	Evolución reciente y pasada de la costa
	Balance de sedimentos de la playa y de la parte superior de la costa reciente y pasada
	Alimentación artificial de la playa
Defensas costeras	Protecciones duras
	Protecciones blandas
	Dunas costeras

(Barne et al., 1995) desarrollaron el proyecto “Directorios Costeros” en Reino Unido, con el objetivo de proveer una visión general de la geomorfología costera, de los recursos marinos y de la actividad humana desarrollada a nivel nacional y regional, proporcionando así, una serie de 16 directorios, un índice de referencias detallado y un recopilatorio de otras fuentes de información. La metodología aplicada fue la recopilación

de información ya existente tanto a nivel nacional, regional y local. Al ser un trabajo a gran escala, contó con el apoyo de una gran cantidad de investigadores y variedad de organizaciones que trabajan en el desarrollo y conservación del margen costero. El “Directorio Costero” consta de un capítulo centrado en las dunas de la región, donde se presenta un mapa de identificación de áreas de dunas, como se puede apreciar en la figura 1.3. También, para cada área identificada se detalla información del nombre del sitio, la referencia de la grilla, el área de extensión, el tipo de duna y su estado de conservación.

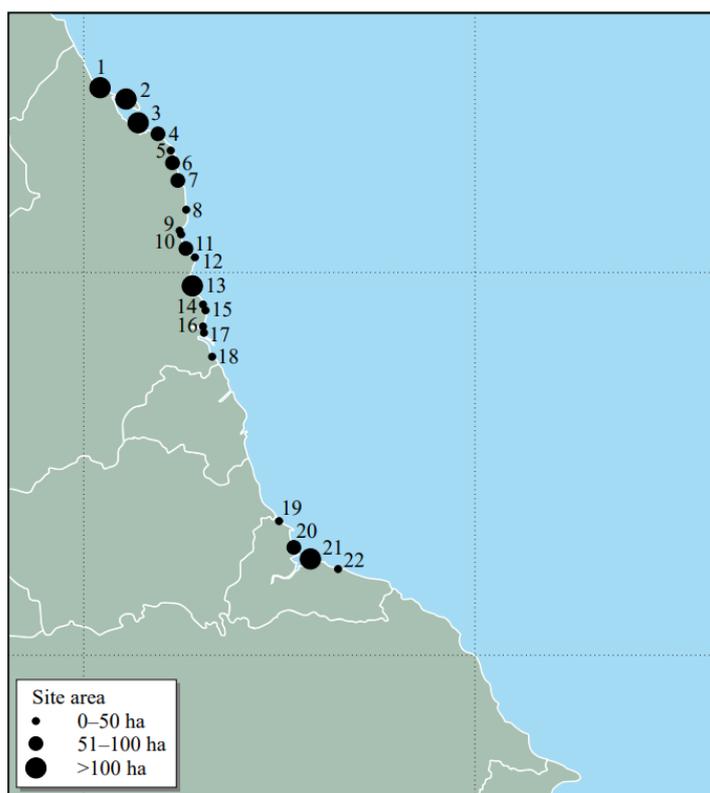


Figura 1.3 Mapa de ubicación de dunas costeras en la región 5 del “Directorio Costero” desarrollado por [Barne et al., 1995]

De manera similar (Doody, 1991; Radley, 1992) elaboraron inventarios de dunas costeras de toda Europa, con el objetivo de que pueda ser utilizado para tomar decisiones a favor de la conservación y buena gestión de las costas. El inventario se generó mediante la recopilación de información disponible y apropiada sobre dunas costeras, para esto, se contó con la colaboración de gran variedad de personas involucradas en la conservación de dunas en Europa. El inventario incluye una revisión general del hábitat y su conservación, y descripciones resumidas del estado de las dunas de arena en la mayoría de los países de Europa.

Por otro lado, en América del sur hay el registro de un inventario de dunas costeras realizado por el Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IREN, 1996) de Chile. Este registro se realizó sobre la base de fotografías aéreas que tenían escala 1:20.000 del Proyecto Aerofotogramétrico CHILE/OEA/BID. El inventario identifica gran cantidad de dunas a lo largo del litoral entre La Serena y Puerto Montt (Barros & Orlando Gutiérrez, 2011).

Por último, (Wolfe, 2010) generó un inventario de dunas activas de arena, con el propósito de aproximar la ubicación y el tamaño de las zonas de arena abierta (incluido dunas) en las Provincias de Prairie, para referencia presente y futura. La identificación realizada es mediante imágenes satelitales de Google Earth y un archivo shape (extensión .KMZ) que se tenía disponible de una previa identificación de dunas. Como producto final se presenta el inventario y una base de datos, ambos elaborados con el fin de poder identificar el hábitat y realizar estrategias de recuperación de los mismos.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para la clasificación, caracterización y evaluación de las dunas costeras se establecieron cuatro actividades principales dentro de un proceso estructurado y que fueron ejecutadas de manera secuencial, ver figura 2.1. Así, el proceso constó de: 1) Definición de criterios de identificación de dunas, para caracterizarlas, clasificarlas y evaluarlas; 2) Identificación de zonas con aparente desarrollo de dunas, mediante Google Earth Pro; 3) Generación de una base de datos y cartografía con la información obtenida, mediante QGis; y, por último, 4) Validación y caracterización en campo, visitando los sistemas de dunas identificados, retroalimentando la base de datos y actualizando los mapas.

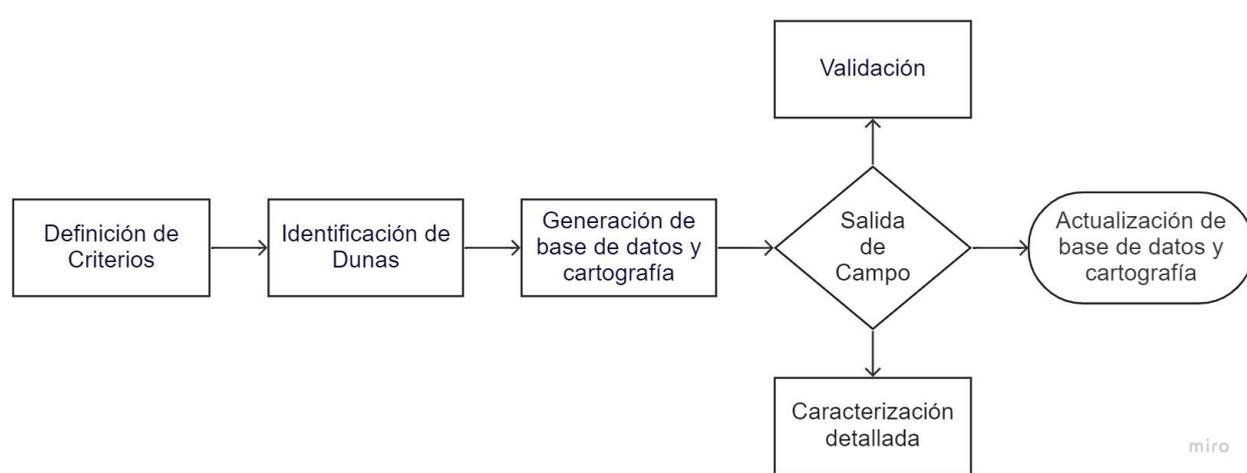


Figura 2.1 Proceso estructurado para la clasificación de dunas costeras de Ecuador

2.1 Áreas de estudio

Se seleccionó tres áreas de estudio con diferente extensión, debido al enfoque y actividades planificadas a desarrollarse en cada área. En el primer área, que abarca 865.28km de la línea costera del Ecuador se realizó la identificación con la imágenes satelitales en Google Earth Pro y se generó la cartografía correspondiente. En segund área, perfil de costa de la provincia de Santa Elena, se desarrolló la validación de los sistemas dunares previamente identificados. Por último, en el tercer área, correspondiente a un tramo de 8km de línea de costa en la parroquia de Manglaralto se aplicó las metodologías de caracterización, clasificación y evaluación, planteadas por (Mendoza, 2022).

2.1.1 Línea costera del Ecuador (área de estudio 1)

Las cinco provincias costeras continentales del Ecuador (Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Guayas y El Oro) tienen variados rasgos geológicos, es así que en su borde litoral se desarrollan zonas de acantilado bajo y alto, prolongaciones arenales, planicies costeras, y playas de barrera; siendo las dos últimas, formaciones adecuadas para el desarrollo de dunas costeras. Estos sistemas litorales influyen en importantes actividades económicas que se desarrollan en las provincias mencionadas, por lo que, tanto sobre el borde costero como a sus alrededores hay gran desarrollo urbanístico y turístico. Esta área de estudio (figura 2.2) abarca parte de la línea costera del Ecuador, con un total de 865.28km analizados, dentro los????km de línea de costa que tiene el Ecuador según (Boothroyd et al., 1994).

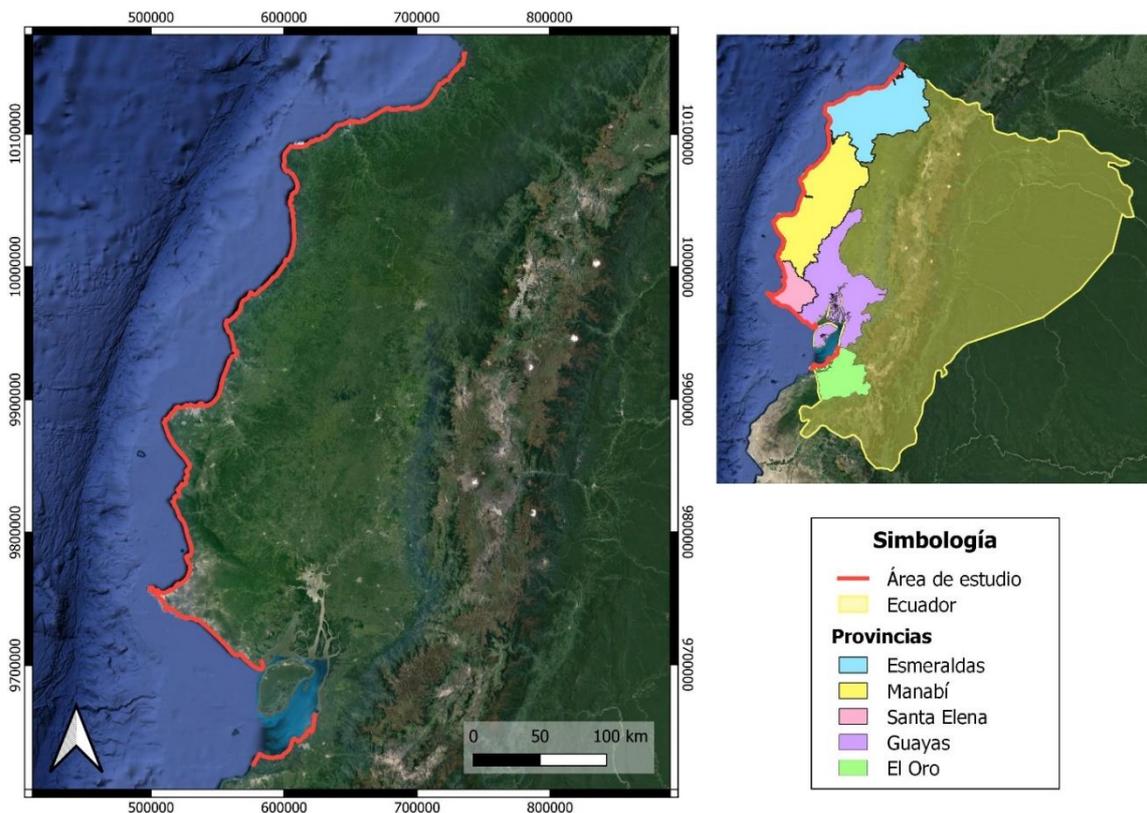


Figura 2.2 Área de estudio 1, línea costera del Ecuador

2.1.2 Provincia de Santa Elena (área de estudio 2)

La provincia de Santa Elena se encuentra ubicada en la costa oeste de Ecuador, fue creada en el 2007, siendo su capital, la ciudad de Santa Elena. El borde costero de esta provincia tiene acantilados, prolongaciones arenales, playas de barrera, y planicies litorales. El clima, es principalmente influenciado por la corriente fría de Humboldt y la

corriente cálida de El Niño, así, se marcan dos temporadas, la lluviosa y la seca, con precipitaciones anuales entre 125mm a 150mm (Ruiz, 2022). Lo vientos predominantes tienen una dirección de 180° y 270°, con una velocidad promedio de 3.2m/s; y el oleaje predominante es del tipo swell con periodos superiores a 12s (Navarrete, 2018). Las principales actividades económicas que se desarrollan en la provincia son: comercio, pesca y turismo (Álvarez et al., 2020).

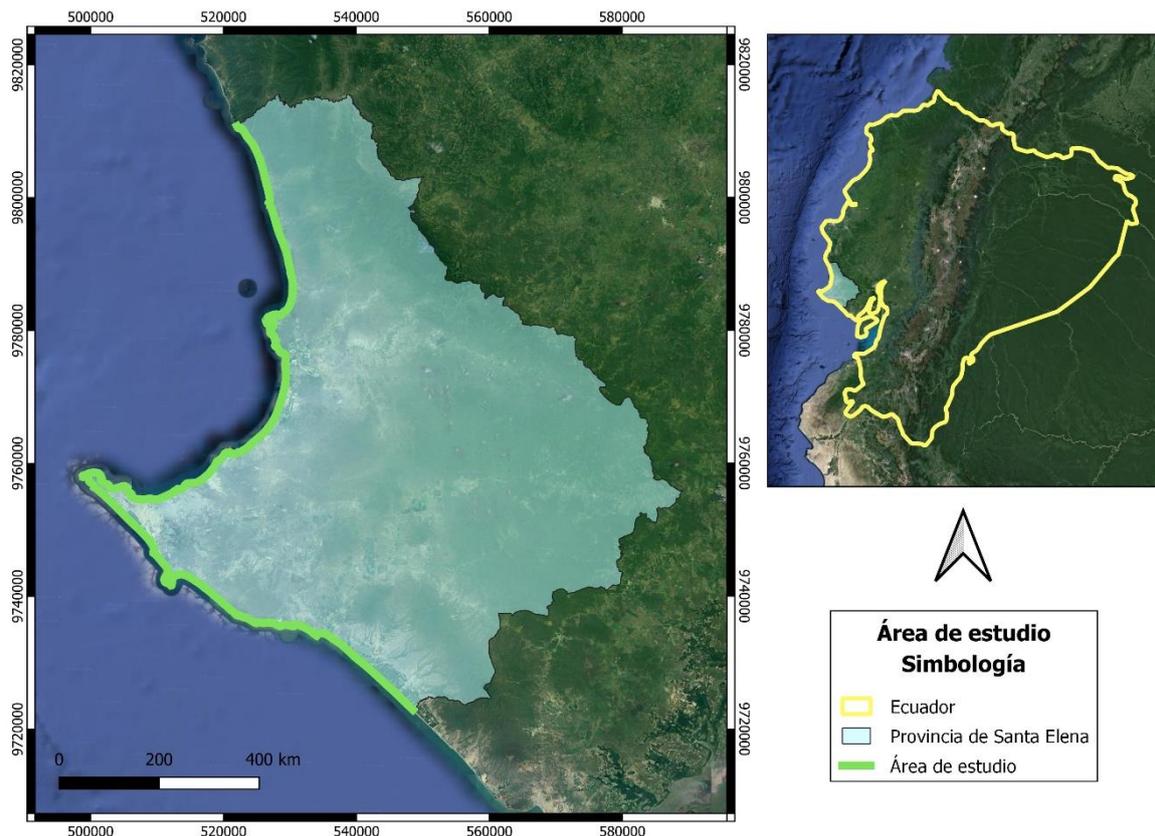


Figura 2.3 Área de estudio 2, Provincia de Santa Elena

Se seleccionó esta área de estudio debido a la facilidad de traslado para visitar los sistemas de dunas, y también por que tuvo un representativo número de sistemas dunares identificados (48 sistemas), distribuidos en toda la extensión del perfil costero. El total de la longitud de borde costero analizado fue de aproximadamente 162.33km, observe la figura 2.3.

2.1.3 Parroquia de Manglaralto (área de estudio 3)

La parroquia de Manglaralto está localizada en la franja costera norte de la provincia de Santa Elena, en el cantón Santa Elena. Tiene 17 comunas, de las cuales 3 pertenecen a esta área de estudio, y son: San Antonio, Libertador Bolívar y Valdivia. En cuanto al clima, el viento y el oleaje tienen las mismas características ya descritas para la provincia.

Al ser poblaciones asentadas cerca de la ruta turística “Ruta del Spondylus”, sus principales actividades están relacionadas con la pesca, el turismo, el comercio, la elaboración de artesanías, como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Principales actividades productivas del área de estudio. Fuente: [Salinas, 2014]

Comuna	Principales actividades productivas
San Antonio	Artesanías, ganadería y construcción
Libertador Bolívar	Turismo, artesanías, ganadería y construcción
Valdivia	Artesanías, pesca, agricultura y construcción

Para el estudio se seleccionó un tramo con una longitud aproximada de 8km, desde la comuna de San Antonio, hasta la comuna de Valdivia, ver figura 2.4. Así, se estableció 3 estaciones dentro del tramo, Estación 1: playa de Sant Antonio (E1), Estación 2: Playa Bruja (E2) y Estación 3: playa de Valdivia (E3), abarcando 857m, 1970m y 1863m de borde costero, respectivamente. Este tramo fue seleccionado debido a que anteriores visitas se apreció el desarrollo de zonas de dunas, por lo que sería una zona representativa para analizar y contrastar resultados con lo observado mediante imágenes satelitales.

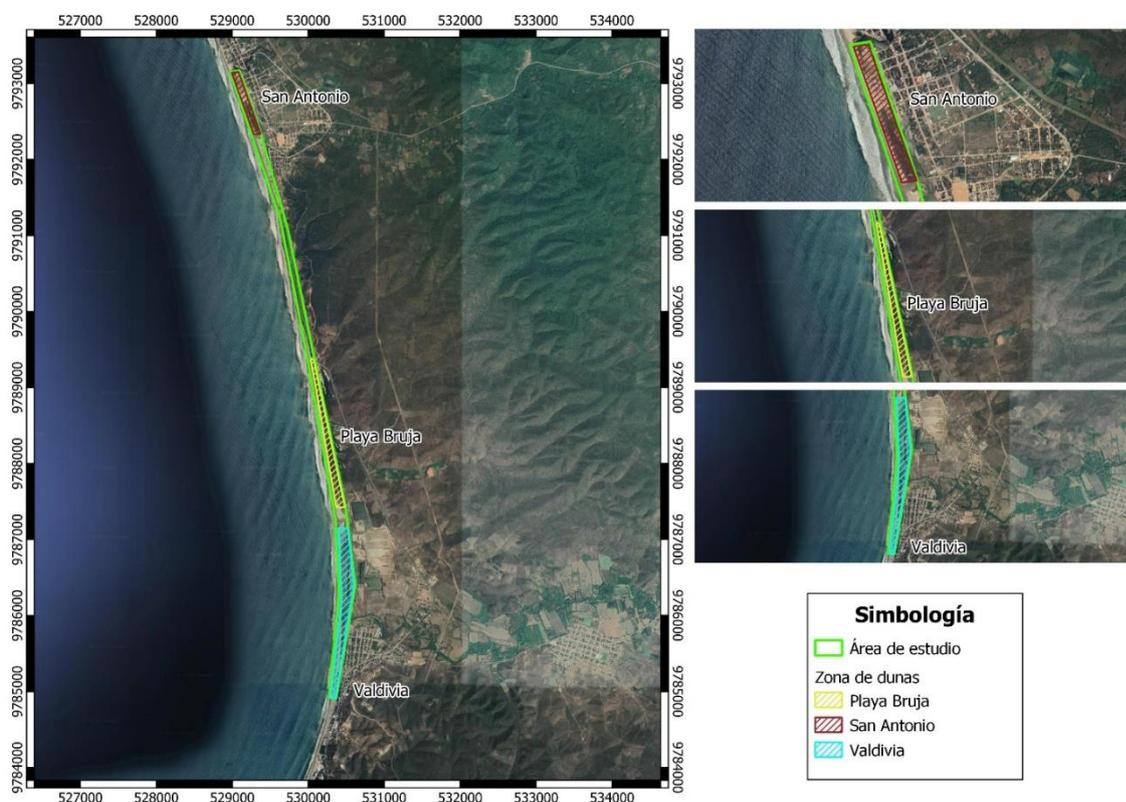


Figura 2.4 Área de estudio 3, tramo San Antonio – Valdivia

2.2 Definición de criterios

La revisión bibliográfica fue la primera actividad que se realizó, con el fin de tener una visión general de los conceptos referentes a dunas costeras y de las metodologías aplicadas para la identificación de dunas en otras regiones. Así, se tomó como estudios base y guía los realizados por (Bezzi et al., 2018; Wolfe, 2010), principalmente por la metodología que utilizan, aplicada a imágenes satelitales; siendo este, un recurso al que se tuvo fácil acceso.

Se utilizó como zona de referencia visual el área de estudio de dunas en el proyecto de (Mendoza, 2022) en Data Posorja, en el cual se realizó una visualización de las características que se puede apreciar, de la zona, mediante imagen satelital. Con esto, se definió cuatro tipos de criterio: de identificación, de clasificación, de evaluación y de validación, ver tabla 2.2. Cada tipo de criterio consta de uno o más parámetros, y así se obtuvo como producto una tabla de criterios de análisis de zonas de dunas costeras, que se adjunta en el apéndice 1. Siendo que esto permitió caracterizar las dunas obteniendo: longitud del sistema y tipo de vegetación aparente; clasificarlas en: primarias, secundarias y terciarias; y evaluarlas según la presencia de intervención antropogénica: intervenida, no intervenida.

Tabla 2.2 Tipos de criterios para el análisis de sistemas dunares basada en interpretación de imágenes satelitales.

Tipo de Criterio	Función
Identificación	Identificar fácilmente, áreas de dunas, basados en características subjetivas para una fácil identificación de estas geoformas.
Clasificación	Poder seleccionar una clasificación para los sistemas dunares, se clasificó en dunas: primarias, secundarias, y terciarias, de acuerdo su desarrollado vegetal.
Evaluación	Aproximar la vulnerabilidad en que se encuentran las zonas de dunas, teniendo áreas: no intervenidas, poco intervenidas y muy intervenidas; siendo las últimas las más vulnerables.
Validación	Aumentar el nivel de certeza de la identificación de áreas de dunas realizada en Google Earth Pro.

2.3 Identificación de dunas costeras

Se seccionó el área de estudio, para realizar una identificación por sectores, para esto se tomó como referencia las secciones establecidas por (Boothroyd et al., 1994), en su trabajo de caracterización de la línea costera del Ecuador, esto con el fin de relacionar y complementar esa caracterización con la investigación que se realizó. El total de secciones fue 57, distribuidas en las cinco provincias, 14 en Esmeraldas, 23 en Manabí, 11 en Santa Elena, 4 en Guayas y 5 en El Oro, los límites de cada sección se identificaron tomando lugares de referencia.

Con los criterios mencionados en la sección 2.2, se identificó las áreas con aparente desarrollo de dunas costeras, verificando que el área cumpla con los criterios de identificación. Con la herramienta *Agregar Ruta*, del explorador de imágenes satelitales Google Earth Pro (software de acceso libre), se vectorizó cada área identificada. De este proceso se obtuvo un archivo KMZ con los límites de los sectores y las “*rutas*” guardadas, 145 en total, siendo estos los sistemas de dunas identificados, cada uno con una descripción subjetiva y útil para caracterizar las geoformas, como: vegetación aparente (pionera, arbustiva, arbórea), intervención antropogénica (intervenida, no intervenida), y longitud del sistema.

Simultáneamente, se realizó la identificación de dunas y se las clasificó, en primarias, secundarias y terciarias. En las figuras 2.4, 2.5 y 2.6 se puede visualizar como se observa un sistema de dunas primarias, secundarias y terciarias, respectivamente, en el explorador de imágenes satélites de Google Earth Pro. Siendo las características apreciables, visuales y subjetivas.



Figura 2.5 Sistema de dunas primarias identificado, cobertura en 1:300



Figura 2.6 Sistema de dunas secundarias identificado, cobertura en 1:400



Figura 2.7 Sistema de dunas terciarias identificado, cobertura en 1:1000

Por último, se definió un rango de confianza para las zonas de dunas identificadas, al que se le denominó “Nivel de Certeza” (NC). Así, basados en los criterios de validación previamente establecidos, se asignó un NC para cada zona de dunas, siendo: NC Alto, cuando cumple con todos los criterios; NC Medio, cuando cumple con dos de los criterios y NC Bajo cuando solo cumple un criterio, esta relación se puede visualizar en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Relación entre los criterios y el nivel de certeza para los sistemas dunares identificados.

NC \ Criterios	Google Earth	Geomorfología	Campo
Alto [1]	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>
Medio [2]	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	
Bajo [3]	<i>Cumple</i>		

2.4 Generación de base de datos y cartografía

Para la generación de la base de datos se importó el archivo KMZ al Sistema de Información Geográfica (SIG), QGis, software de acceso libre. Se generaron diez capas (archivos *shape*): cinco capas con la información de la identificación de dunas costeras, una capa por provincia; y las otras cinco con los límites de los sectores, de igual manera, una capa para cada provincia. Las 5 capas de identificación de dunas costeras cuentan con información de caracterización, clasificación y evaluación contenida en la tabla de

atributos, teniendo así un total de 7 campos, detallados en la tabla 2.4. De estos, el campo longitud fue calculado en QGis.

Tabla 2.4 Campos establecidos para la recopilación de información en la base de datos sobre dunas costeras.

Tipo de campo	Campo
Caracterización	Longitud (numérico), Tipo de vegetación aparente (Pionera, Arbustiva)
Clasificación	Clasificación (primaria, secundaria, terciaria)
Evaluación	Intervención antropogénica (no intervenida, poco intervenida, muy intervenida)
Complementario	Identificación (numérico), NC (Alto=1, Medio=2, Bajo=3), Estado de Validación (Va), Rasgo geológico (Planicie litoral, Playa de barrera, Prolongación arenal, Acantilado)

También, se editó la simbología, para distinguir visualmente, tanto la clasificación (aspecto) como el NC (color) de cada sistema de dunas, la simbología aplicada se muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Simbología aplicada en los mapas de identificación de dunas costeras

Clasificación	Simbología	NC	Simbología
Dunas primarias		NC Alto	
Dunas secundarias		NC Medio	
Dunas terciarias		NC Bajo	

Para la generación de la cartografía, se usó la herramienta *Composición de impresión* de QGis, y se diseñó dos tipos de mapas: el primero, mapas abarcando toda la provincia, para una visión global (5 mapas en total); el segundo, mapas por sector, para una visualización con más detalle (72 mapas en total). Las escalas seleccionadas para los mapas generales fueron: 1:700000 para Esmeraldas, 1:1100000 para Manabí, 1:500000 para Santa Elena, 1:300000 para Guayas y 1:200000 para El Oro. Para los mapas por sectores se usó dos escalas, 1:50000 y 1:70000. Los productos de esta sección fueron la base de datos en QGis y los mapas recopilados en un documento que se denominó “Acercamiento al Primer Atlas de Dunas Costeras del Ecuador”.

2.5 Validación

2.5.1 Identificación, caracterización y clasificación

Se seleccionó una muestra significativa de sistemas de dunas para verificar la existencia de las zonas de dunas costeras desarrolladas y, simultáneamente, validar la caracterización y clasificación previamente establecida, como se indicó en las secciones 2.2 y 2.3. La verificación de los sistemas dunares se utilizó para de aumentar el NC.

Se seleccionó a la provincia de Santa Elena como sitio de visita, debido a la facilidad de transporte hacia la provincia, y a que contaba con un número relevante de sistemas dunares identificados (48 sistemas) distribuidos a lo largo de toda la línea de costa de la provincia. Así, el 6 de enero del 2023 se visitó 35 locaciones, de las 48 planificadas, recorriendo la ruta mostrada en la figura 2.8, desde Manglaralto hasta Chanduy. Las 13 locaciones restantes, no fueron visitadas debido al acceso limitado a los sitios. En esta salida de campo también se tomó fotografías aéreas con un dron, con el fin de poder visualizar a más detalle las zonas de dunas y alimentar la base de datos, producto de la sección 2.4.

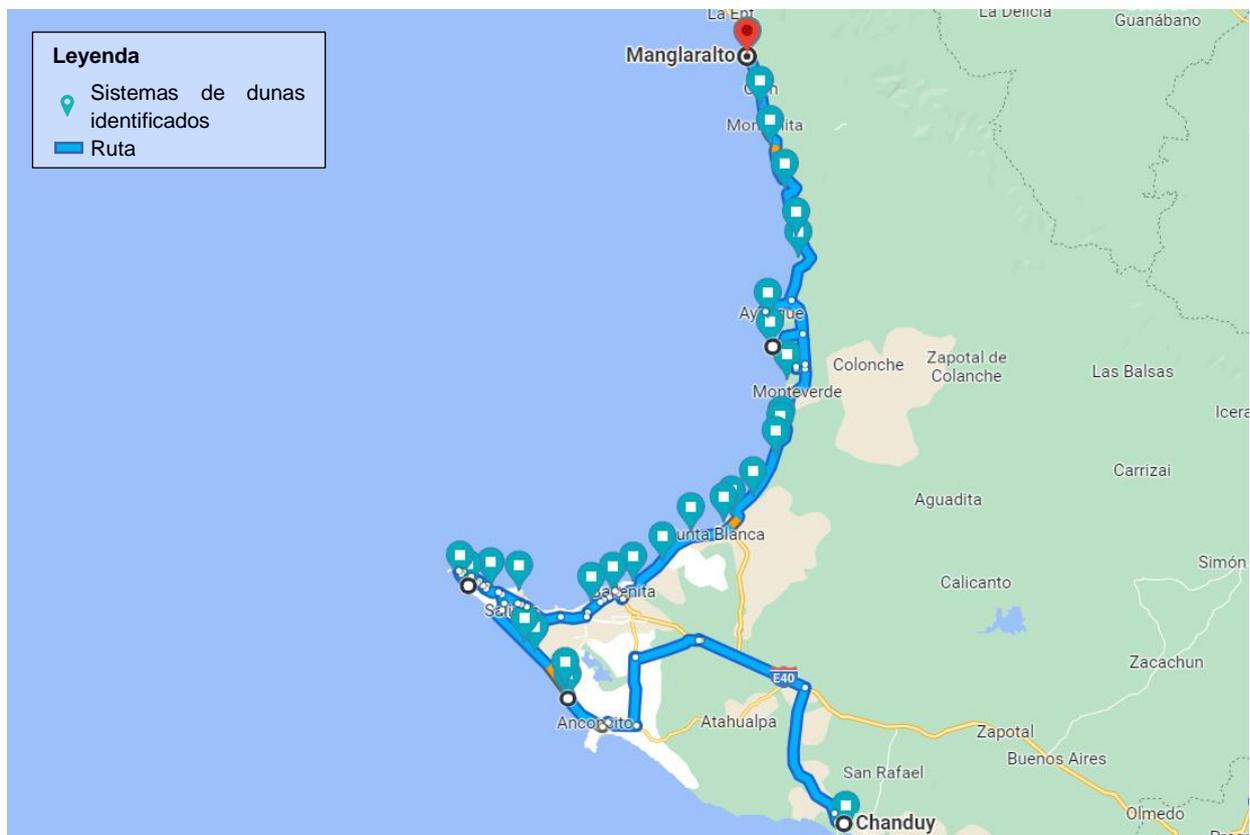


Figura 2.8 Ruta de salida de validación de sistemas de dunas en Santa Elena. Fuente: [Google Maps, 2023]

2.5.2 Evaluación

La validación de la evaluación se realizó utilizando técnicas de clasificación en imágenes satelitales, mediante el método de clasificación supervisada. La clasificación supervisada es un procedimiento para la identificación de superficies espectralmente parecidas dentro de una imagen satelital o un área de esta. Esto se realiza mediante un previo reconocimiento de áreas de interés con varios usos de suelo o superficies, este reconocimiento es ejecutado por el usuario. Finalmente, un algoritmo se extrapola las características espectrales en la misma imagen y así la clasifica (Thomas & Seabergh, 1997). Entonces, el procedimiento de clasificación supervisada realizado en el presente proyecto constó de cuatro pasos: 1) selección y descarga de imágenes satelitales, 2) generación de un buffer alrededor de la línea de costa 3) aplicación del método de clasificación supervisada y 4) cuantificación de áreas por clases.

Así, se seleccionó la imagen satelital Sentinel 2 del 2022, S2MSI2A (producto con corrección atmosférica) y se la descargó directamente de la plataforma de Copernicus. Luego, se importó la imagen en ArcGis Pro para generar un buffer de 200m alrededor de los 8km de línea de costa del área de estudio 3, se seleccionó esta área ya que abarca zonas de desarrollo antropogénico adyacentes a los sistemas de dunas. Seguido, se generó las muestras de entramiento y las firmas espectrales de 9 superficies de interés, presentadas en la tabla 2.6, con las herramientas de geoprocso “*Image Classification*” y “*Create Signature*”, respectivamente, en ArcGis Pro. A continuación, se usó la herramienta de geoprocso “*Maximum Likelihood*”, donde se ingresó el archivo .shp (muestras de entrenamiento) y .gpr (firmas espectrales) para correr el algoritmo de clasificación supervisada.

Tabla 2.6 Clases definidas para aplicar el método de clasificación supervisada

Clase	Descripción
Agua mar	Agua presenta mar adentro.
Arena mojada	Arena presente en la sección húmeda de playa, generalmente ubicada mar adentro después de la línea de agua y antes de la espuma del mar.
Arena seca	Arena presente en la sección seca de playa, generalmente ubicada tierra adentro después de la línea de agua y antes de la vegetación dunar.

Vegetación dunar	Vegetación desarrollada sobre áreas que corresponden a zonas de dunas costeras.
Agua saliente	Cuerpos de agua que desembocan en el océano.
Vegetación excluida	Vegetación desarrollada sobre áreas que no corresponden a zonas de dunas costeras.
Espuma mar	Espuma apreciable en el límite entre el agua del mar y la arena mojada.
Urbanización	Infraestructura desarrollada adyacente o sobre el área de dunas.
Carretera	Caminos y vías desarrollados en el área de estudio.

Finalmente, se realizó cálculos de resumen y áreas en la tabla de atributos del ráster clasificado, para cuantificar las áreas por clases. De esto, los datos de interés fueron las áreas de las clases: “urbanización” (A_U) y “vegetación dunar” (A_{VD}), los cuales se sumaron para obtener un “área total de interés” (A_{TI}) y así calcular el porcentaje que representa A_U y A_{VD} con respecto a A_{TI} . Entonces se aplicó la ecuación 2.1; donde, R_E es la relación calculada con la que se definió el nivel de vulneración debido a intervención urbana (NVIU) del sistema de dunas analizado, esto según lo establecido en la tabla 2.7.

$$Evaluación = \frac{\%A_U}{\%A_{VD}} \quad (2.1)$$

Tabla 2.7 Condiciones para definir evaluación NVIU

Condición	Evaluación	NVIU
$0 < R_E < 0,8$	No intervenida	No vulnerable
$0,8 \leq R_E \leq 1,22$	Poco intervenida	Poco vulnerable
$R_E > 1,22$	Muy intervenida	Muy vulnerable

2.6 Actualización de la base de datos y cartografía

La actualización de la base de datos constó de editar la tabla de atributos de la base de datos generada en QGIS. Se modificó el campo “Estado de validación”, según lo verificado in situ. También, se agregó 4 campos más correspondientes a las características litorales y el tamaño del grano de la playa, datos obtenidos de la salida de campo donde se realizó una caracterización detallada usando la metodología de caracterización planteada en el estudio de aproximación de dunas costeras del cantón Playas por (Mendoza, 2022).

2.6.1 Caracterización detallada

Se realizaron dos salidas de campo, para caracterizar el tramo San Antonio – Valdivia con sistemas de dunas identificado. Las actividades que se realizaron, en cada estación, fueron: 1) toma de características litorales, 2) levantamiento de perfil de playa-duna y 3) recolección de muestras de sedimentos de la playa. La primera salida se realizó el 22 de diciembre del 2022 y la segunda el 11 de enero del 2023, detalles de la fase lunar, época y observaciones, se sintetizan en la tabla 2.8, y la metodología aplicada para cada actividad se detalla a continuación.

Tabla 2.8 Síntesis de información de las salidas de campo de caracterización detallada.

N°	Fecha	Fase lunar	Época	Actividades	Observaciones
1	22/12/22	Sicigia	Lluviosa	1, 2 y 3	Los datos de la actividad 3 requirieron ser tomados nuevamente.
2	11/01/23	Cuadratura	Lluviosa	2	Llegada del oleaje del noroeste a las costas ecuatorianas.

Características litorales

La toma de características litorales fue mediante observación y medición in situ, caracterizando vientos y olas de las tres áreas de estudio, durante 4 horas, tomando los datos cada 30 minutos. La técnica utilizada fue Littoral Environment Observation (LEO), la cual consiste en la recolección sistemática de datos de vientos, olas y corrientes, información obtenida mediante la observación de voluntarios capacitados, aplicable en lugares donde no se cuenta con datos de olas (Thomas & Seabergh, 1997).

En cada área de estudio se fijó una estación de toma de medidas, ubicadas en el centro del área de estudio y frente a la zona de dunas, de esa manera los datos tomados son significativos. Los equipos utilizados fueron: anemómetro digital, brújula, cronómetro, derivador, y plantilla de anotaciones. Es así como se recopiló datos relacionados con: corriente litoral, donde se aproximó su velocidad; viento, se aproximó su dirección y velocidad; y oleaje, definiendo su tipo, velocidad, dirección y altura.

Perfil playa-duna

El levantamiento de perfiles transversales de playa-duna se tomó en bajamar, en cada estación se levantó de 4 a 5 perfiles, abarcando toda el área de interés, y trazando cada

perfil desde la línea de agua hasta la anteduna, o hasta donde el desarrollo de la vegetación y presencia de infraestructura lo permitiera. Los componentes de interés a identificar en el perfil fueron: berma, duna embrionaria y cresta establecida de la anteduna.

El equipo utilizado y el procedimiento aplicado para todas las estaciones fue el mismo. Para esto se usó un nivel óptico, que fue fijado, nivelado y estabilizado 3m tierra adentro tras la línea de la berma; luego, se ubicó la regla graduada sobre la línea de agua de bajar, alineada perpendicularmente al nivel; entonces, se anotó los valores del hilo alto, medio y bajo, observados por el ocular; para finalmente, avanzar aproximadamente 3m hacia el nivel óptico y repetir el procedimiento hasta completar el perfil de playa. Una vez que la regla se encontró con el nivel óptico, a este se lo giró 180°, y se procedió a tomar el perfil de duna. Los valores obtenidos fueron procesados en el programa de hojas de cálculo Excel, para obtener las gráficas de cada perfil en cada sitio de estudio y poder identificar la morfología con sus componentes.

Sedimentos de playa

La recolección de sedimentos se hizo en cada área de estudio en las estaciones de medición, en tres puntos a lo largo del perfil playa – duna. Se tomó 1kg de sedimentos, en la línea de agua, otra en la berma o inicio de la duna, cuando la morfología coincidía; y otra en un punto medio entre la línea de agua y la línea de berma. Solo en Playa Bruja se tomó una muestra más al inicio de la duna.

En la duna primaria se tomó el sedimento del lado de barlovento, es decir, la cara frontal que da hacia el mar. Estos sedimentos se tomaron con el fin de determinar el diámetro medio del grano que se traslada por el oleaje y el viento y llega a las dunas, siendo ese el que construye las dunas.

Para determinar el tamaño del grano se usó el ensayo de análisis granulométrico AST D422 (D422, 2007), este es un método mecánico de tamizado, el análisis constó de 4 pasos: secado, preparación, tamizado y digitalización. El secado se realizó en una estufa de secado a 90°C por tres días; la preparación consistió en hacer una división homogénea de la muestra; el tamizado se hizo procesando la muestra por una torre de tamices que iban desde el número 20, arenas gruesas, hasta el número 230, material fino. La digitalización de datos se hizo en el software de hojas de cálculo Excel, donde se graficó la curva de distribución granulométrica.

2.7 Banco de preguntas

Para el desarrollo del banco de preguntas se siguió un proceso estructurado que constó de 4 pasos: 1) establecer objetivo de la encuesta, 2) definir la base para la encuesta, 3) mapeo de actores y 4) aplicación de la encuesta y resultados. Así, se estableció el objetivo de la encuesta como: conocer la percepción, que tienen los habitantes de una zona con desarrollo de dunas costeras, ante la utilidad e importancia de estas geoformas para el desarrollo costero. Se seleccionó estos actores luego de aplicar la matriz de poder – interés. Obteniendo que los habitantes son actores con un alto nivel de interés, ya que son los principales afectados por la degradación y mal manejo de estas formaciones litorales. La base de la encuesta se planteó siguiendo el modelo de encuestas de conocimientos, actitudes y prácticas, estas encuestas brindan información cuantitativa útil para fortalecer la planificación y el diseño de programas sociales, siendo que la encuesta CAP reúne la información sobre lo que sabe la gente, cómo se siente en relación con eso y qué hace respecto al tema (Proyecto Global ABS et al., 2019). Con esto, se generaron un total de 21 preguntas que fueron aplicada en campo a habitantes del área de estudio 3. La encuesta se encuentra en el apéndice C.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Caracterización

Se obtuvieron dos características de los sistemas de dunas, el primero fue la longitud de estos y el segundo el tipo de vegetación aparente. Es así como, se identificó 130 sistemas de dunas costeras en los 1305km de longitud de línea de costa del Ecuador. Con un total de 226,07km de sistemas de dunas. La provincia que en su borde costero tiene mayor presencia de zonas de dunas es Manabí, con 77,78km que presentan el 34,40% de las dunas totales identificadas en todo el país, ver figura 3.1. Pero, la provincia que tiene mayor presencia de dunas costeras a lo largo de su perfil es Guayas, ya que dentro de los 53,16km de borde costero, 22,36km representan a dunas, es decir, el 52,89% del perfil de costa de la provincia.

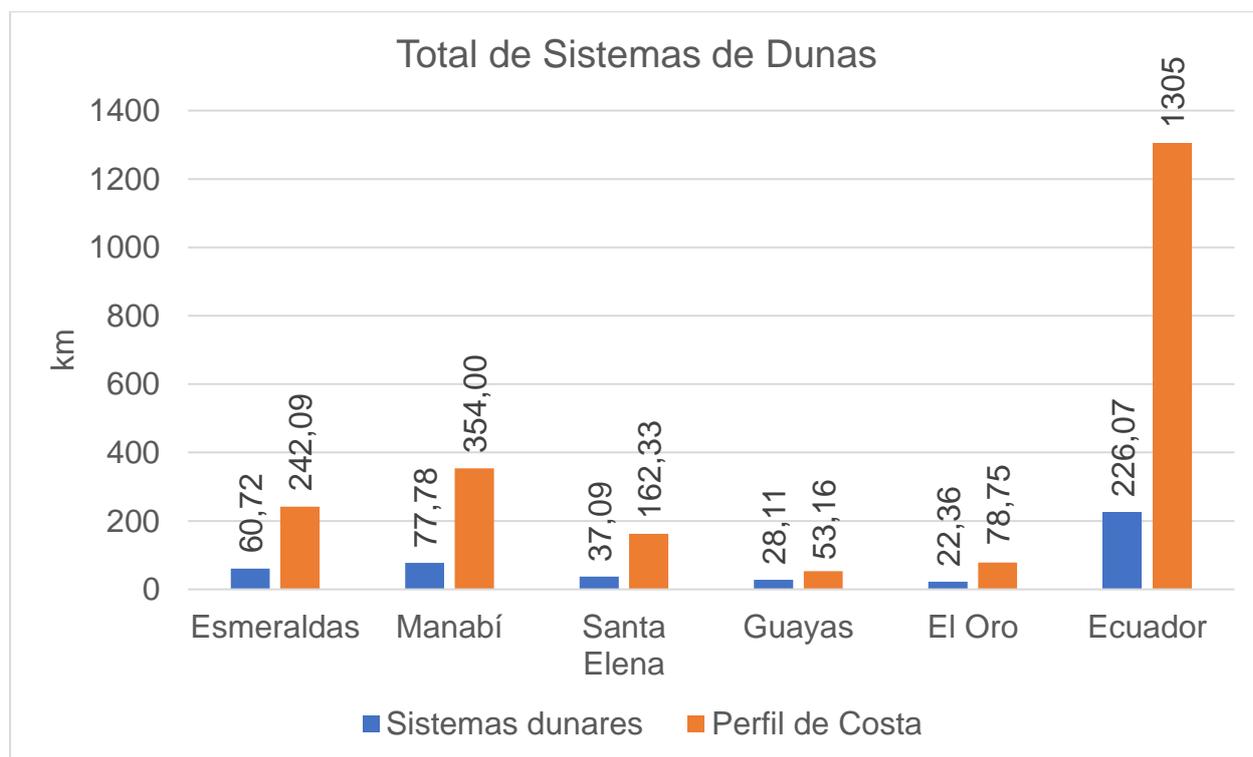


Figura 3.1 Longitud de los sistemas de dunas en kilómetros, por provincia y a nivel nacional

En cuanto a la vegetación, los tres diferentes tipos de estas, pioneras, pioneras arbustivas y arbustivas-bosquetes, tienen una distribución a lo largo de toda la costa, bastante homogénea, ver figura 3.2. Se registró 87,34km de vegetación pionera,

representando el 38,63%; por otro lado, 70,83km son de vegetación arbustiva, siendo el 31,33%; y por último 67,90km corresponden a vegetación arbustiva-boquete, y esto es el 30,03%. Esto tiene concordancia con los resultados de la clasificación presentados a continuación.

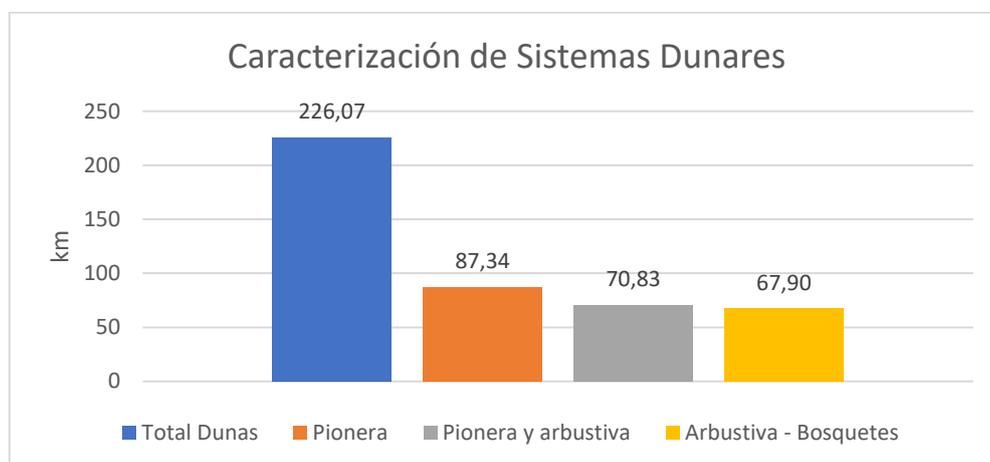


Figura 3.2 Longitud, en kilómetros, de la caracterización de los sistemas de dunas costeras en Ecuador.

3.2 Clasificación

En cuanto a la clasificación, una provincia que destaca, por la cantidad de sistema de dunas terciarios, es Manabí. La longitud de dunas terciarias en esta provincia representa el 47,33% del total de dunas desarrollados en la misma, ver figura 3.3. Este valor es cuestionable debido al gran desarrollo turístico y urbanístico de Manabí, lo que impediría y afectaría a que las zonas de dunas se lleguen a desarrollar a un nivel de dunas terciaria. Estas zonas son puntos de interés a verificar en campo.

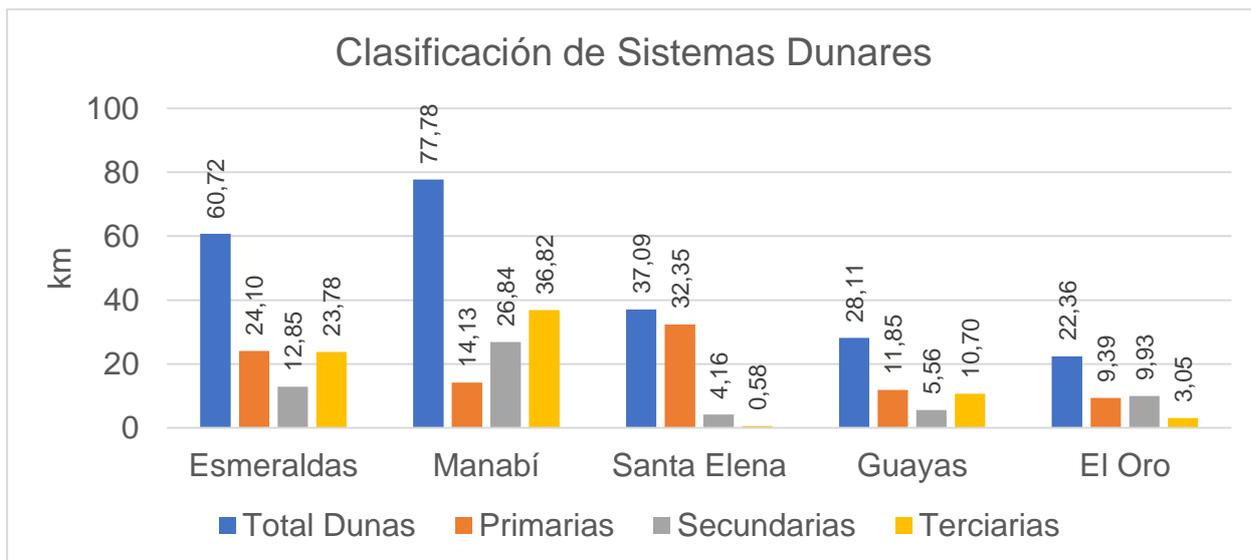


Figura 3.3 Longitud, en kilómetros, de la clasificación de los sistemas dunares por provincia.

Ahora, de manera general si se aprecia una mayor cantidad de sistemas de dunas primarias, es decir con presencia de vegetación pionera con porcentaje de cobertura menor al 80%, ver figura 3.4. Esto tiene concordancia con la estimación de vegetación pionera identificada, ya que de igual manera es la representativa para Ecuador, como se mencionó en la sección anterior.

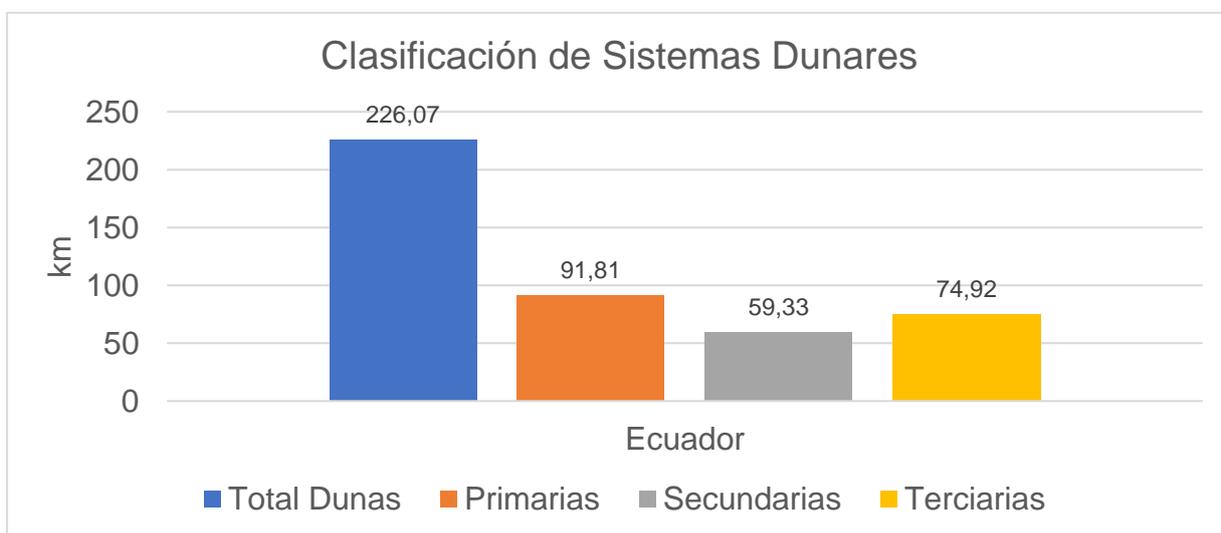


Figura 3.4 Longitud, en kilómetros, de la clasificación de los sistemas dunares en Ecuador.

3.3 Evaluación

En la Figura 3.5 se aprecia la tendencia de los sistemas dunares a estar en un estado de “Muy intervenidos”, por lo tanto, son evaluados como “muy vulnerables”. Solo en la provincia de Esmeraldas es mayor el número de kilómetros de dunas “No intervenidas”,

con 27,72km, representando el 45,7% del total de dunas en esa provincia. Esto se puede deber a dos razones; la primera es el poco desarrollo turístico en todo lo largo del borde costero de Esmeraldas, siendo que las playas más visitadas son las pertenecientes al cantón Atacames; la segunda razón puede darse por la gran cantidad de plantaciones de palmeras que hay en la provincia según (Boothroyd et al., 1994), entonces la apreciación de estas áreas se puede llegar a confundir como bosquetes naturales desarrollados detrás de las zonas de dunas. Estas serían potenciales zonas para verificar en campo para confirmar cualquiera de las hipótesis previamente planteadas.

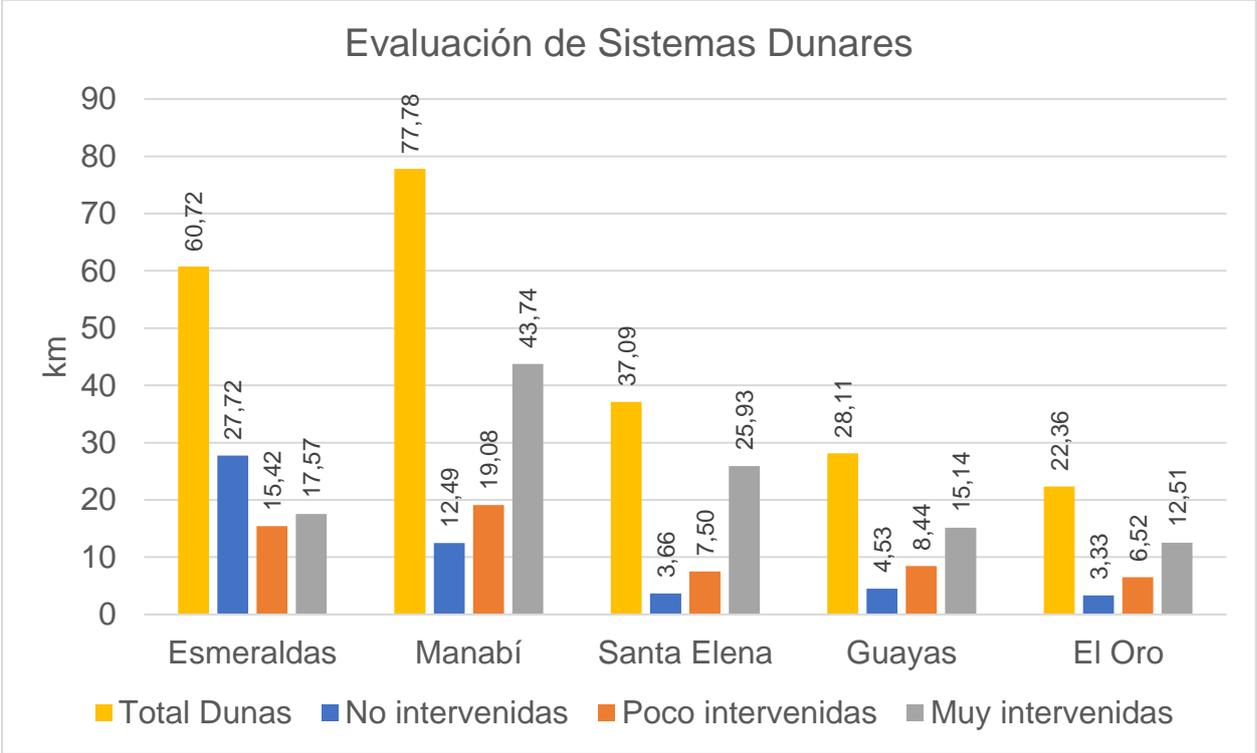


Figura 3.5 Longitud, en kilómetros, de la evaluación de los sistemas de dunas por provincia.

En la figura 3.6, se observa de manera general la clasificación de las dunas para Ecuador, siendo que al igual que en análisis realizado anteriormente, hay mayor cantidad de dunas “muy intervenidas”, con 114,90km y representando el 50,82% del total de dunas identificadas.

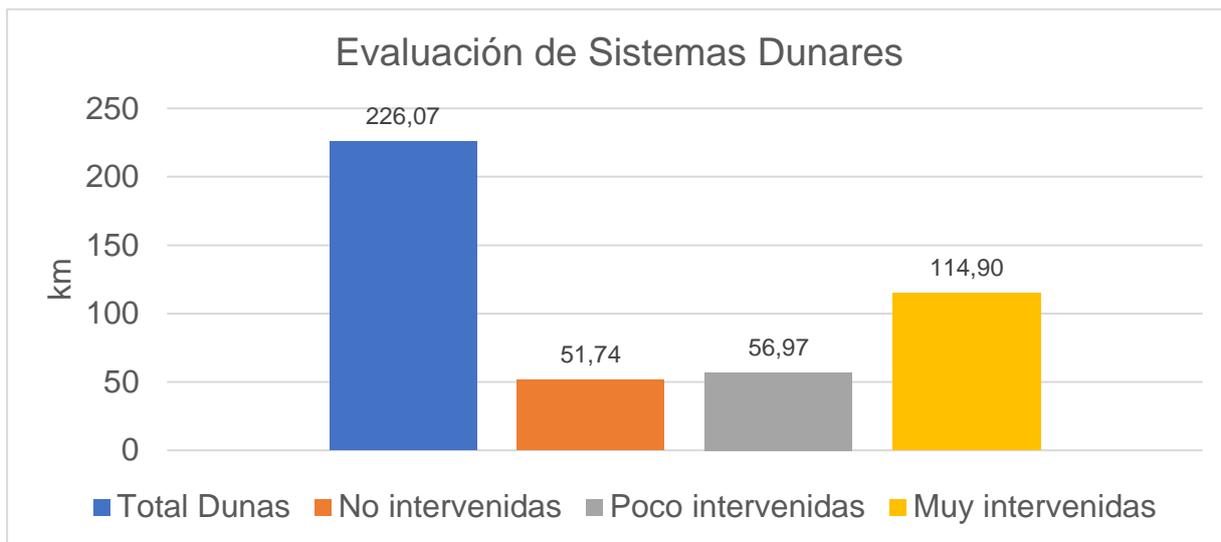


Figura 3.6 Longitud, en kilómetros, de la evaluación de los sistemas de dunas en Ecuador

3.4 Validación

3.4.1 Identificación, caracterización y clasificación

Para la validación de la identificación, caracterización y clasificación de dunas costeras realizada mediante la interpretación de imágenes satelitales, se realizó una visita en campo de estos. Así, el total de sistemas visitados fueron 37, representando el 77% de los 48 sistemas identificados inicialmente. Entonces, como se puede observar en la figura 3.7, de los 37 sistemas visitados, 24 fueron verificados como áreas con presencia de dunas costeras (63,86%) y 13 descartados (35,14%). Por otro lado, 11 sistemas dunares no pudieron ser verificados debido al limitado acceso a los mismos. Todas las áreas descartadas correspondían al NC bajo.

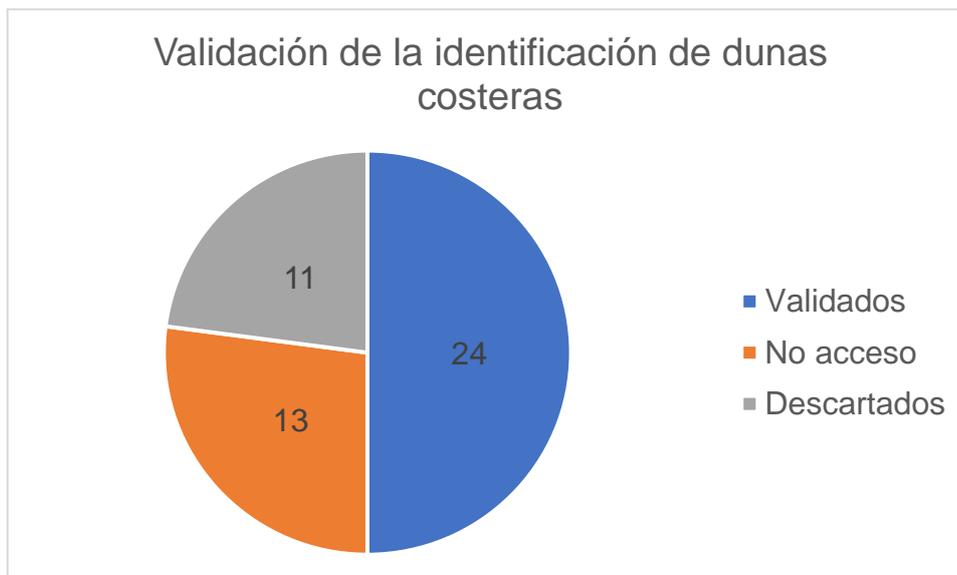


Figura 3.7 Número de sistemas de dunas validadas, descartadas y de no acceso, visitadas en el área de estudio 2.

La validación de datos obtenidos mediante el análisis de las imágenes satelitales, en contraste con aquellos validados en campo, tienen una alta coincidencia. Siendo esta coincidencia de un 70% para la caracterización y de un 74% para la clasificación de las mismas.

3.4.2 Evaluación

La relación entre el área de la clase “Urbanización” y el área de la clase “Vegetación dunar” es de 0,98, valor muy cercano a uno. Ya que los valores de estas áreas son muy similares (ver figura 3.8), siendo que el área urbanizada es de 0,43km² y el área con vegetación dunar es de 0,44km². Debido a esta relación es que evaluamos esta zona como poco vulnerable, ya que el estado de intervención es “poco intervenida”. Esta evaluación concuerda con la evaluación realizada mediante el análisis subjetivo de las imágenes satelitales.

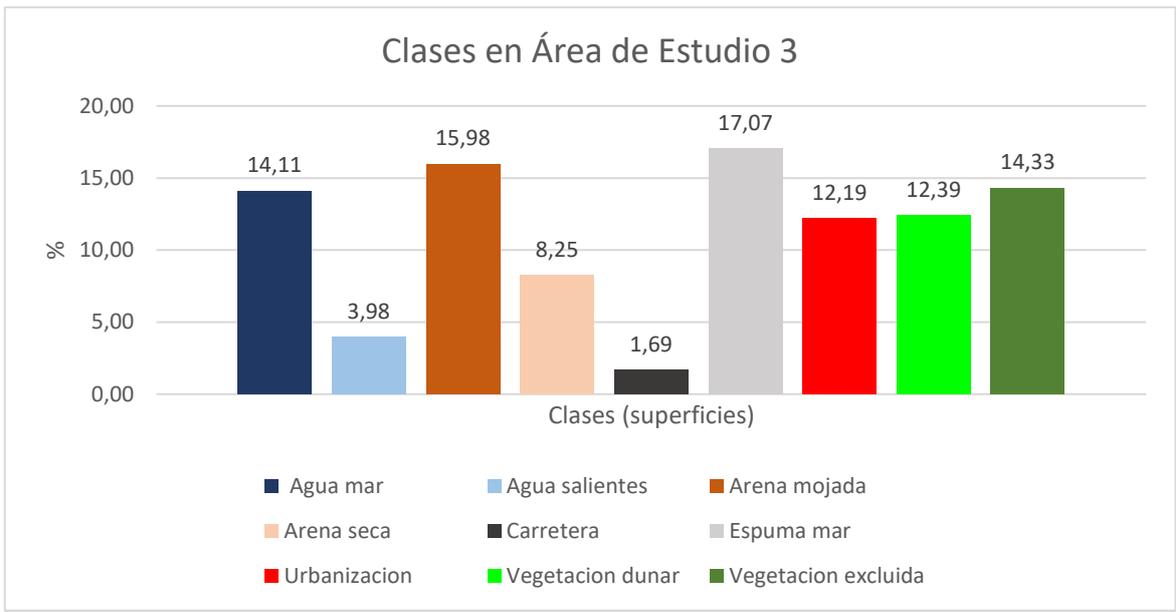


Figura 3.8 Porcentajes de las clases identificadas para la evaluación de dunas costeras mediante clasificación supervisada en el área de estudio 3

3.5 Caracterización detalla

3.5.1 Características litorales

Los valores de las características litorales se muestran en la tabla 3.1. Estos valores son los promedios de los tomados durante la salida de campo. La corriente litoral tuvo una dirección predominante hacia la derecha de la costa, es decir, en dirección noreste, con velocidades entre 0,12 m/s a 0,31m/s. La velocidad del viento fue relativamente constante durante la toma de datos, estuvo entre los 3,3m/s a los 4,18m/s, con variaciones pequeñas durante el día, el rango de incidencia del viento fue desde los 223° hasta 341° con dirección predominante del noroeste. Por último, en cuanto al oleaje, las alturas medias son de 56cm, 63cm y 55cm con periodo de aproximadamente 14 segundos, siendo esta una frecuencia elevada, y el ángulo de incidencia viene del suroeste. El tipo de ola rompiente registrado fue plunging.

Tabla 3.1 Valores promedios de características litorales tomadas en el área de estudio 3

Característica	Parámetro	San Antonio	Playa Bruja	Valdivia
Corriente Litoral	Velocidad	0,20m/s	0,31m/s	0,2m/s
	Dirección	Derecha	Derecha	Antes de las 12pm: Izquierda

				Luego de las 12pm: Derecha
Viento	Velocidad	3,3m/s	3,13m/s	4,18
	Dirección	341°	315°	223°
Oleaje	Periodo	14.23s	14.54s	13s
	Altura	56cm	63cm	55cm
	Tipo	Plunging	Plunging	Plunging
	Dirección	249°	267°	279°

3.5.2 Perfil playa-duna

De manera general, las gráficas de los perfiles de duna-playa tomados con nivel óptico muestran amplias zonas de playa, con extensiones entre 30m y 40m, y con una pendiente positiva. En cuanto a la zona de dunas la mayor altura que se llega a registrar en las dunas embrionarias es de 1m y la menor es de 0.25m. En cuanto a los componentes morfológicos que se llegan a distinguir en las tres zonas son: duna embrionaria, cresta estable de la anteduna y la depresión dunar *swale*, como se puede observar en las figuras 3.9, 3.10, y 3.11 para San Antonio, Playa Bruja y Valdivia, respectivamente. Estos componentes corresponden al sistema de dunas primarias, *foredune*, y con esta información tomada en campo se corrobora la clasificación identificada en las imágenes satelitales para esta área de estudio.

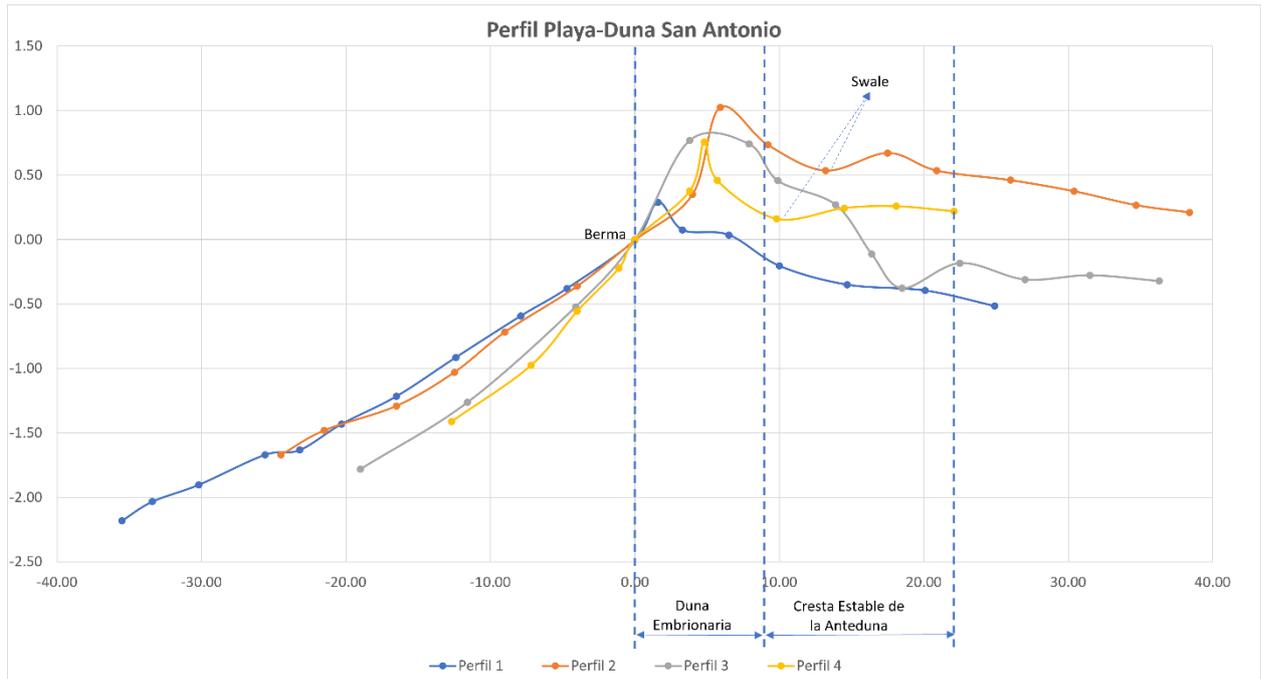


Figura 3.9 Perfil playa-duna para el sistema de dunas de San Antonio, Santa Elena

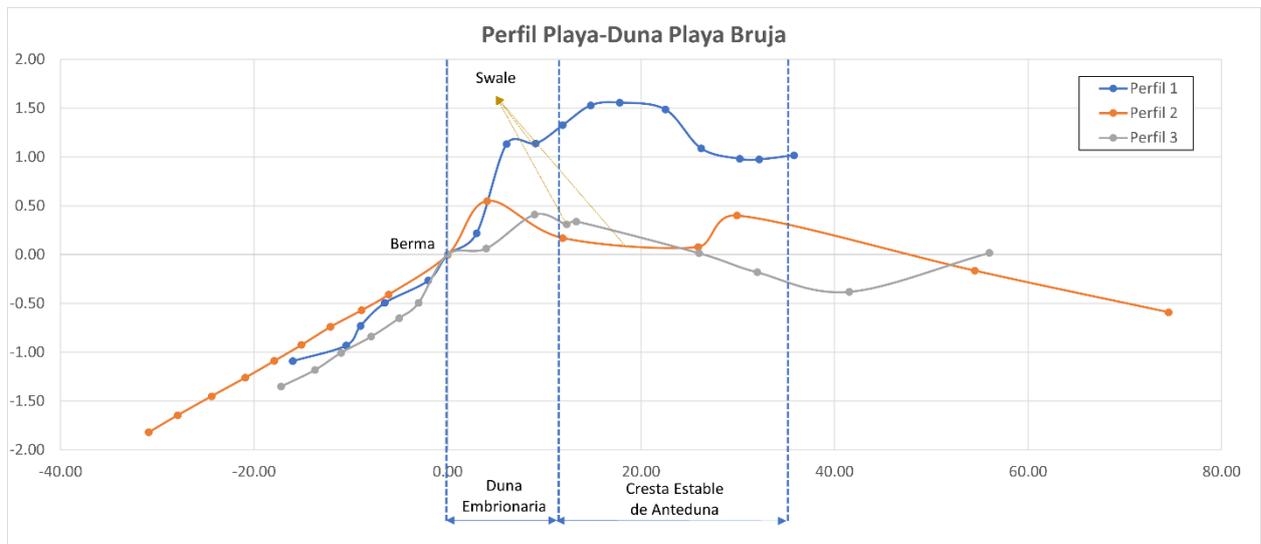


Figura 3.10 Perfil playa-duna para el sistema de dunas de Playa Bruja, Santa Elena

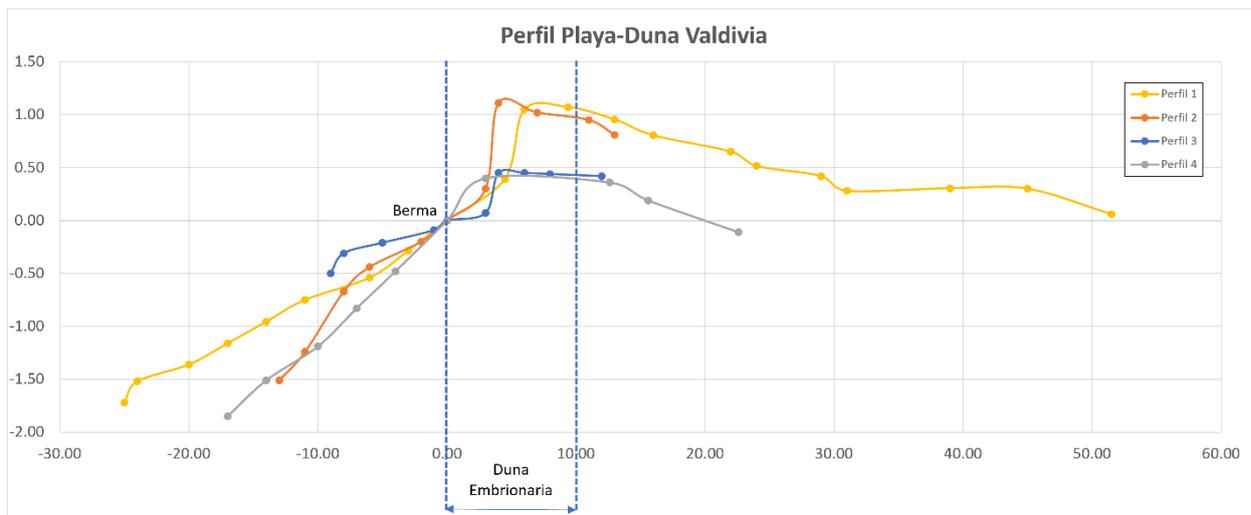


Figura 3.11 Perfil playa-duna para el sistema de dunas de Valdivia, Santa Elena

3.5.3 Sedimentos de playa

En la tabla 3.2 se muestran los valores del D50 del tamaño del grano de arena luego del análisis granulométrico de cada zona de dunas dentro del área de estudio 3.

Los resultados de los análisis granulométricos mostraron curvas granulométricas muy similares (ver apéndice E), para San Antonio y Playa Bruja, para todas las zonas de playa. Valdivia muestra diferencias en las curvas para las zonas de playa, y que la zona baja tiene un mayor sesgo hacia los finos. En general, el tamaño promedio de las partículas se encuentra dentro de la clasificación de arenas finas. El mayor D50 fue hallado en la arena de la marea alta y del pie de duna lo que refleja una elevada actividad energética por parte del oleaje que llega hasta ese nivel, mientras que el menor valor se ubica en la marea baja denotando un aporte de material fino desde el mar hasta la cara de la playa. Las gráficas granulométricas de cada área de dunas se las encuentra en el apéndice E.

Tabla 3.2 Diámetro medio de las partículas de sedimento D50 para 4 zonas de la playa del área de estudio 3

Zona de playa	D50 [mm]		
	San Antonio	Playa Bruja	Valdivia
Baja	0,103	0,206	0,187
Media	0,237	0,221	0,357
Alta	0,311	0,274	0,398
Pie de duna	En alta	0,328	En alta

3.6 Banco de preguntas

El banco de preguntas se realizó siguiendo el modelo de encuestas CAP. Las encuestas fueron aplicadas en el área de estudio 3 (tramo San Antonio - Valdivia), con el fin de conocer la percepción que tiene los habitantes sobre las dunas costeras, siendo estos un actor importante sobre el tema de este trabajo, ya que son actores con un alto nivel de interés. Se realizó una entrevista guiada por voluntarios capacitados en temas referentes a dunas costeras, así se entrevistó a un total de 10 personas, con edades entre 20 a 58 años, 50% de estos pertenecientes al género femenino y el otro 50% al masculino y todos eran nativos del lugar.

En esta sección se presentan los gráficos a las 3 preguntas más relevantes de la encuesta, una por cada sección, de capacidades, actitudes y prácticas. En la figura 3.12 se aprecia el resultado de una pregunta de la sección “Capacidades”, donde el 70% de los encuestados indicaron desconocer que son las dunas costeras, el otro 30% no conocían con exactitud el término, pero supieron explicarlo señalando el área en la playa. En la figura 3.13 se presenta el resultado de una pregunta de la sección “Actitudes”, donde el 50% de los encuestados indicaron que creen que las dunas costeras deben preservarse, esta respuesta se presenta no por el hecho de conocer la importancia y función de estas formaciones, si no por una conciencia que ya tienen los habitantes al de la importancia de conservar las playa lo menos intervenidas, según supieron expresar en conversaciones desarrolladas mientras se ejecutaba la encuesta. Por último, en la figura 3.14 se muestra el resultado de una pregunta de la sección de “Prácticas”, donde los de acuerdo con los encuestados no han tenido la iniciativa para realizar actividades a favor de la conservación o manejo de las dunas costeras, este resultado se relaciona con el de conocimientos, ya que al no saber la importancia de estas formaciones no tiene la motivación para trabajar a favor de estas.

En general, en el sector, hasta el momento se ignora la presencia de las dunas costeras, se la reconoce como vegetación nada más, e incluso ha sido un lugar destinado para la quema de basura, tampoco se ha realizado algún tipo de actividad, ya sea por parte de los habitantes o de las autoridades, para difundir información sobre las dunas. En el apéndice F se adjuntan los resultados de todas las preguntas realizadas.



Figura 3.12 Resultado de la encuesta CAP, sección Conocimientos.

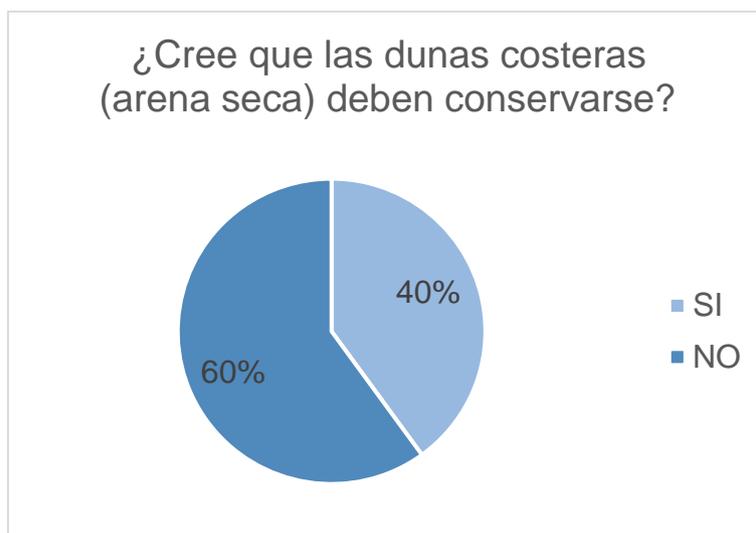


Figura 3.13 Resultado de la encuesta CAP, sección Actitudes.

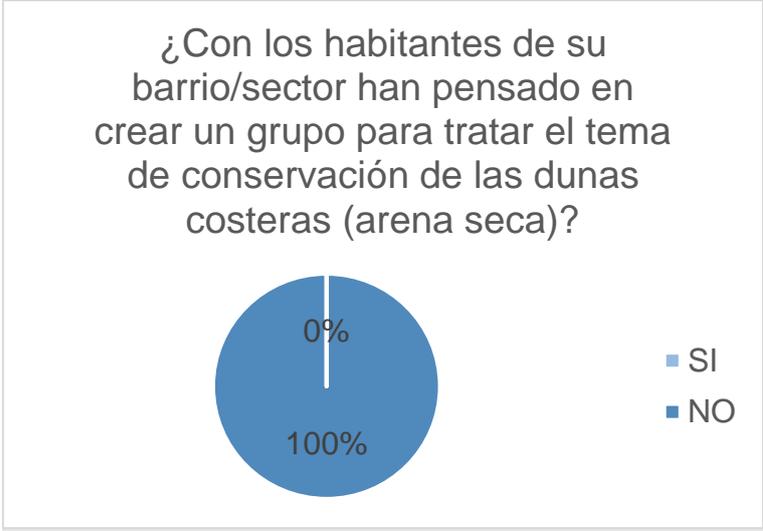


Figura 3.14 Resultado de la encuesta CAP, sección Práctica

.....

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Con los criterios para el análisis de sistemas de dunas basados en interpretación de imágenes satelitales, se diseñó una metodología que con la cual se identificaron 130 sistemas de dunas costeras. Con un total de 226,07km de sistemas presentes a lo largo de los 1305km de línea de costa ecuatoriana conformada por las provincias litorales de Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Guayas y El Oro.

El porcentaje de zona dunas costeras identificado (17,32%), en función de las zonas de playa de barrera y planicies litorales con la que cuentan las costas del Ecuador, es aparentemente pequeño, en comparación a la longitud total de borde costero.

Los criterios de identificación y validación permitieron identificar 48 sistemas de dunas en la provincia de Santa Elena, de los cuales, cerca del 50% fueron validados como zonas de dunas costeras. Dando resultados poco óptimos, pero que permiten realizar una fácil y rápida identificación de estas geoformas.

Los criterios de caracterización y clasificación son óptimos para el análisis de dunas costeras, siendo la mayoría de los sistemas de dunas clasificados como primarios y caracterizados con vegetación pionera; en contraste con la teoría que menciona que las dunas primarias tienen como característica el desarrollo de ese tipo de vegetación, presentando una relación congruente entre los resultados obtenidos mediante este análisis.

En contraste con los anteriores resultados obtenidos, la provincia de Manabí cuenta con 37km de sistemas de dunas terciarios, representando el 47% de en los 78km de sistemas de dunas identificados. Siendo estos datos incongruentes debido al gran desarrollo urbanístico y turístico de la provincia, por lo cual, para dar veracidad a la identificación de esos sistemas, es necesario la validación en campo.

El 100% de los sistemas descartados pertenecen al nivel de certeza “Bajo,” es decir, estaban desarrollados en zonas de acantilado o prolongaciones arenales, siendo estos, rasgos geológicos costeros no propicio para la generación de zonas de dunas. Por esto, se establece que zonas costeras correspondientes a playas de barrera y planicies litorales son indicadores que le dan certeza y confiabilidad a la identificación realizada mediante la interpretación de imágenes satelitales.

De los 226km de sistemas dunares analizados, el 50,7%, que son 114,90km de línea de costa con dunas, están “muy intervenidos” por asentamientos humanos (zonas urbanas, industriales) de acuerdo con la evaluación subjetiva aplicada, poniendo a los sistemas en un estado de “muy vulnerable” por la gran cantidad de asentamientos adyacentes a las dunas, siendo que con el crecimiento de estos pueden terminar invadiendo al 100% las áreas de dunas y así estas desaparecerían.

Los habitantes de zonas adyacentes a las dunas costeras desconocen la existencia, desarrollo e importancia que tienen de estas geoformas, ya que el 70% de los encuestados mostró poco conocimiento sobre los temas abordados en los tres componentes de la encuesta CAP, es así como tampoco se realizan ningún tipo de actividades para socializar estos temas dentro de la comunidad y por lo que se encuentran en un estado muy intervenido.

Recomendaciones

Alimentar la base de datos generada, mediante búsqueda bibliográfica y recopilación de data sobre características litorales y sedimentos de playa que se haya tomado y procesado en el desarrollo de otros proyectos. Esto con el fin de que en futuras investigaciones se pueda procesar esta información, para rediseñar y acoplar metodologías o índices para el estudio de dunas costeras, como por ejemplo continuar con el desarrollo y adaptación del índice ReDune que fue establecido por (Mendoza, 2022).

Debido al resultado positivo que se tuvo con la evaluación de las zonas de dunas mediante clasificación supervisada, se recomienda aplicar ese método en todos los sistemas identificados y así definir áreas críticas y de mayor interés que requieran un análisis más profundo para empezar a que sean conservadas.

Dentro de los criterios de validación, agregar otro subcriterio, como el año de la imagen satelital, ya que varias de las zonas que fueron descartadas, se debieron a que actualmente ya no eran zonas representativas por la cantidad de

intervención que habían sufrido, quedando solo pequeñas áreas, de un par de metros con presencia de vegetación.

Existen sistemas de dunas a los cuales no se puede acceder o son de difícil acceso por lo que limita la validación en campo, para estos casos se puede aplicar técnicas de teledetección como análisis mediante combinación de bandas o alguna metodología de las técnicas de clasificación donde se pueda llegar a validar estas zonas.

Para la caracterización se puede aplicar índices de cobertura vegetal mediante la teledetección, para obtener información más específica del tipo y estado de la vegetación desarrollada sobre los sistemas de dunas. Siendo que, la cobertura vegetal es un elemento relevante que conforman los sistemas de dunas.

Para la evaluación de la vulnerabilidad que tienen las zonas de dunas costeras realizar un análisis multitemporal mediante imágenes satelitales para analizar el crecimiento urbano adyacente a zonas de dunas y con esa tasa obtener una definición del estado de vulnerabilidad de las zonas. También se puede aplicar los varios índices que tienen relación con la intervención antropogénica como el Corine Land Cover (CLC) que clasifica y procesa data de acuerdo al grado de intervención antropogénica.

Se debe aplicar la encuesta CAP a otros actores de interés en cuanto a investigación y conservación de dunas costeras, como los son: autoridades y turistas. Esto con el fin de tener una retroalimentación de la misma y tener en cuenta la percepción de más actores que intervienen, tanto en toma de decisiones como en desarrollo de actividades, sobre y en los alrededores de las dunas costeras.

BIBLIOGRAFÍA

- Albertos, B., San Miguel, E., Draper, I., Garilleti, R., Lara, F., & Varela, J. M. (2010). *Estado de conservación de la vegetación dunar en las costas de la Comunidad Valenciana*. 121–134.
- Álvarez, R., Núñez, L., Calderón, F., & Mendoza, E. (2020). Producción y comercialización de productos de curtiembre de piel de pescado, Santa Elena – Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*, XXVI (4), 353–367. <https://doi.org/10.31876/RCS.V26I1.31324>
- Barne, J. H., Robson, C. F., Kaznowska, S. S., Doody, J. P., & Davidson, N. C. (1995). *Coasts and seas of the United Kingdom Region 5 North-east England: Berwick-upon-Tweed to Filey Bay*.
- Barros, S., & Orlando Gutiérrez, J. (2011). *CONTROL Y FORESTACION DE DUNAS COSTERAS EN CHILE*.
- Bezzi, A., Pillon, S., Martinucci, D., & Fontolan, G. (2018). *Inventory and conservation assessment for the management of coastal dunes, Veneto coasts, Italy*. 503–518. <https://doi.org/10.1007/s11852-017-0580-y>
- Bird, E. (2000). *Coastal Geomorphology an Introduction Second Edition*.
- Boothroyd, J. C., Ayon, H., Robadue, D. D., Vásconez, J., & Noboa, R. (1994). *Características de la línea costera del Ecuador y recomendaciones para su manejo (Shoreline characteristics and management recommendations for the coast of Ecuador)*. Coastal Resources Center.
- CAMBIAR, & Gutiérrez, J. O. (2011). *EFECTO DEL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA SOBRE LA VEGETACIÓN Y FLORA DUNARIA EN LA COSTA DE RITOQUE Y CON-CÓN, PROVINCIA DE VALPARAÍSO (V REGIÓN, CHILE)*. 41–62.
- Davidson-Arnott, R. (2010). *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*.
- Doody, J. (2005). Sand dune inventory of Europe. *VLIZ Special Publication*, 19, 685–730.
- Gobierno Provincial de Manabí. (2011). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Manabí, 2015-2024*. https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1360000120001_PDyOT%20Manabi%20actualizado%2031-10-2016%20%C3%BAltimo_29-12-2016_09-46-27.pdf
- Mendoza, K. (2022). *Dunas costeras del cantón Playas, una aproximación para su estudio*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. www.cepal.org/es/suscripciones
- Navarrete, D. (2018). *Diseño de una plataforma web para la consolidación de información marino-costera en el cantón Santa Elena*. [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/131485/D-76659.pdf>
- Ottman, F. (1967). *Introducción a la geología marina y litoral* (Primera). Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Proyecto Global ABS, Voluntario Naciones Unidas, División Biodiversidad, & Área de Comunicación del Mvotma-Dinama. (2019). *Encuesta CAP, Acceso a Recursos Genéticos y Participación en los Beneficios*. https://espolecmy.sharepoint.com/personal/sizcmant_espol_edu_ec/Documents/tesis_OneDrive/bibliograf%C3%ADa%20Sizi/CAPs/Encuesta_de_Conocimientos_Actitudes_y_Practicas_-_Uruguay.pdf?CT=1676058250146&OR=ItemsView
- Psuty, N. P. (2008a). *The Coastal Fore-dune A Morphological Basis for Regional Coastal Dune Development.pdf* - Google Drive (Vol. 171). <https://drive.google.com/file/d/1igAfQS3bcVdiVZZnbpS1-0SXKZMY8c30/view>
- Psuty, N. P. (2008b). *The Coastal Fore-dune A Morphological Basis for Regional Coastal Dune Development.pdf* - Google Drive (Vol. 171). <https://drive.google.com/file/d/1igAfQS3bcVdiVZZnbpS1-0SXKZMY8c30/view>
- Regione, E.-R. (2016). *Gestione delle celle litoranee SICELL* (C. Marasmi & C. Marasmi, Eds.).
- Rodriguez, N. (2017). *Los servicios ecosistémicos que proveen las dunas costeras de la Península de Baja California como un instrumento para la toma de decisiones* [Universidad Autónoma de Baja California]. <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20.500.12930/231/1/ENS086507.pdf>
- Rooney, P. (2010). Changing perspectives in coastal dune management. *Journal of Coastal Conservation*, 71–73. <https://doi.org/10.1007/s11852-010-0092-5>
- Ruiz, E. (2022). *Transformación del borde costero de Chanduy; Santa Elena*.
- Salinas, M. (2014). *Proyecto de factibilidad técnica, económica y financiera del cultivo de ostra del pacífico en la parroquia Manglaralto, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena*. Universidad de Guayaquil.
- Thomas, L. J., & Seabergh, W. C. (1997). *LEO LITTORAL ENVIRONMENT OBSERVATIONS TYPES OF LITTORAL VARIABLES OBSERVED AND RECORDED*.

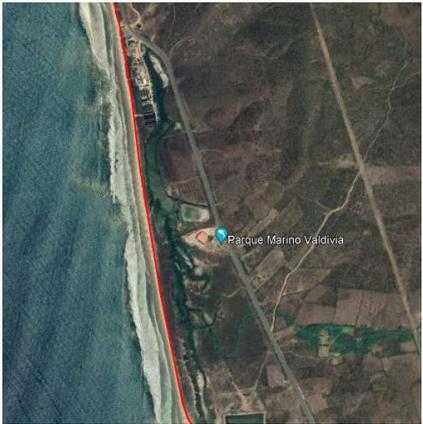
- Trujillo Vera, C. C. (2018a). *Contribución de las dunas costeras en los servicios ecosistémicos en el litoral de Tanaca, distrito de Yauca, provincia de Caravelí, región Arequipa 2017*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Trujillo Vera, C. C. (2018b). *Contribución de las dunas costeras en los servicios ecosistémicos en el litoral de Tanaca, distrito de Yauca, provincia de Caravelí, región Arequipa 2017*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Vega de Seoane, C. L., Gallego Fernández, J. B., & Vidal Pascual, C. (2007). *Manual de restauración de dunas costeras*.
- Willington, E., Nolasco, M., & Bocco, M. (2013). Clasificación supervisada de suelos de uso agrícola en la zona central de Córdoba (Argentina): comparación de distintos algoritmos sobre imágenes Landsat. *Congreso Argentino de AgroInformática*, 207–2016.
- Wolfe, S. A. (2010). *An inventory of active sand dunes and blowouts in the Prairie Provinces, Canada*. 6–19. <http://geopub.rncan.gc.ca/>

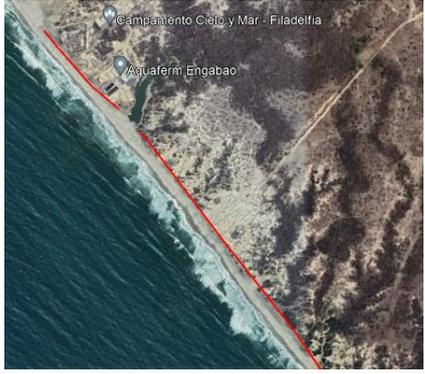
APÉNDICES

APÉNDICE A

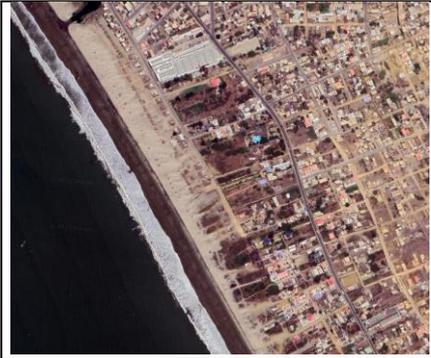
Tabla de criterios

En la siguiente tabla se presentan los criterios y parámetros establecidos para la identificación, caracterización, clasificación, evaluación y validación de las dunas costeras.

Tipo de criterio	Criterio	Parámetro	Detalle	Escala [m]
Identificación	Colorimetría	Gris oscuro	Aparente presencia de vegetación dunar.	1:200
		Verde oscuro		
		Marrón		
	Colorimetría	Gris claro	Playa seca	1:100
Marrón claro				
Identificación	Identificación de área	Aparente presencia de playa seca		1:100
Caracterización	Longitud de sistema de dunas	Menos de 1km de separación entre dunas	Sistema continuo 	1:1000
		Más de 1km de separación entre dunas	Diferentes sistemas	1:1000
		Presencia de salientes de agua		

		Prolongaciones arenales		
	Aparente tipo de vegetación	Textura aparente	Incipiente, arbustiva	1:1000
Clasificación	Aparente tipo de vegetación	Textura aparente	Incipiente = dunas primarias	1:100
				
			Arbustiva = dunas secundarias o terciarias	1:200
				

Clasificación	Cobertura Vegetal	Estimación de porcentaje	<80% = dunas primarias	1:400
				
Evaluación	Intervención antropogénica	Cantidad estimada de infraestructura adyacente	~100% = dunas secundarias o terciarias	1:300
				
			No intervenida	1:600
Poco intervenida	1:600			
				
			Muy intervenida	1:300

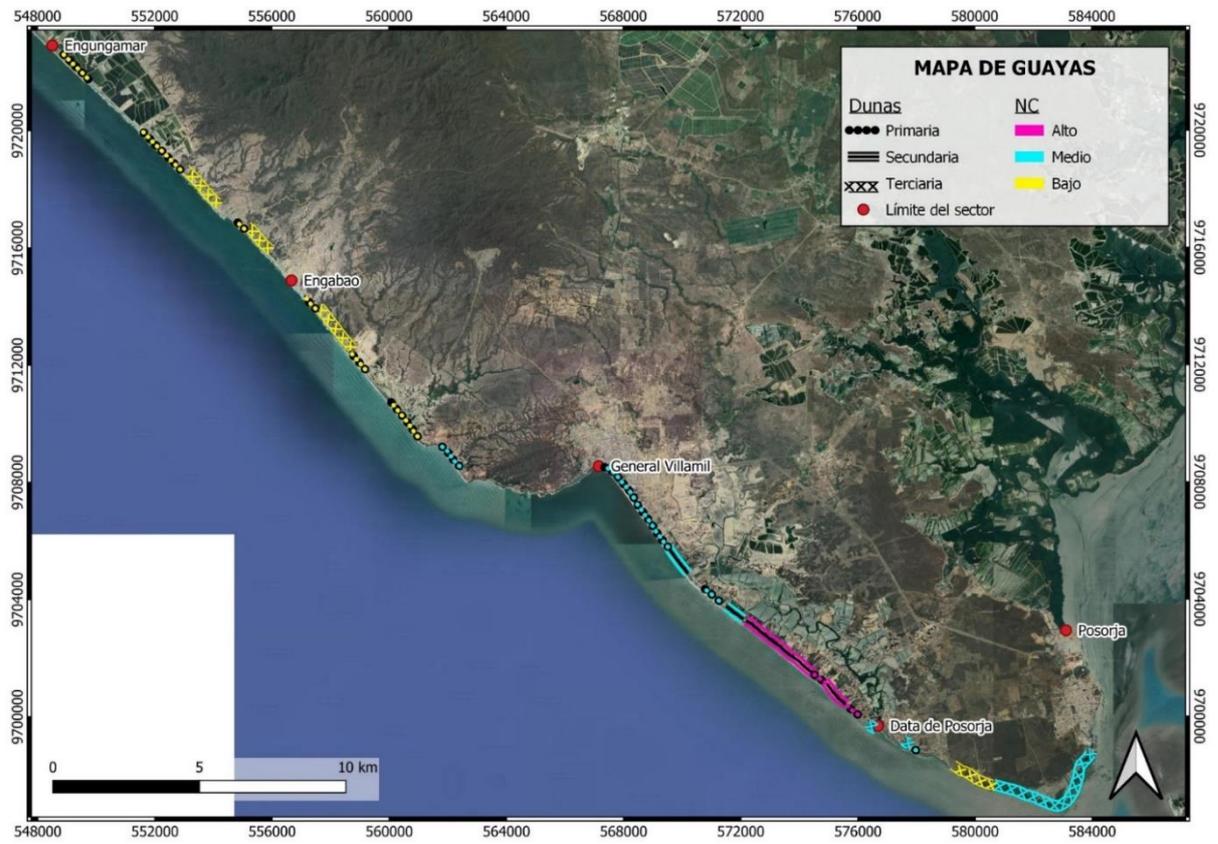
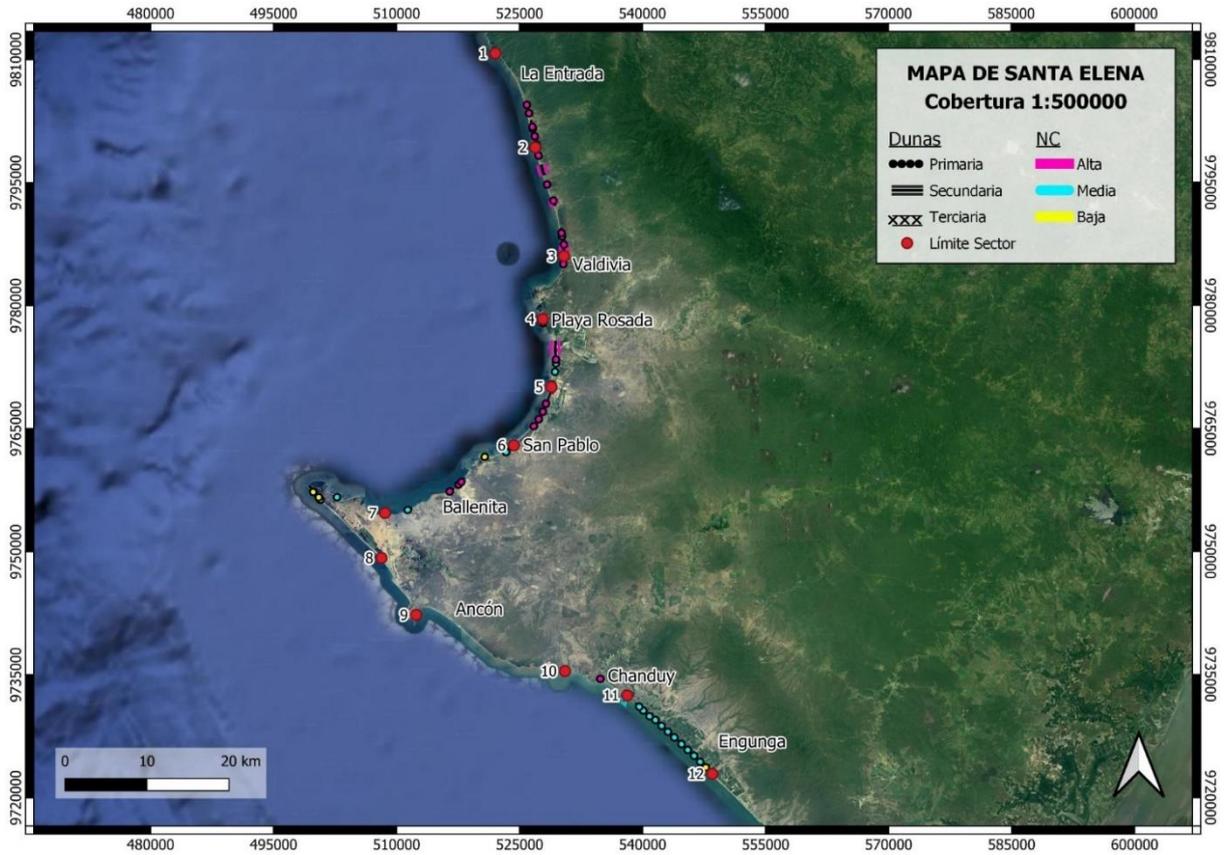
				
Validación	Rasgo geológico costero	Playa de barrera	Rasgos geológicos con morfología propicia para la formación de dunas.	No aplica
		Planicie litoral		
		Acantilado	Rasgos geológicos con morfología NO propicia para la formación de dunas.	No aplica
	Prolongaciones arenales			
	Complementarios	Verificación en campo	Visita al sistema dunar in situ.	No aplica
Identificación en Google Earth Pro		Cumple con los criterios de identificación.	No aplica	

APÉNDICE B

Mapas generales de la identificación de dunas costeras de Ecuador

En los siguientes gráficos se presentan los mapas de las provincias de Esmeraldas, Santa Elene, Guayas y El Oro. Estos mapas fueron generados en QGis y forman parte del producto: “Acercamiento al Primer Atlas de Dunas Costeras del Ecuador”.







APÉNDICE C

Encuesta CAP

A continuación se presenta la encuesta diseñada y aplicada a los habitantes del área de estudio 3.

Buenos días/tardes. La Escuela Superior Politécnica del Litoral está realizando un estudio sobre temas de **interés general**. Por este motivo solicitamos su colaboración y se la agradecemos anticipadamente.

Le garantizamos protección de datos personales y una vez grabada la información de forma anónima, los cuestionarios individuales son destruidos inmediatamente.

Llenar la siguiente información general:

Información General:

Edad (años):			
Sexo:	Masculino		Femenino
Provincia:			Cantón:
Parroquia:			Barrio/Sector:
¿A qué grupo pertenece?			
GAD Provincial		Habitantes de la comunidad	
GAD Parroquial		Sector turístico	
GAD Cantonal		MATE (Ministerio de Agua y Transición Ecológica)	

Marque con una (x) las siguientes preguntas.

CONOCIMIENTO

1. ¿Sabe que son las dunas costeras? Si su respuesta es NO pase a la pregunta 7.

Si

No

2. Dunas costeras son:

Arena seca presente en la playa (tierra adentro)	
Arena húmeda presente en la playa (mar adentro)	

3. ¿Para qué sirven las dunas costeras (arena seca)?

Protección del oleaje	
Mejorar el paisaje	
Reservar arena para la playa	
No son útiles	

4. ¿Sabe cómo se forma una duna costera (arena seca)?

Influencia del viento	
Acumulación de sedimentos	
Fuerza del oleaje	
No sabe	

5. ¿Cree que las dunas costeras (arena seca) son importantes?

Si

No

6. Las dunas costeras (arena seca) son importantes por ser:

Barreras naturales de protección contra fenómenos de la naturaleza.	
Hábitat de gran biodiversidad (flora y fauna).	
Parte del valor estético y cultural.	
Zonas de recarga de acuíferos (agua dulce).	
Esenciales para la existencia de las playas.	

ACTITUDES

7. ¿Cree que las dunas costeras (arena seca) deben conservarse?

Si

No

8. Dentro de su barrio/sector se han impartido charlas sobre: como conservar las dunas costeras (arena seca). Si su respuesta es NO pase a la respuesta 12.

Si

No

9. Dentro de estas actividades seleccione aquellas que ayudan a conservar la zona de dunas costeras (arena seca).

No sacar arena de la playa	
Construir viviendas/cabañas/hoteles alejados de la zona de dunas (arena seca)	
Evitar el ingreso vehicular a la playa	
Prohibir actividades recreativas en la zona de dunas (arena seca)	

10. Seleccione los problemas que afectarían a su sector luego de un fuerte oleaje:

Inundaciones	
Pérdida de playa	

Daños de estructuras	
----------------------	--

11. Si hubiese inundaciones usted cree que se debe a:

Tener su casa/hotel cerca de la playa	
Ausencia de dunas costeras (arena seca)	
No hay mucho espacio de playa	

12. Si se dieran charlas o capacitaciones para conservar las dunas costeras (arena seca) ¿estaría dispuesto a participar?

Si

No

13. ¿Cree que el municipio ha trabajado para conservar dunas costeras (arena seca)? Si su respuesta es NO continúe con la pregunta 15.

Si

No

PRÁCTICA

14. De las siguientes opciones, ¿qué acciones ha realizado el municipio para la conservación de dunas costeras (arena seca)?

Relleno de playa	
Restablecimiento de cobertura vegetal sobre dunas costeras (arena seca)	
Establecer normativas para el control y cuidado de las zonas de dunas costeras	
Informar a la ciudadanía sobre la importancia de las dunas costeras (arena seca)	

15. Con los habitantes de su barrio/sector han pensado en crear un grupo para tratar el tema de conservación de las dunas costeras (arena seca). Si su respuesta es NO pase a la pregunta 17.

Si

No

16. ¿Qué actividades han definido para conservar las dunas costeras (arena seca)?

17. Si usted observa que están extrayendo arena de la playa, entonces:

Lo permite, no es importante	
Se acerca para conocer si tienen los permisos para extraer arena	
Avisa a las autoridades	
Le es indiferente	

18. ¿Cree que las grandes construcciones cerca de la playa causan problemas? ¿por qué?

Si

No

Contribuyen a la degradación ambiental	
Interfieren en la dinámica costera, afecta a las dunas (arena seca)	
Invaden el hábitat de especies	
Contribuyen a la extracción de arena de la playa	

19. Conoce de algún proyecto o programa que ayude a conservar las dunas costeras (arena seca) o mejorar los esfuerzos contra la erosión y pérdida de playa. Si su respuesta es no pase a la pregunta 21.

Si

No

Mencione en qué consiste:

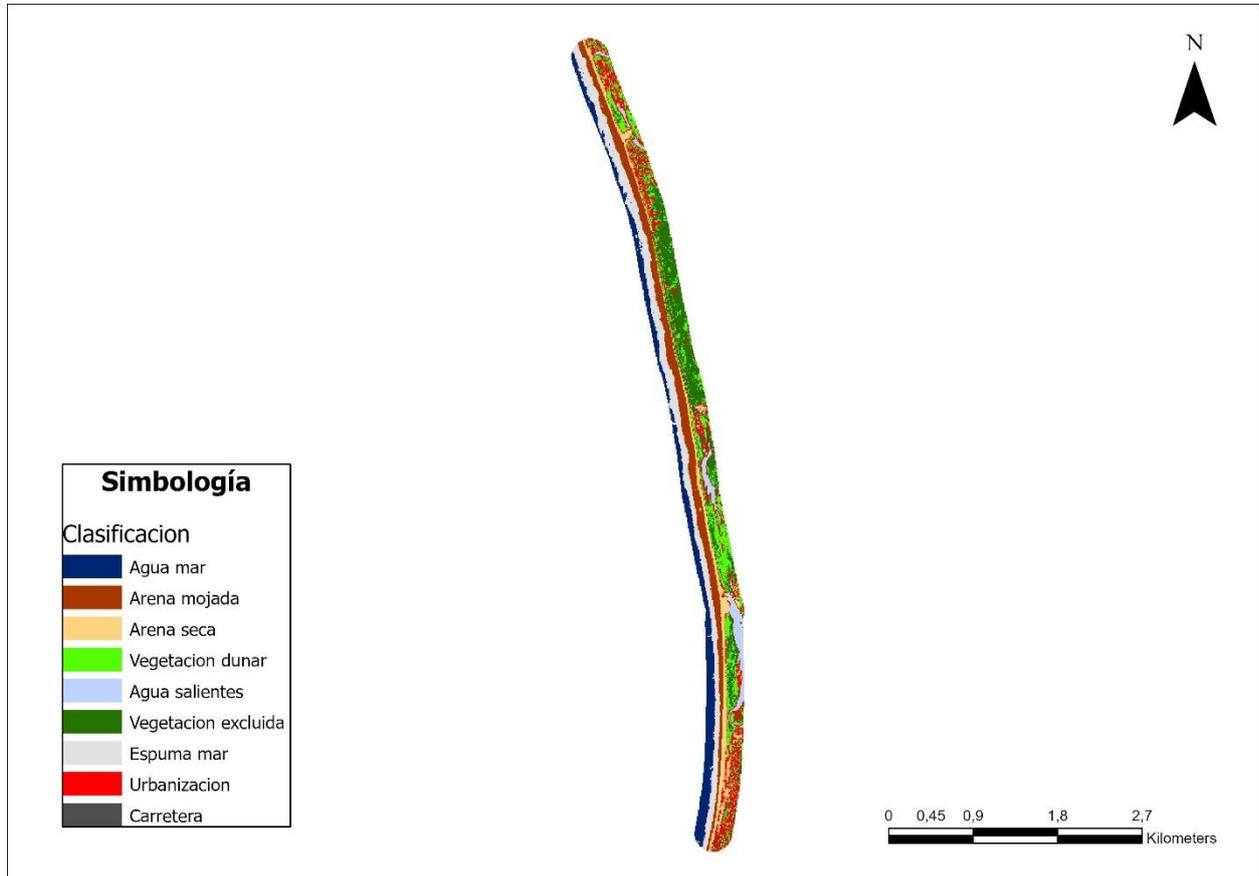
20. Si se realizaran actividades/normas para conservar las dunas costeras (arena seca), ¿estaría dispuesto a participar en las actividades y cumplir con las normas?

Si	
No	
Me es indiferente, no me parece importante	

APÉNDICE D

Clasificación supervisada

En la siguiente figura se presenta la clasificación supervisada aplicada en el área de estudio 3, para realizar la validación de la evaluación.

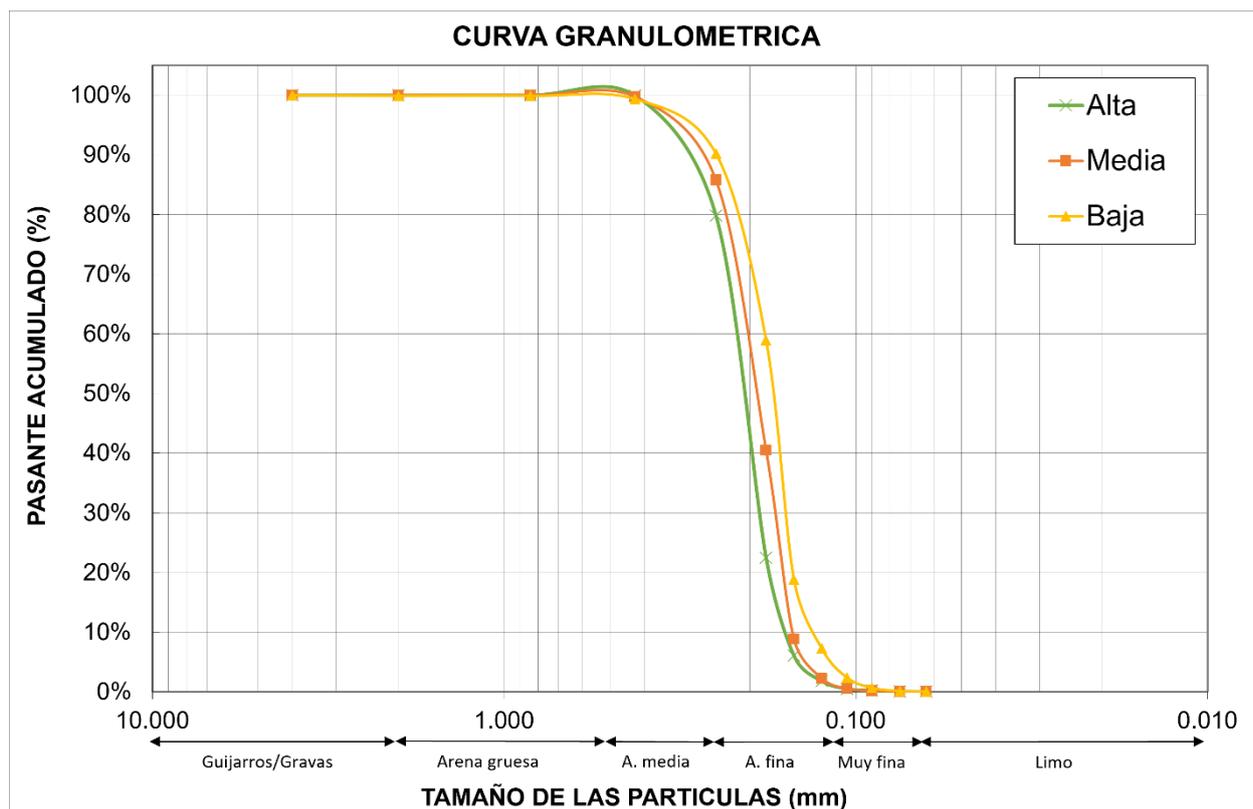


APÉNDICE E

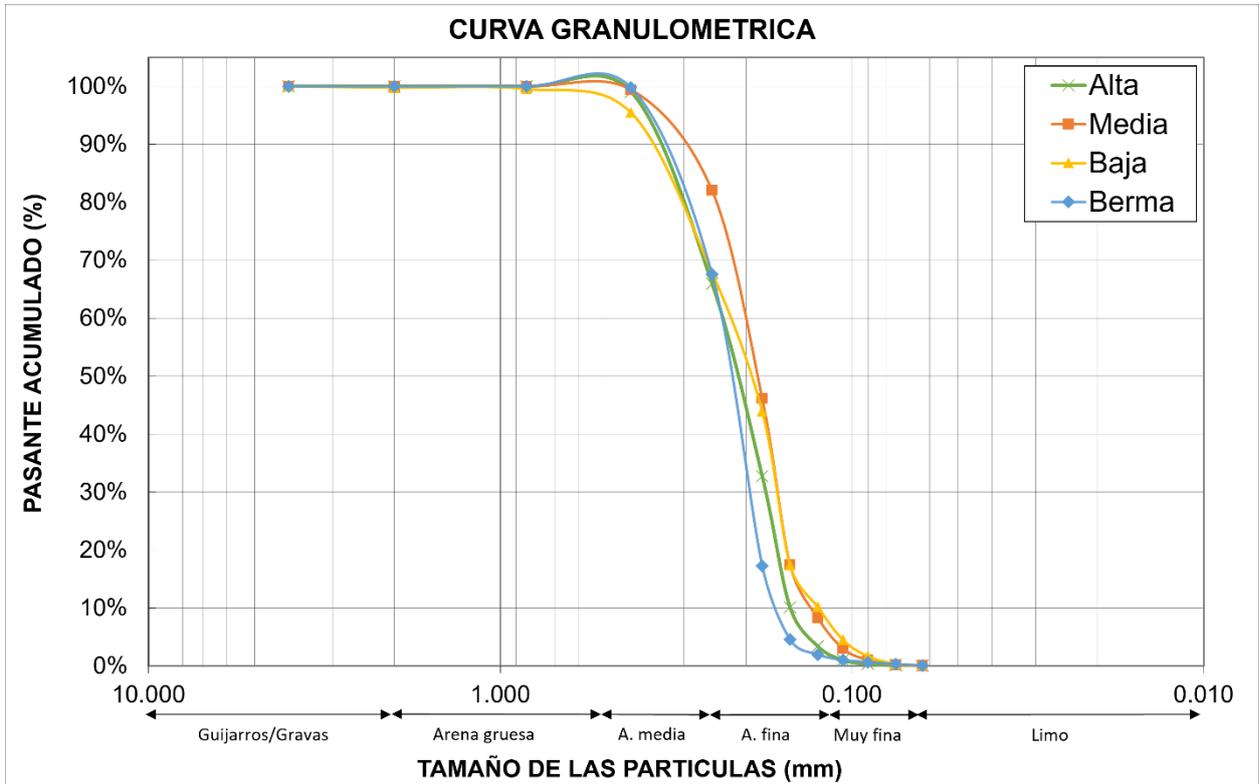
Gráficos de Curva Granulométrica

Las siguientes figuras representan las curvas granulométricas de los sedimentos muestreados en las tres estaciones del área de estudio 3.

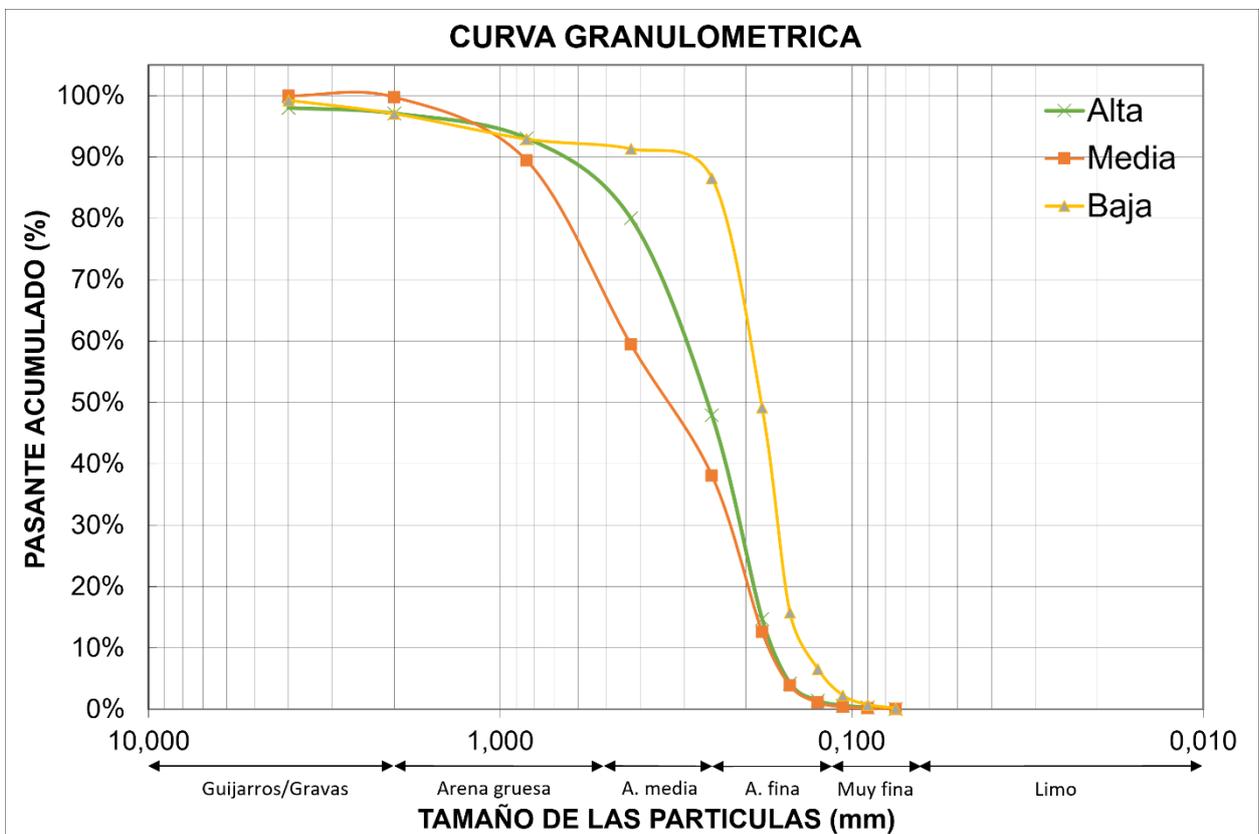
San Antonio



Playa Bruja



Valdivia

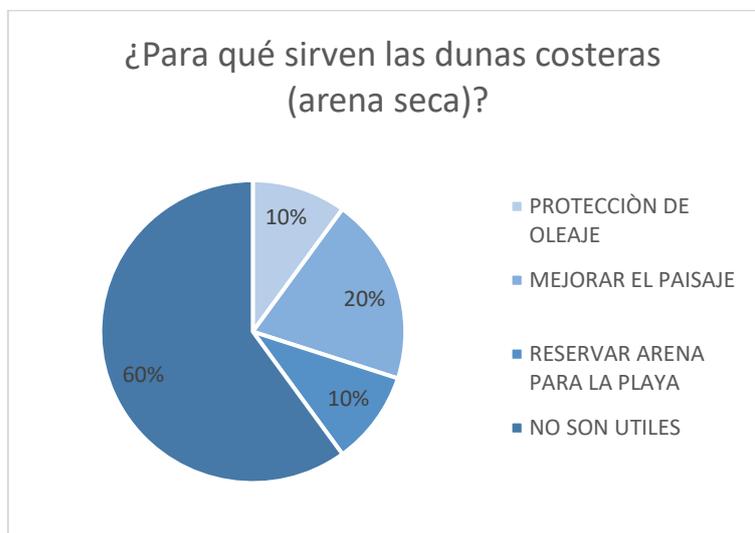
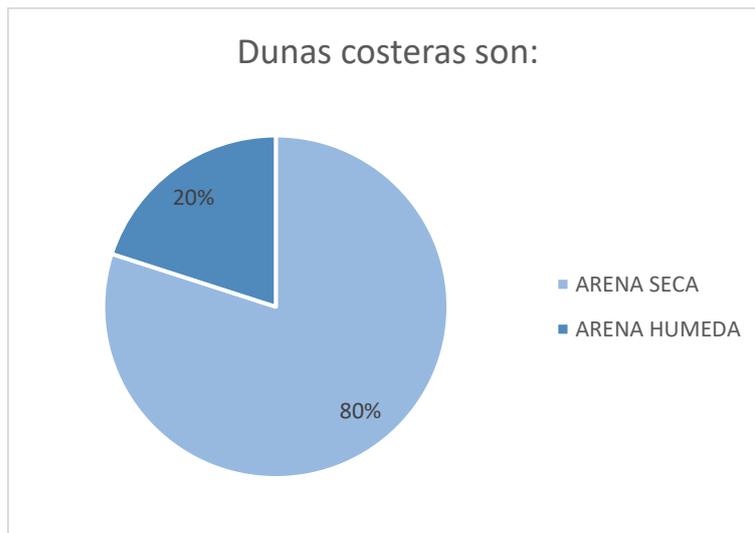


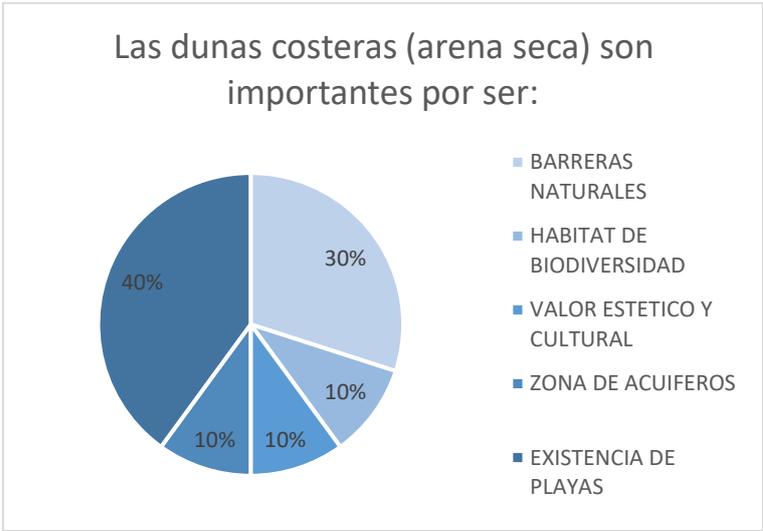
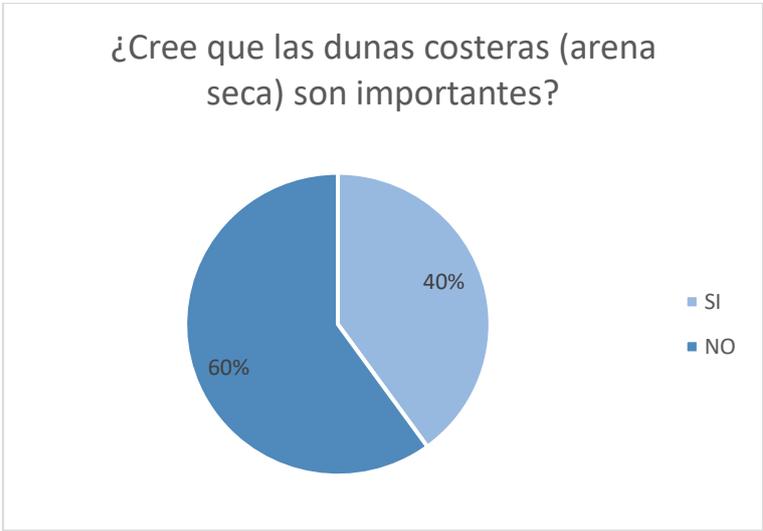
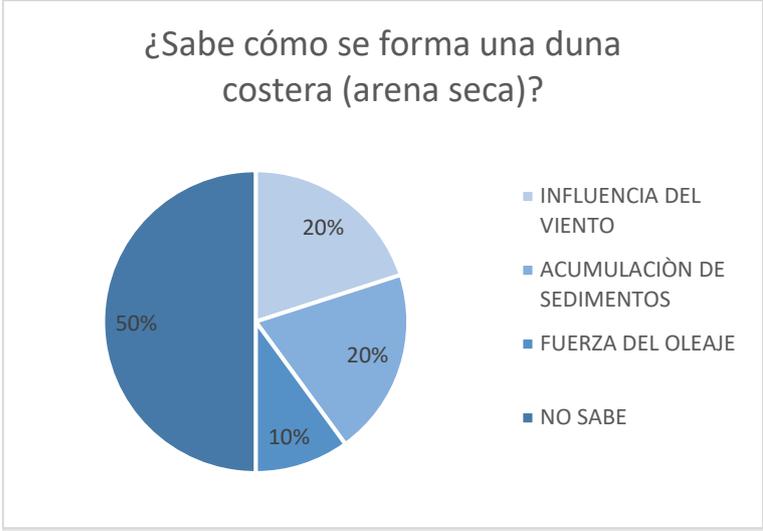
APÉNDICE F

Resultados de la encuesta CAP

Las siguientes figuras muestran los resultados de las 21 preguntas planteadas dentro de la encuesta CAP.

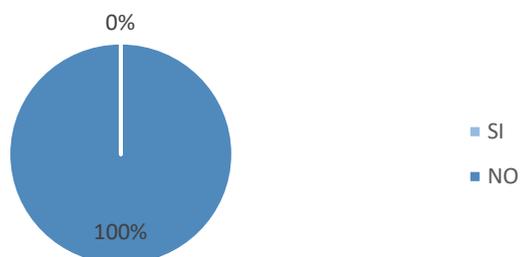
Preguntas CAP (Conocimiento)



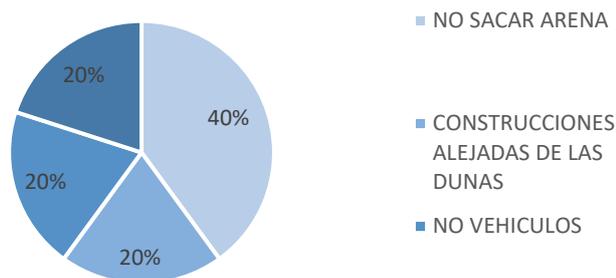


Preguntas CAP (Actitudes)

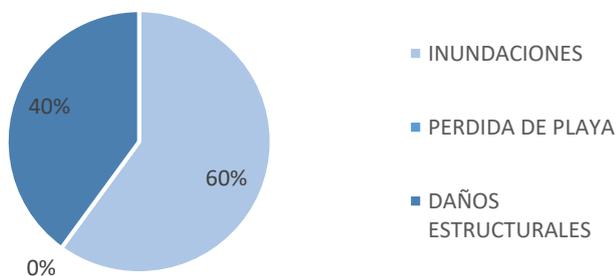
Dentro de su barrio/sector se han impartido charlas sobre: como conservar las dunas costeras (arena seca).



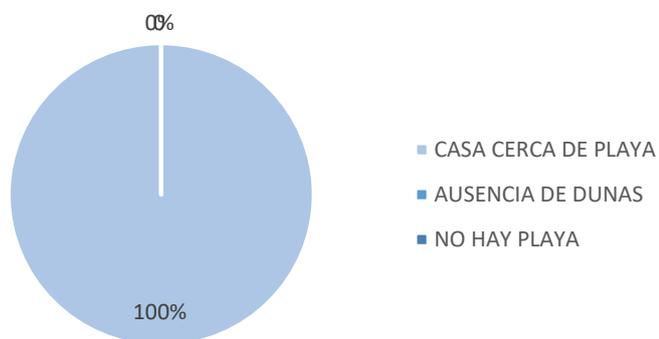
Dentro de estas actividades seleccione aquellas que ayudan a conservar la zona de dunas costeras (arena seca).



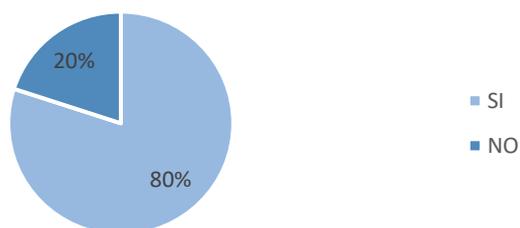
Seleccione los problemas que afectarían a su sector luego de un fuerte oleaje:



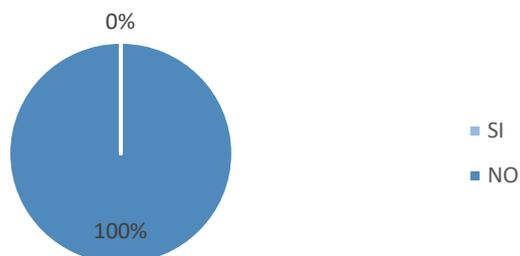
Si hubiese inundaciones usted cree que se debe a:



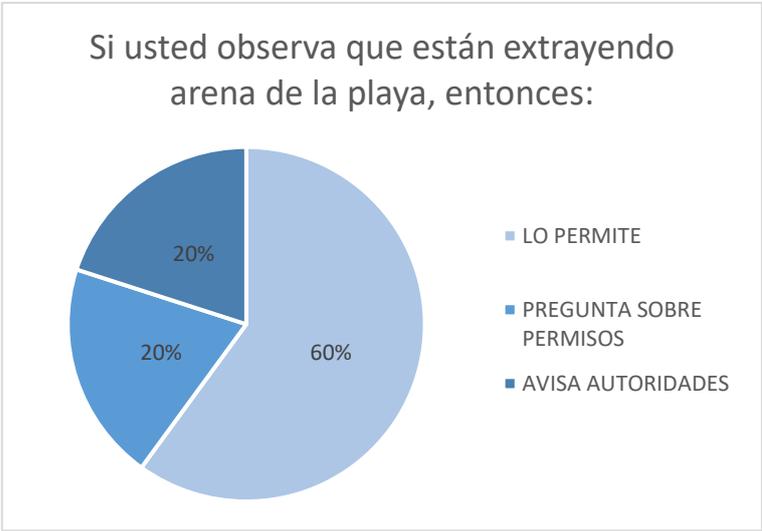
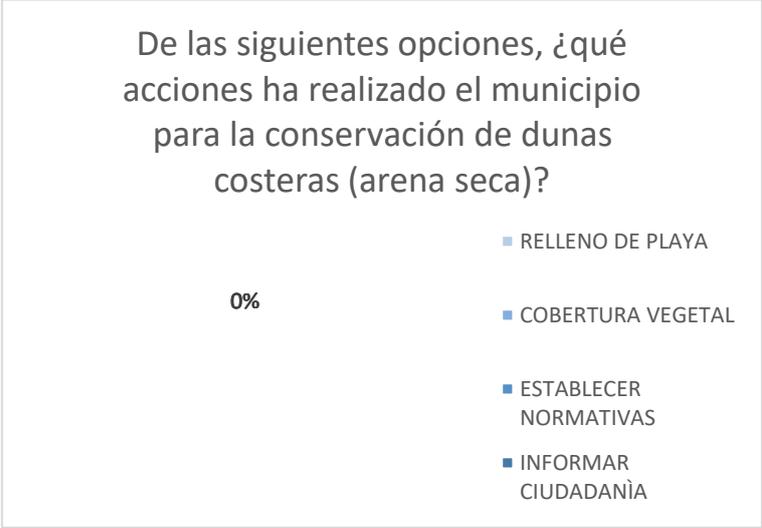
Si se dieran charlas o capacitaciones para conservar las dunas costeras (arena seca) ¿estaría dispuesto a participar?



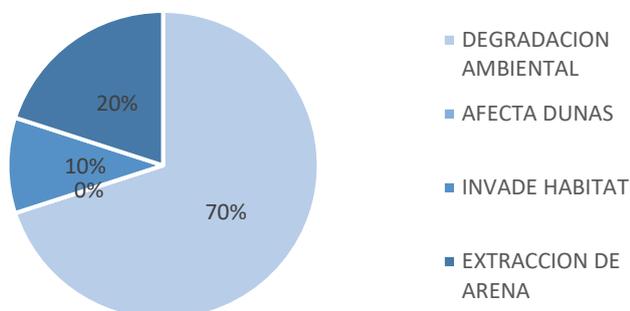
Cree que el municipio ha trabajado para conservar dunas costeras (arena seca)? Si su respuesta es NO continúe con la pregunta 15



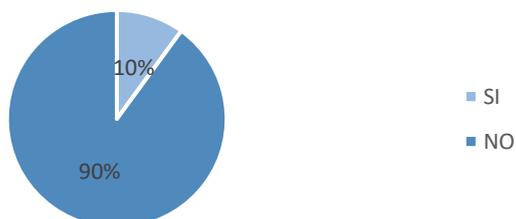
Preguntas CAP (Práctica)



¿ Cree que las grandes construcciones cerca de la playa causan problemas?
¿por qué?



Conoce de algún proyecto o programa que ayude a conservar las dunas costeras (arena seca) o mejorar los esfuerzos contra la erosión y pérdida de playa.



Si se realizaran actividades/normas para conservar las dunas costeras (arena seca), ¿estaría dispuesto a participar en las actividades y cumplir con las normas?

