



Pontificia Universidad Católica de Chile
Facultad de Historia, Geografía y Ciencia Política
Instituto de Geografía

EROSION COSTERA Y TURISMO SUSTENTABLE DE PLAYAS EN CHILE: EL CASO DE LA BAHÍA DE CARTAGENA

POR

DANIEL IGNACIO UGALDE NAEGEL

Trabajo de Graduación presentado al Instituto de Geografía de la
Pontificia Universidad Católica de Chile,
para optar al grado académico de Magister en Geografía y Geomática.

Profesor guía:

CAROLINA MARTÍNEZ REYES

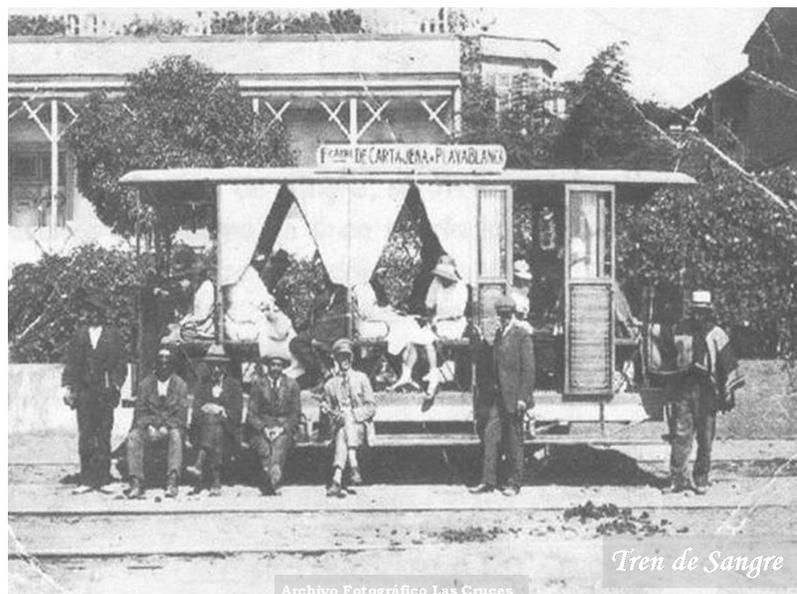
Diciembre, 2021

Santiago, Chile

©2021, Daniel Ignacio Ugalde Naegel

“Las Cruces, linda población que se ha formado al término de la Playa Grande de Cartagena en montículos que se levantan alrededor de un semicírculo de blanquísima arena, defendida por rocas de formas caprichosas i donde se llega por una línea de carritos tirados por caballos”. Artículo del 15 de febrero de 1914 del diario La Voz de Cartagena.

“Ferrocarril de Cartagena [sic] a Playa Blanca (Las Cruces)”



Fuente: fotografía extraída del diario 'La Voz de Cartagena', verano de 1912.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer al Programa de Magíster en Geografía y Geomática, por otorgarme una beca interna, con la que fue posible financiar mis estudios.

Agradezco profundamente a mi profesora guía Dra. Carolina Martínez por orientar cada avance de esta tesis, gracias por sus consejos y su calidad humana; especialmente cuando pase por momentos difíciles durante la pandemia. Gracias por otorgarme las facilidades para finalizar esta investigación y disponer de su tiempo en resolver las dudas que se fueron suscitando.

Por último, pero no menos importante, a mi familia y compañeros del máster que colaboraron con sus observaciones sobre el turismo y enfoque de otras disciplinas; ajenas a la geografía.

CONTENIDO	Pág.
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Estado del arte	12
1.2. Planteamiento del problema	19
1.3. Hipótesis	24
1.4. Objetivos.....	24
1.4.1. Objetivo general	25
1.4.2. Objetivos específicos.....	25
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	26
2.1. ¿Qué es la costa y cómo funciona?.....	26
2.1. Célula litoral	27
2.2. Procesos costeros.....	29
2.2.1 Escalas de estudio.....	30
2.3. Cambio climático y sus impactos en las costas	31
2.3.1. Erosión costera	32
2.3.2. ENOS.....	33
2.4. La gestión sostenible del litoral.....	34
2.5. La gestión hacia la calidad ambiental y su relación con el turismo	35
2.6. Gestión de playas en Chile	37
2.7. Clasificación de playas según turismo costero	38
2.7.1. Playas turísticas	40
2.7.2. Playas naturales	40
2.7.3. Playas populares	41
2.8. Indicadores de calidad paisajística según tipología de playa	42

2.8.1. Parámetros físicos.....	43
2.8.2. Parámetros humanos.....	44
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	46
3.1. Definición del área de estudio y características geográficas	46
3.1.2. Célula litoral	47
3.2. Metodología.....	52
3.2.1. Determinar las variaciones espacio-temporales en la posición relativa de la línea litoral durante el período 1963-2019.	53
3.2.2. Generar un Índice de Sostenibilidad para Playas Turísticas (ISPT) para los balnearios de la Playa Grande.	57
3.3.3. Zonificar el litoral arenoso de la Bahía de Cartagena de acuerdo con el Índice de Sostenibilidad para Playas Turísticas (ISPT).....	63
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	64
4.1. Determinar las variaciones espacio-temporales en la posición relativa de la línea litoral durante el período 1963-2019.	64
4.2. Generar un Índice de Sostenibilidad para Playas Turísticas (ISPT) para los balnearios de la Playa Grande.	74
4.3. Zonificar el litoral arenoso de la Bahía de Cartagena de acuerdo con el Índice de Sostenibilidad para Playas Turísticas (ISPT)	91
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN	98
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Célula litoral (delimitación de la zona costera).	28
Figura 2: Interacciones en el sistema costero.	29
Figura 3: Escalas de evolución espacio-temporal de las costas.....	31
Figura 4: Equipamiento requerido para certificación Bandera Azul	36
Figura 5: Administración del borde costero chileno.	37
Figura 6: Extensión longitudinal de los balnearios ubicados en la Bahía de Cartagena.47	
Figura 7: Modelo 3D de la Bahía de Cartagena, Región de Valparaíso.....	48
Figura 8: Macrosistema Ensenada Cartagena.....	49
Figura 9: Carta geológica Bahía de Cartagena.	51
Figura 10: Extracción de línea litoral utilizando el criterio geomorfológico	55
Figura 11: Incertidumbre de las líneas litorales en DSAS.....	56
Figura 12: Evolución de la línea litoral en Playa Grande para el período 1963-2019 mediante el método WLR.....	67
Figura 13: Evolución de la línea litoral en Playa Grande para el período 1963-2019 mediante el método LRR.....	68
Figura 14: Estado de erosión o estabilidad para las playas analizadas (método WLR). 69	
Figura 15: Estado de erosión, estabilidad o acreción para las playas analizadas (método LRR).	70
Figura 16: Variación longitudinal de la línea litoral utilizando WLR.....	71
Figura 17: Variación longitudinal de la línea litoral utilizando LRR.....	71
Figura 18: NSM de la línea litoral en temporada estival durante período 2003-2019 ...	73
Figura 19: Histograma de calificación para la Playa Grande de Cartagena.	75
Figura 20: Histograma de promedios ponderados para la Playa Grande de Cartagena. 76	
Figura 21: Histograma de calificación para la Playa San Sebastián.....	78
Figura 22: Histograma de promedios ponderados para la Playa San Sebastián.	79
Figura 23: Histograma de calificación para la Playa Costa Azul	80
Figura 24: Histograma de promedios ponderados para la Playa Costa Azul.	81
Figura 25: Histograma de calificación para la Playa San Carlos.	83
Figura 26: Histograma de promedios ponderados para la Playa San Carlos.....	84
Figura 27: Histograma de calificación para Playas Blancas.....	85

Figura 28: Histograma de promedios ponderados para Playas Blancas.	86
Figura 29: Histograma de calificación para Playa Grande Las Cruces.	87
Figura 30: Histograma de promedios ponderados para Playa Grande Las Cruces.	88
Figura 31: Índice de evaluación D para las seis playas estudiadas.	90
Figura 32: ISPT de los seis balnearios en estudio, escala 1:20.000.	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Beneficios del programa <i>Blue Flag</i>	36
Tabla 2: Indicadores de calidad paisajística físicos.	44
Tabla 3: Indicadores de calidad paisajística antropogénicos.	45
Tabla 4: Listado de fotografías e imágenes satelitales utilizadas en el estudio.	53
Tabla 5: Tasa media de erosión (m/año) para litorales arenosos.	57
Tabla 6: Lista de control empleada en esta investigación.	59
Tabla 7: Matriz de Jerarquías Analíticas.	61
Tabla 8: CRP, RMSE y EQMc de las bases cartográficas utilizadas.	64
Tabla 9: Incertidumbre de las líneas litorales requeridas por el método WLR.	65
Tabla 10: Tasas de cambio y estadísticos de la línea litoral.	66
Tabla 11: Capacidad de carga de las comunas del litoral central.	89
Tabla 12: Análisis bacteriológico realizado en playas del litoral Central.	92

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Erosión de la Playa Grande de Cartagena ocasionada por las marejadas del 21 de enero 2021. Nótese la cantidad de sedimento en suspensión (color marrón del mar).	69
Fotografía 2: Fotografía aérea oblicua de la ensenada de Cartagena, se aprecia el transporte longitudinal del sedimento de sur a norte desde el Río Maipo a la Bahía de Cartagena.	72
Fotografía 3: Amplio estrán arenoso de la Playa Grande de Las Cruces.	73
Fotografía 4: Trazado rítmico de la línea litoral, nótese la topografía.	74
Fotografía 5: Sobrepaso (<i>overtopping</i>) de la terraza Galvarino Gallardo Nieto,	75
Fotografía 6: Atractivos turísticos playa Grande de Cartagena (año 2003). Nótese la magnitud del litoral arenoso, a lo lejos se observa el Humedal de Cartagena.	77

Fotografía 7: Erosión costera en Playa Grande de Cartagena, a lo lejos se observa el Humedal de Cartagena.....	77
Fotografía 8: Extracción de agua en lecho mayor del Estero de Cartagena o San Sebastián utilizada para el riego de monocultivo.	79
Fotografía 9: Playa San Carlos, fotografía tomada el 13 de febrero de 2021. Nótese el nivel máximo del oleaje y la desaparición de la anteduna bordera en Costa Azul.....	82
Fotografía 10: Inundación de viviendas ubicadas en ribera oriente de la Quebrada Los Helechos producto de las marejadas del 22 de agosto.....	82
Fotografía 11: Esqueleto de individuo perteneciente al complejo cultural Llolleo, rescatado al este de la Laguna El Peral.....	84
Fotografía 12: Escaño de piedra y cemento con forma de herradura del Ferrocarril de Sangre, Playa Grande Las Cruces.....	86
Fotografía 13: Superación de la capacidad de carga turística en Playa Grande de Cartagena, sábado 15 de febrero de 2020.....	89
Fotografía 14: En el ovalo rojo se aprecia el emisario submarino ubicado entre las antedunas, los estacionamientos y el humedal de Cartagena.	93
Fotografía 15: Iniciativas ambientales en la zona.	94
Fotografía 16: Rotura de la barra litoral que separa el estero Cartagena con el mar debido a las marejadas del 22 de agosto de 2021.....	95
Fotografía 17: Playa Grande de Cartagena entre 1936 y 1952.....	96

Esta tesis ha sido apoyada por el proyecto Fondecyt 1200306 "Evolución costera y factores de cambio en Chile: criterios para la adaptación y resiliencia de la zona costera en Chile" (Dra. Carolina Martínez) y por el Instituto Milenio en Socioecología Costera (SECOS), Chile.

RESUMEN

Esta investigación evaluó la calidad paisajística de seis playas urbanas de la Bahía de Cartagena en Chile central. Para ello se utilizó el Índice de Sostenibilidad de Playas Turísticas (ISPT), conformado por 36 parámetros, agrupados en tres factores: 20 físicos, 15 antropogénicos y 1 mixto correspondiente al estado de la línea litoral. Este último factor, incorpora un análisis a escala histórica de la línea litoral a partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales, con el propósito de determinar cambios espacio-temporales del litoral arenoso.

Se determinó una tasa retroceso de la Playa Grande de -0.45 m/año para el período 1963-2019 (56 años), donde el 66% de las playas urbanas ubicadas en el sector centro-sur de la bahía se encuentran con erosión, mientras que el 34% restante de playas ubicadas al norte se encuentran en estados estacionario o con leve tendencia a la acreción. El ISPT incorporó este factor mixto, resultando valores 'D' altos en los balnearios Las Cruces (0.75), Playas Blancas (0.70) y San Carlos (0.66) correspondiendo a playas CLASE 2, caracterizadas por la conservación de unidades geográficas sensibles, aguas no contaminadas, ausencia de ruido y una alta seguridad manifestada en una buena gestión municipal. Mientras que los balnearios Costa Azul (0.59), San Sebastián (0.60) y Cartagena (0.64), corresponden a playas CLASE 3, debido a la presencia de estructuras antrópicas rígidas como costaneras, malecones, plantas de impulsión de aguas servidas, emisario submarino, terrazas, conjugado con una fuerte presión antrópica sobre campos dunares, humedales, esteros y quebradas; lo que ha degradado la calidad paisajística de sus playas y, por consiguiente, la experiencia recreativa de sus usuarios.

Estos resultados pueden ser aplicados a la gestión turística sustentable de las playas, mediante el diseño de instrumentos de planificación y la obtención de ecocertificaciones como *Blue Flag*, que permitan compatibilizar funcionalización y conservación en un ambiente tan complejo y frágil como es la zona costera.

ABSTRACT

This research evaluated the landscape quality of six urban beaches of the Cartagena Bay in Central Chile. For this purpose, the Tourist Beaches Sustainability Index was used, composed of 36 parameters, grouped into three factors: 20 physical, 15 anthropogenic and 1 mixed corresponding to the state of the coastline. This last factor incorporates a historical scale analysis of the coastline from aerial photographs and satellite images, with the purpose of determining time-space changes of the sandy coastline.

A decline rate of Playa Grande of -0.45 meters per year was determined for the period 1963-2019 (56 years), where 66% of urban beaches located in the central-south sector of the bay are found with erosion, whereas the remaining 34% of beaches located to the north are in stationary states or with a slight tendency to accretion. The Tourist Beaches Sustainability Index incorporated this mixed factor, resulting in high 'D' values in the resorts Las Cruces (0.75), Playas Blancas (0.70) and San Carlos (0.66) corresponding to CLASS 2 beaches, characterized by the conservation of sensitive geographic units, non-polluted waters, absence of noise and high security manifested in good municipal management. While Costa Azul (0.59), San Sebastián (0.60) and Cartagena (0.64) watering places correspond to CLASS 3 beaches, due to the presence of rigid anthropic structures such as coastlines, seawalls, sewage treatment plants, submarine outfall, terraces, combined with a strong anthropic pressure on dune fields, wetlands, estuaries, and streams, which has degraded the landscape quality of its beaches and, consequently, the recreational experience of its users.

These results can be applied to the sustainable tourist management of the beaches, through the design of planning instruments and the obtaining of eco-certifications such as Blue Flag, which enable coordinating the functionalization and conservation in an environment as complex and fragile as the coastal zone.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Durante muchos años, el ambiente costero y más precisamente las playas, vienen sufriendo un uso irracional, descuidando y desaprovechando la gran cantidad de oportunidades que les ofrece. La importancia del recurso playa reside en sus características que lo hacen un sistema tan único como frágil. Por ello es esencial su estudio y comprensión, para diseñar instrumentos de gestión orientados hacia la sostenibilidad.

Este espacio constituye uno de los activos medioambientales más importantes de los recursos costeros, siendo soporte de una gran riqueza biológica y reservorio natural, y un elemento clave para cualquier política de protección de costas. Algunas de los servicios ecosistémicos que proveen son (MEA, 2005):

- Aprovechamiento (provisión de pesca y productos marinos; infraestructura de transporte acuático; regulación y provisión de oleajes),
- Regulación (regulación del clima; protección del territorio frente a las tormentas; erosión, transporte y sedimentación),
- Hábitat, soporte o de base (provisión de hábitat para especies relevantes; reproducción y dispersión de recursos hidrobiológicos relevantes),
- Culturales o estéticas (sistemas de conocimiento; valores estéticos del paisaje; sentido de pertenencia; entre otros).

Por otro lado, vinculado a los servicios ecosistémicos culturales o estéticos, el litoral satisface necesidades humanas de recreación, esparcimiento y descanso, constituyéndose además como el principal recurso convocante de desplazamientos en destinos turísticos costeros. Su función turístico-recreativa hace de la playa un espacio cuyas variables ambientales deben mantenerse en buen estado, debido a que la preservación de lo natural se transforma en factor clave de desarrollo turístico para competir en mercados cada vez más sensibles y exigentes en torno a lo medioambiental.

Esta variedad en la concepción del litoral y sus diferentes valores asignados, lo convierten en un bien común y, a la vez un recurso costero factible de producir ventajas económicas. La gran diversidad de usos que se dan en un mismo espacio (uso residencial, explotación de

recursos, turístico-recreativos, uso de conservación y protección de diversidad, entre otros), genera conflictos de intereses entre los actores intervinientes que se debaten entre su conservación y su aprovechamiento.

El litoral de la Bahía de Cartagena, en Chile central (33°30'-33°33' S) ha experimentado una serie de conflictos medioambientales asociado a una intensa urbanización de la zona costera, reflejada en la incoherencia entre usos de suelo y una deficiente planificación territorial por parte de las autoridades locales, que ha repercutido en la calidad ambiental de sus playas (Cáceres, 1987; Vicuña, 1987; Castro y Andrade, 1989; Castro e Hidalgo, 2002; Ugalde, 2018).

La Playa Grande, nombre original de la playa Cartagena, San Sebastián, Costa Azul, San Carlos, Playas Blancas y Las Cruces, se caracteriza por su alta biodiversidad de ambientes naturales (esteros, estuarios, quebradas, humedales, campos dunares, acantilados) y representan polos turísticos, tanto de antiguas culturas prehispánicas como también de aristócratas santiaguinos; que con la llegada del ferrocarril en 1921 a Cartagena conformaron estos balnearios. Según explica el cronista ferroviario Mariano Bay en el libro *“Líneas Férreas: identidad entre durmientes: La historia del ferrocarril en la región de Valparaíso”*, la extensión del ramal San Antonio a Cartagena tuvo un sólo objetivo, el turístico:

“El ferrocarril Santiago-San Antonio-Cartagena fue un tren pionero porque fue el primer ferrocarril turístico de Chile. Por ferrocarril, el balneario de Cartagena quedaba a sólo 118 kilómetros de la estación Alameda de Santiago, lo que era mucho menos que los 178 kilómetros que separaban Viña del Mar de la estación Mapocho. A pesar de que el tren entre Viña del Mar y la capital ya estaba electrificado desde 1928, nunca llegó a tener tanta demanda excursionista por la ruta Santiago-San Antonio-Cartagena, por la que fluyeron millones de santiaguinos durante más de medio siglo y en ruta hacia la playa”.

De esta manera, surge la necesidad de generar un índice para la Bahía de Cartagena que permita caracterizar los atributos físicos y antrópicos que tienen sus playas, y con ello, compatibilizar funcionalización y conservación turística, con el objeto de mejorar su gestión, entendiendo que los posibles usos son muy variados y los intereses, muchas veces contrapuestos, deben ser armonizados para evitar la degradación del ambiente, y por consiguiente la pérdida de calidad del espacio y de la experiencia recreativa de sus usuarios.

1.1. Estado del arte

La intensa antropización a lo largo de las costas del mundo ha aumentado en las últimas décadas, especialmente debido a las actividades relacionadas con el turismo costero, que surgió como una de las industrias más importantes en el mundo (Jones & Phillips, 2011). El mercado de sol, mar y arena (Dodds & Kelman, 2008) es considerado como una alternativa atractiva para vacacionar y/o asentarse (Castro & Morales, 2006), por ejemplo, en el Caribe la llegada de turistas se ha quintuplicado, pasando de 166 millones en 1970 a 935 millones en 2010 (Botero *et al.*, 2013a). De este modo, en las últimas décadas la zona costera se ha configurado a partir de actividades de extracción, ocio, turismo y residencial.

Lo anterior, ha provocado diversas modificaciones en la zona costera. El auge de construcciones en primera línea de segundas viviendas en las últimas décadas, asociadas a grandes proyectos inmobiliarios (Hidalgo *et al.*, 2016), son el principal factor de cambio de la zona costera. En Europa, los destinos de la costa del Sol (España), Costa Azul (Francia), Costa Esmeralda (Cerdeña) se encuentran urbanizados con complejos hoteleros que alteran el paisaje marítimo (Benseny, 2011). En *Miami Beach*, el litoral arenoso se encuentra totalmente urbanizado por ostentosos hoteles sobre una playa artificial que separa el océano Atlántico de la laguna interior (Pranzini, 2018). Mientras que en la costa de Mumbai (India), los asentamientos urbanos han degradado gran parte de los manglares (Barragán & De Andrés, 2015). Asimismo, el litoral de Chile central se observan edificaciones como San Alfonso del Mar (Algarrobo), Ilimay (Las Cruces), costaneras (playa Lebu y Costa Azul), que alteran el ecosistema marino-costero, ya que estos muchas veces se ubican sobre sistemas dunares (lo que implica una pérdida en el presupuesto sedimentario del sistema).

Tanto en la costa Atlántica como Pacífica, la erosión ha sido mucho mayor en aquellos lugares afectados por oleajes anormales o marejadas (*storm surge*), que han generado un aumento transitorio del nivel del mar y respuestas complejas en la costa (Masselink *et al.*, 2016). La magnitud de estos fenómenos puede causar cambios violentos en la costa, afectar vidas y destruir infraestructura costera valiosa, de ahí que sean considerados eventos extremos (Winckler *et al.*, 2019b). Estos eventos se encuentran relacionados con forzantes atmosféricas como la marea meteorológica o meteotsunamis, que corresponden a incrementos del nivel del mar producido por variaciones de presión y rachas de viento en una

escala temporal entre 5 – 120 min (Carvajal *et al.*, 2017), afectando el nivel medio del mar en el corto plazo (Del Río *et al.*, 2012).

Estos fenómenos se replican en la costa catalana, lo que ha generado un aumento en los daños de un 40% sobre la infraestructura crítica en los últimos 50 años, debido tanto a la erosión costera como al crecimiento urbano explosivo (Jiménez *et al.*, 2012). De igual forma, ocurre con las “sudestadas” en la costa Atlántica de la provincia de Buenos Aires en Argentina (Isla, 2016) y en la costa caribeña de Colombia producto del “mar de leva” y huracanes tropicales (Botero *et al.*, 2013a; Rangel *et al.*, 2015).

En Chile se ha constatado la existencia de erosión en algunas de sus playas (Martínez *et al.*, 2018; Winckler *et al.*, 2019a). Por ejemplo, en Valparaíso se conoce la desaparición de playas urbanas como Miramar y Recreo a partir de la construcción de las Avenidas Marina y España, respectivamente. Asimismo, en playa Torpederas es notable el cambio de paisaje de hace 15 años debido a la urbanización en las quebradas que la alimentan. Algunos estudios establecieron ya una tendencia erosiva a partir de 2008 en algunas playas de ensenada en Chile central (Martínez, 2008; Martínez y Salinas, 2009; Martínez *et al.*, 2011). Sin embargo, los cambios en las playas fueron evidentes a partir de las marejadas de agosto de 2015, las cuales afectaron la morfología y la infraestructura costera del país (Campos-Caba, 2016; Winckler *et al.*, 2017; Agredano *et al.*, 2019; Igualt *et al.*, 2019).

Las principales causas de erosión costera de acuerdo con Winckler *et al.*, (2019a) son: i) factores oceanográficos, asociados al incremento en la frecuencia e intensidad de marejadas o tormentas, cambios en la dirección del flujo medio de energía del oleaje, aumento del nivel medio del mar absoluto (Winckler *et al.*, 2017; Bird, 2015; Martínez *et al.*, 2017); ii) Factores geofísicos, asociados a las etapas del ciclo sísmico, lo que implica cambios rápidos como alzamientos o subsidencias cosísmicas o a cambios graduales durante el intersísmico (Bird, 2011; Davidson-Arnott *et al.*, 2019); iii) Factores antrópicos, asociados a cambios en el aporte sedimentario de los ríos debido a la expansión urbana de las cuencas costeras, la extracción de arenas de las playas y dunas, la construcción de presas y embalses sin un debido sistema de gestión de sedimentos, efectos locales debido a la construcción de obras costeras, extracción de corales y algas en zonas expuestas al oleaje (Quezada, 2007; Bird, 2011; Narayan *et al.*, 2016); iv) Factores hidrológicos asociados a la variabilidad climática

manifestada en eventos como la megasequía de la zona central (CR2, 2015) o procesos a mayor escala asociados al cambio climático (Winckler *et al.*, 2019a). Todos estos factores pueden generar cambios en la línea litoral, modificaciones en la morfodinámica costera a corto plazo y variaciones a largo plazo en la relación entre el clima y el suministro de sedimentos (Forbes *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2002; Orford *et al.*, 2002).

En América Latina, los eventos ENSO son los fenómenos oceánico-atmosféricos más importantes que generan variabilidad climática (Fernández & Ramírez, 1991; Conde-Álvarez & Saldaña-Zorrilla, 2007). En cuanto a la incidencia de fenómenos de El Niño - Oscilación del Sur (ENOS) en Chile los estudios son escasos, sólo Martínez *et al.*, (2017), establece en cuatro playas urbanas en la Bahía de Valparaíso, una correlación positiva incipiente entre la erosión costera con fases cálidas ENOS en la última década. Asimismo, Botero *et al.*, (2013a) señala que los procesos erosivos en la costa del Pacífico colombiano se deben esencialmente a fenómenos naturales, es decir, eventos de tsunami y El Niño.

Los estudios costeros y en particular los programas de monitoreo de playas utilizan una amplia variedad de métodos y conjuntos de datos dependiendo del período de tiempo a analizar. Estudios sobre costas a corto plazo generalmente se lleva a cabo a escalas espaciales pequeñas, en un lapso inferior a 10 años (Crowell *et al.*, 1993). La técnica más utilizada en campo es el perfil topográfico de la playa, repetido a intervalos regulares para medir variaciones diarias, mensuales, estacionales e interanuales en la posición de la línea litoral y volumen de playa (Moore, 2000). Adicionalmente, se utilizan herramientas complementarias como el teodolito, la estación total, DGPS, fotografías aéreas verticales, imágenes satelitales y cartografías históricas que permiten reconstruir cambios en la costa a largo (> 60 años) y mediano plazo (entre 60 y 10 años) (Crowell *et al.*, 1993; Araujo *et al.*, 2009; Robertson *et al.*, 2007). En las últimas dos décadas, se incorporó el sensor activo LIDAR a las herramientas de teledetección, utilizándose en estudios morfológicos costeros detallados mediante el procesamiento de una nube de puntos 3D generadas por el haz de laser emitido, sin embargo, su aplicación es limitada debido a su alto costo económico (Botero *et al.*, 2013a).

Por otra parte, las escasas campañas de monitoreo de playas se han hecho más sistemáticas luego del temporal del 8 de agosto de 2015, que causó pérdidas cuantiosas de arenas en las playas de Quintero y Valparaíso (Martínez *et al.*, 2017; Winckler *et al.*, 2017).

Según el estudio “Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile” (Winckler *et al.*, 2019a), el país ha registrado durante el período 1980-2015, un leve aumento en el clima medio del oleaje (altura y período), además de un giro al sur del oleaje, asociados a la migración al sur del Anticiclón Permanente del Pacífico Sur. El análisis de clima extremo demuestra que se ha registrado un incremento en la cantidad de marejadas de 0.1 a 0.3 eventos más por año, dependiendo de la latitud. En cuanto al NMM (nivel medio del mar), no existe una tendencia clara de aumento en Chile, lo que puede atribuirse a las deformaciones de la corteza producto del ciclo sísmico, sólo en el norte existe un descenso del NMM probablemente asociado al acoplamiento de las placas tectónicas luego del terremoto de 1877.

Winckler *et al.*, (2019a) realizó una proyección de la evolución de la línea litoral para el período 2026-2045 correspondiente al escenario de emisiones RCP 8.5 del IPCC (2014), con el objeto de estimar los cambios morfológicos en las playas. Los resultados arrojaron que las playas ubicadas entre Arica y el Canal Chacao experimentarán retrocesos medios de entre 3 y 23 m, dependiendo del tamaño del grano y de la altura de la berma de la playa. Playas con tamaños de sedimentos finos experimentarán mayores retrocesos que playas de arena gruesa, en tanto que playas con menor altura de la berma serán más erosionadas que aquellas con mayor altura. Asimismo, las playas tenderán a girar en sentido antihorario enfrentando direcciones más hacia el SW. La tendencia es que playas de ensenada tiendan a experimentar erosión en sus extremos sur (zona proximal) y acreción en sus extremos norte (zona distal), aun cuando la erosión y acreción respectiva sea del orden de metros. Junto con ello, los eventos extremos, serán más frecuentes e intensos, sobre todo en la zona central de Chile, lo que seguramente aumentará los daños en la infraestructura costera (Winckler *et al.*, 2019b).

En cuanto a los ritmos de erosión y recuperación de las playas, la experiencia internacional y nacional describen cambios a distintas escalas y velocidades dependiendo de los fenómenos que ataquen a la costa (Winckler *et al.*, 2019a). Por ejemplo, la costa Atlántica de la Provincia de Buenos Aires es particularmente sensible a los efectos episódicos de las

tormentas del sur o sudestadas, lo que ha producido modificaciones a escalas instantáneas y de corto plazo en la morfología de las playas (Isla, 2016). Para las playas de Pinamar (Argentina) y Algarrobo (Chile) se ha probado que los efectos de dos tormentas lo suficientemente próximas en el tiempo tienen mayores impactos cuando no existe el tiempo suficiente para que se produzcan recuperaciones tanto en la compactación del fondo como en la respuesta de las comunidades infaunales (Schnack *et al.*, 1998, Martínez *et al.*, 2017). Por tanto, los ritmos de erosión costera no dependen únicamente de la resistencia de materiales; también debe considerarse la energía de las olas, o la orientación de la costa a las tormentas más frecuentes (Araya-Vergara 1986, Martínez, 2001; Isla, 2016).

La erosión de las playas está afectando en distintos grados a los ecosistemas y las economías costeras a nivel mundial, playas de la Riviera Maya y Cancún, reconocidas por su demanda turística, han sufrido una significativa disminución del flujo turístico debido a los intensos huracanes que han causado la pérdida del litoral arenoso. Junto con ello, la erosión costera daña las propiedades e infraestructura turística y urbana, y deteriora el paisaje del litoral, lo que se traduce en la desvalorización del producto turístico y la pérdida de servicios ecosistémicos que provee la zona costera.

Las playas consideradas como recurso turístico forman parte de un sistema socio-ecológico, por tanto, su evaluación multidimensional es una herramienta importante para los gestores y planificadores del litoral a la hora de realizar planes de manejo, desarrollo y conservación. Un problema importante en la evaluación del paisaje costero es la gran disparidad de criterios y de resultados obtenidos por los indicadores de calidad de playas debido al alto peso que pueden llegar a tener rasgos subjetivos. Así, Chaverri (1989) utilizó 100 parámetros, Williams *et al.*, (1993) proponen un listado de 50 parámetros biofísicos y socioeconómicos, Micallef *et al.*, (2004) desarrollaron el “*Bathing Area Classification System - BARE*” con 45 indicadores, Botero *et al.* (2015) propone el índice ICAPTU compuesto de 30 parámetros ambientales que miden la calidad ecosistémica, sanitaria y recreativa de las playas. Rangel *et al.*, (2019) proponen 26 parámetros (18 físicos y 8 antropogénicos). En este sentido los primeros índices de calidad de playa se enfocaron a clasificar las playas según su potencial recreativo, proporcionando esquemas de evaluación cualitativas carentes de sostenibilidad (Williams y Micallef, 2009).

Uno de los índices internacionales más reconocidos es el “*Beach Quality Index*” –BQI- (o “Índice de Calidad de Playas” en su traducción al español) elaborado por Ariza *et. al* (2010), formado por trece indicadores parciales agrupados en las tres funciones básicas que realizan las playas (recreativa, natural y de protección). El BQI realiza un análisis y valoración de las funciones ambientales, y con ello permite evaluar la calidad de los beneficios que obtenemos de estas funciones como servicios prestados por el ecosistema playa. Todo ello permite desarrollar un modelo integral de gestión de playas de acuerdo con los principios de la gestión ecosistémica que hoy en día dirigen la nueva política medioambiental de la Comunidad Europea.

La estructura del BQI permite fácilmente detectar áreas de mejora y áreas críticas en las que se esté incurriendo en riesgos importantes. Asimismo, nos permite realizar una monitorización efectiva y analizar correctamente cuales son los impactos medioambientales significativos sobre los que se debe trabajar para mejorar la calidad y evitar posibles riesgos. Los componentes del índice estaban basados en cuestionarios realizados tanto por expertos como por usuarios de la playa. Es un índice cuyos aspectos más importantes están relacionados con todo lo relativo a la demanda a corto plazo de los usuarios, minimizando las consecuencias de la presión humana en el área, sobre todo los problemas de erosión.

Por otra parte, el programa mundial de certificación y mejoramiento sustentable de playas “*Blue Flag*” propone un trabajo en conjunto entre actores públicos y privados, además de las comunidades en la gestión de sus playas, abriendo oportunidades para el desarrollo turístico sostenible. El proyecto se sustenta en cuatro pilares: información y educación ambiental, seguridad y servicios, calidad del agua y gestión ambiental, de los cuales se desprenden 33 criterios, tales como: calidad del agua, limpieza, programas educativos ambientales, protección de ecosistemas en peligro y accesibilidad para personas en discapacidad, entre otros.

Una vez alcanzados dichos estándares, la playa obtiene la certificación “*Blue Flag*” y puede izar la “bandera azul”, consolidándose internacionalmente con un galardón de ecocalidad turística. Este sello se entrega anualmente por la Fundación para la Educación Ambiental (FEE) y está avalado por el programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU), la Unesco y la Organización Mundial del Turismo. En el contexto

internacional, un 74% de los países OCDE tienen certificación *Blue Flag*, cifra que aumenta a 89% sin considerar los países mediterráneos (sin mar). En esta línea, España se posiciona como el país con más playas sustentables. Mientras que en Latinoamérica se ha implementado en Colombia y Brasil. *Blue Flag* estima que en Chile existen 896 balnearios en 46 comunas que podrían tener la certificación en un principio. De ellas, 860 son de mar y 36 de lagos. Hasta 2020, sólo la playa de Cachagua en la comuna de Zapallar, ingreso al proceso de certificación (playa candidata) y se encuentra en espera de aprobación.

La certificación de “Bandera Azul” o la “Q de calidad”, que se consideran representativos de la calidad de una playa, no contempla en ninguno de sus condicionantes, ni obligatorios, ni recomendados, la función de protección de la costa. A pesar de tener un índice que recoge la función natural no aportan ningún conocimiento sobre la situación real de la playa desde el punto de vista físico, tan sólo de la calidad de los elementos que la integran (arenas y agua) y siempre desde la perspectiva visual y profundamente subjetiva. Tampoco la parte del índice correspondiente a la función de protección evalúa su comportamiento respecto a la evolución de la costa sino tan sólo a la protección de las infraestructuras situadas en el litoral, midiendo la capacidad de la playa para disipar la energía del oleaje y evitar deterioros en los paseos marítimos y las instalaciones marinas. En ningún caso considera si la playa está o no en erosión.

Los índices detectados en la literatura científica en general van orientados más a la clasificación de las playas desde la perspectiva del usuario (Dinius, 1981; House, 1995) y no tanto del gestor, teniendo en cuenta las variables que considera el turista cuya medida es subjetiva y difícil, y como consecuencia pudiera ser errónea. En el caso del BQI, su utilidad práctica, más allá de aportar información sobre la calidad de la playa, es la de servir de análisis y permitir monitorizar las diferentes funciones ambientales que se dan en el sistema socio-ecológico de playa y, a su vez, servir de cuadro de mando para su gestión.

En base a estos antecedentes, esta investigación intenta crear un marco de gestión holístico, intersectorial, interdisciplinar y posible de adaptar a las particularidades de cada playa, que permita compatibilizar funcionalización y conservación turística en un ambiente tan complejo y frágil como es la costa.

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad las zonas costeras han cobrado gran importancia dada su intensa actividad económica ligada al turismo y a los múltiples servicios ecosistémicos que proveen. Las playas juegan un rol fundamental en la defensa de las costas, al estar constituidas por arenas, que tienen la capacidad de adaptar sus formas a las condiciones de oleaje existentes, siendo de alta y baja energía durante todo el año. Por tanto, la disminución de superficie del litoral arenoso acarrea serios problemas para la industria turística pero también para el conjunto de la sociedad por los riesgos naturales que implica la cercanía y desprotección de cara al mar.

La costa corresponde a una zona en donde ocurre la interfase entre los tres principales sistemas naturales de la Tierra, como son la atmósfera, el océano y la superficie terrestre. En ellos se producen diferentes procesos que otorgan a la costa un comportamiento sistémico, dinámico y con características peculiares (Davidson-Arnott *et al.*, 2019).

Hoy en día, aproximadamente 3 billones de personas, casi la mitad de la población mundial, viven a menos de 60 kilómetros de la costa (Woodroffe, 2003), esto ha traído consigo el incremento en el uso y ocupación del espacio, en donde el paisaje natural ha sido transformado por la acción del hombre. Estas presiones antrópicas han afectado, de forma directa e indirecta, el funcionamiento y la dinámica litoral, lo cual se traduce en la pérdida de sus valores como servicios ecosistémicos prístinos y en variaciones espacio-temporales en su medio geográfico.

Los principales problemas de erosión mundial están frecuentemente asociados con el cambio climático y la intervención antrópica en el suministro de sedimentos. Según Bird (2011) el 70% de las playas retrocedieron por efecto de la erosión entre 1976 y 1984, lo que se debe a factores climáticos como los cambios en los patrones de oleaje y nivel medio del mar, y a factores antropogénicos como la intervención de cuencas hidrográficas, extracción de arenas, corales y algas en zonas intermareales, y la instalación de infraestructura costera que originan la fragmentación de los ecosistemas costeros y la consiguiente reducción en el aporte sedimentario. Por ejemplo, según Martínez *et al.*, (2017), en la costa catalana el daño provocado a la infraestructura ha aumentado en un 40% en los últimos 50 años, debido tanto a la erosión costera como al crecimiento urbano explosivo.

Dichas transformaciones antrópicas, se complementan con los actuales procesos erosivos que afectan a la costa (Rangel *et al.*, 2015); generados a partir de las variaciones del nivel del mar y los cambios climáticos globales asociados a fases ENOS, que han influenciado el comportamiento de los ríos como fuentes sedimentarias generando efectos en las costas (Botero *et al.*, 2013a; Martínez *et al.*, 2017). Masselink *et al.*, (2016) sostienen que los eventos de oleaje extremo u “oleaje de tormenta” son un ejemplo de los procesos actuales de erosión costera, los cuales, según Silva *et al.*, (2014) son los modeladores naturales de la morfología actual de las regiones costeras.

Las tendencias evolutivas actuales de playas arenosas micromareales dominadas por olas indican que ellas tienen importantes oscilaciones de avances y retrocesos (Araya-Vergara, 1986). Estas variaciones se reflejan de manera directa en la posición relativa de la línea litoral respondiendo a diferentes escalas temporales y espaciales; desde una escala temporal instantánea donde se modifica el borde costero y los procesos deflacionarios en la zona litoral (extensión de 200 metros), hasta una escala geológica con la formación de la paleocosta (línea de costa fósil) y la zona costera (extensión de hasta 5 km) durante las transgresiones marinas (Cowell & Thom, 1994).

Uno de los factores de cambio de la línea litoral chilena es la influencia tectónica, la intensa sismicidad se explica principalmente por la dinámica del margen tectónico activo sobre el cual se localiza el territorio chileno. En este límite convergente la placa oceánica de Nazca subducta bajo la placa continental Sudamericana a una velocidad media de 6,8 cm/año (Sepúlveda *et al.*, 2008), generando acumulación de energía elástica que es liberada en terremotos; que producen alzamientos o subsidencias cosísmica diferenciales a lo largo de la costa (Wesson *et al.*, 2015).

La costa de Chile central es una de las más antropizadas del país, dos de las áreas con mayor crecimiento urbano, reconocidas como metropolitanas se han desarrollado sobre ambientes costeros de gran importancia ecológica, tales como humedales y dunas (Concepción y Valparaíso). En ambas, la población es superior al millón de habitantes (INE, 2017). El “Litoral de las Artes y los Poetas” concepto ocupado por Castro e Hidalgo (2002) no ha estado exento a esta realidad, constituyendo una conurbación de sus balnearios desde

Algarrobo a Santo Domingo, lo que ha ocasionado la fragmentación de los ecosistemas costeros y alteraciones en los patrones de abastecimiento sedimentario de las playas.

El “Informe de turismo interno en Chile, temporada alta 2016” publicado el 2018 por SERNATUR devela una importante noticia: el "Litoral de las Artes y los Poetas" es el principal destino turístico dentro del país, concentrando un 10% (879.477) de los viajes con pernoctación realizados en el territorio nacional, siguiéndole de lejos con 6,3% Valparaíso, Viña del Mar y Concón, y La Serena y Coquimbo con un 5,5%. Con esta cifra queda en evidencia un aumento de 4,5 veces más personas que la población habitual del Litoral (194.913 según el CENSO 2017). Esto sin considerar los viajes "excursionistas" que son sin pernoctación.

Este importante aumento poblacional es una oportunidad si se piensa en términos de impulso a la economía local, pero una amenaza para la sustentabilidad de la costa; debido al uso intensivo de los sistemas naturales (humedales, playas, roqueríos, dunas, playas), los cuales no están preparados para quintuplicar su población, lo que se traduce en un constante riesgo en la protección de los espacios litorales y ecosistemas marino-costeros.

En los últimos años, una de las zonas que se ha sufrido procesos erosivos ha sido la Playa Grande, debido principalmente a intensos y recurrentes eventos de marejadas, que han alterado la morfología típica de la playa; alcanzando una tasa de erosión anual de 0,61 m/año (Winckler *et al.*, 2019a). Esta erosión conjugada con un aumento explosivo en la superficie urbana (Ugalde, 2018), ha generado un nuevo riesgo en la zona costera de Cartagena, que se suma a otras amenazas como el inminente terremoto y tsunami que se espera para Chile central con características similares al ocurrido en 1730 de Mw 9.1 (Carvajal *et al.*, 2017).

El estudio de Martínez *et al.*, (2019a) utiliza este evento como peor escenario y modela la inundación por tsunami para la Bahía de Cartagena, determinado un alto peligro para el 67.5% del área afectada con alturas de inundación de hasta 9 m y velocidades de hasta 10 m/s durante los primeros 25 min posteriores al terremoto, junto con ello, altos niveles de vulnerabilidad social asociados a la ocupación intensiva de humedales costeros y campos dunares, que elevan el riesgo de tsunami.

Según Ariza *et. al.*, (2010) la playa tiene tres funciones básicas: la defensa de la costa, ser hábitat para la flora y la fauna silvestres, y zona de esparcimiento de uso público y social. La primera de ellas, entendida como disipación de la energía del oleaje incidente sobre la playa. El modo en que la playa garantiza esta protección se refleja en la variación de su morfología, principalmente de su perfil. En este sentido, para que un perfil de playa pueda defender correctamente la costa, ha de contar con un volumen de arena suficiente, tanto en su perfil activo como en el perfil sumergido y en la duna. La disposición de dicho volumen (anchura y cota de la berma/duna) constituye junto con las características del sedimento (tamaño medio, permeabilidad) los parámetros que determinan la capacidad de defensa de la costa de una playa. De ahí que la erosión costera, entendida como retroceso de la línea litoral, sea uno de los puntos importantes a considerar en la gestión de las playas.

La identificación y evaluación de supuestos en los indicadores de gestión costera no es un proceso objetivo (Kloprogge *et al.* 2011), pero hacerlo incluyendo la participación adecuada de las partes interesadas puede ayudar a mejorar la gestión de las incertidumbres (Mayumi & Giampietro, 2006). Para subsanar este problema, Bombana & Ariza (2019) proponen el proceso de aprendizaje de doble ciclo (*Double-Loop* en inglés) que consiste en retroalimentar los cuatro pasos secuenciales de un indicador de gestión costera (BQI) mediante la (re) selección, (re) definición y (re) producción de indicadores; a partir de acuerdos transversales que incluyan todas las narrativas interesadas. Esta nueva forma de evaluación por pares ampliada (EPA) integra, actualiza y valida los indicadores BQI de doble ciclo, mejorando la calidad en la gestión costera en cuanto complejidad y gobernanza.

Bombana & Ariza (2019) agregan que los índices de calidad de playas están supeditados a narrativas, es decir, “historias” o percepciones utilizadas por un grupo de personas afines, para dilucidar la realidad costera, determinando los valores esenciales que promueven el desarrollo y satisfacción de los usuarios en las playas. Por ejemplo, en las playas de Cataluña, se determinaron cuatro narrativas mediante *focus group* entre empresarios, gobierno local, administración regional, consultores, sociedad civil organizada, turistas y científicos: desarrollo sustentable (SD), gestión integrada de zonas costeras (ICZM), crecimiento económico (EG) y protección ambiental (EP). Estas características son esenciales de los sistemas sociocológicos, por tanto, deben ser consideradas en Cartagena para mejorar los

temas de transparencia, diálogo, inclusividad y aprendizaje de acciones pasadas que menoscabaron la calidad turística de la Playa Grande.

Actualmente la Playa Grande no cuenta con un modelo de gestión integrada que incorpore índices de calidad turística sustentables y Sistema de Gestión Ambiental, más bien la gestión se encuentra restringida por las autoridades comunales de Cartagena y El Tabo. Esta dicotomía administrativa se manifiesta en distintos intereses socioeconómicos y ambientales en la costa, lo que no permite considerar al territorio como parte de un sistema interconectado definido en la Celda Litoral, por tanto, se complejiza aún más la toma de decisiones orientadas hacia un desarrollo sostenible.

Para conseguir un desarrollo sostenible, la zona costera se debe concebir como un recurso estratégico para el desarrollo, y en la medida en que el uso de esta zona se realice previniendo los impactos de los eventos extremos y de las actividades desarrolladas, se generarán espacios costeros con calidad ambiental diferenciada, evitando la degradación. Es importante destacar la relevancia de la erosión costera en la calidad ambiental de una playa, ya que el recurso arenoso es el principal motor turístico de los destinos litorales. Ofrecer calidad en el servicio (balneario, alojamiento, restauración, entre otros) y en el recurso, es la base para un buen desarrollo de la actividad. Así, tanto el sector público como el privado deben volcar su atención a los sistemas de gestión integral y sostenible a fin de brindarle al usuario playas de calidad.

A partir de estos antecedentes, se analizarán los procesos erosivos en el litoral arenoso de la Bahía de Cartagena (Chile central), mediante la variación de la línea litoral durante el período 1963-2019, con el propósito de incorporarlo como indicador de calidad paisajística y así aportar a una gobernanza turística sostenible de la Playa Grande.

1.3. Hipótesis

Durante muchos años, la zona costera y en particular las playas, vienen sufriendo un uso intensivo, lo que ha provocado la degradación de su calidad paisajística, repercutiendo en un bajo Índice de Sostenibilidad para Playas Turísticas (ISPT). En el Litoral Central, la erosión costera es uno de los factores que ha contribuido en mayor medida al deterioro en la experiencia turística recreativa. De este modo se establecen las siguientes hipótesis:

- 1) La Bahía de Cartagena presentaría una tendencia erosiva en su extremo sur; de tal modo que la posición relativa de la línea litoral tendría una tendencia al retroceso en los últimos 10 años, lo que afectaría el turismo en Playa Grande de Cartagena.
- 2) La Playa Grande de Cartagena presentarían un bajo ISPT, asociado a valores moderados de paisaje, afectados por actividades antropogénicas como la construcción de infraestructura costera y la saturación de su capacidad de carga que han repercutido en la pérdida del litoral arenoso.
- 3) Las principales diferencias de ISPT se deben a factores antropogénicos tales como: evidencia de aguas residuales, infraestructuras costeras, basura, seguridad y capacidad de carga asociados a la gestión turística de las playas.

1.4. Objetivos

Las playas son sistemas socio-ecológico en donde interactúan variables físicas, ambientales, sociales, económicas, políticas y personales. La gestión de estos lugares debe procurar compatibilizar sus funciones naturales como proveedor de servicios ambientales, en particular; la defensa del litoral, junto con la satisfacción de necesidades humanas para mantener el equilibrio de sus recursos críticos.

Por lo tanto, para el funcionamiento correcto y el cumplimiento de todas las funciones es necesario una gestión de la playa con un enfoque multidimensional teniendo en cuenta que interactúan los componentes naturales, socioeconómicos y administrativos (Ariza *et al.*, 2010). Bajo esta premisa, se plantean los siguientes objetivos:

1.4.1. Objetivo general

Relacionar la variación de la línea litoral durante el período 1963-2019, con el Índice de Sostenibilidad para Playas Turísticas (ISPT) en la Bahía de Cartagena (Chile central), con el propósito de orientar el desarrollo sostenible de la costa.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las variaciones espacio-temporales asociados a la posición relativa de la línea litoral en la Playa Grande de Cartagena durante el período 1963-2019.
- Generar un Índice de Sostenibilidad para Playas Turísticas (ISPT) para los balnearios de la Playa Grande, considerando la variación de la línea litoral como uno de los indicadores de la calidad paisajística de playas turísticas.
- Zonificar el litoral arenoso de la Bahía de Cartagena de acuerdo a los resultados entregados por el Índice de Sostenibilidad para Playas Turísticas (ISPT).

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. ¿Qué es la costa y cómo funciona?

Barragán (2014) advierte acerca del cuidado conceptual que se debe tener cuando se habla de las áreas litorales; con el fin de definir un límite conceptual entre zona costera y área litoral. Asimismo, Masselink & Hughes (2003) sostienen de la ambigüedad del término “costa” al momento de utilizarlo para referirse a los distintos procesos que ocurren en ella.

Por su parte, Castro & Morales (2006) definen el espacio litoral como todo lo comprendido por encima y por debajo del nivel medio del mar, que se encuentra sometido a la acción de distintas fuerzas responsables del trazado de las costas y de sus cambios; mientras que la zona costera, corresponde a una “franja de ancho variable, resultante del contacto interactivo entre la naturaleza y las actividades humanas que se desarrollan en ámbitos que comparten la existencia o influencia del mar”. Sin embargo, el mismo Barragán (1997) reconoce que estos conceptos deben adaptarse en función de lo que desee tratar el autor, de este modo establece sentidos distintos a estos conceptos. El área litoral “hace referencia una realidad de naturaleza geográfica, una suerte de ‘espacio continente’ que es preciso administrar”, mientras que la zona costera “sugiere implicaciones de alcance jurisdiccional (de una ley, de un plan)” (Barragán, 2014).

Así también, Haslett (2000) plantea, de manera sencilla, que la costa es el encuentro del mar con la tierra; pero se percató que la aplicación de este concepto en el mundo real es ambigua, ya que no siempre es fácil, por ejemplo, para definir exactamente donde comienza los límites de la tierra y el mar. Esto generó el cuestionamiento de Haslett (2000): ¿la costa y el litoral, pertenecen al mar o a la tierra? ¿dónde deben establecerse los límites entre ambos? La respuesta más clara para esta pregunta podría ser lo que sostiene Woodroffe (2003), cuando menciona que, aunque una definición legal de la zona costera puede ser necesaria para la planificación y fines legislativos, es complejo identificar límites marinos precisos para la interacción mutua entre la tierra y el mar. A menudo es más apropiado para los propósitos físicos, biológicos o administrativos utilizar una definición relevante al tema particular (Kay & Alder, 1999, en Woodroffe, 2003).

Ahora bien, la escala de formación es el elemento que diferencia a los conceptos de litoral y costa. Por lo que el litoral se encuentra dentro de la costa, debido a que esta última tiene

una escala de formación de miles de años, mientras que el litoral representa escalas actuales de tiempo; así lo establecen (Tarbuck & Lutgens, 2005) al definir el litoral como la zona que se extiende entre el nivel de marea más bajo y la mayor elevación de la tierra afectada por las olas de temporal, mientras que la costa se extiende tierra adentro desde el litoral hasta donde haya estructuras relacionadas con el océano.

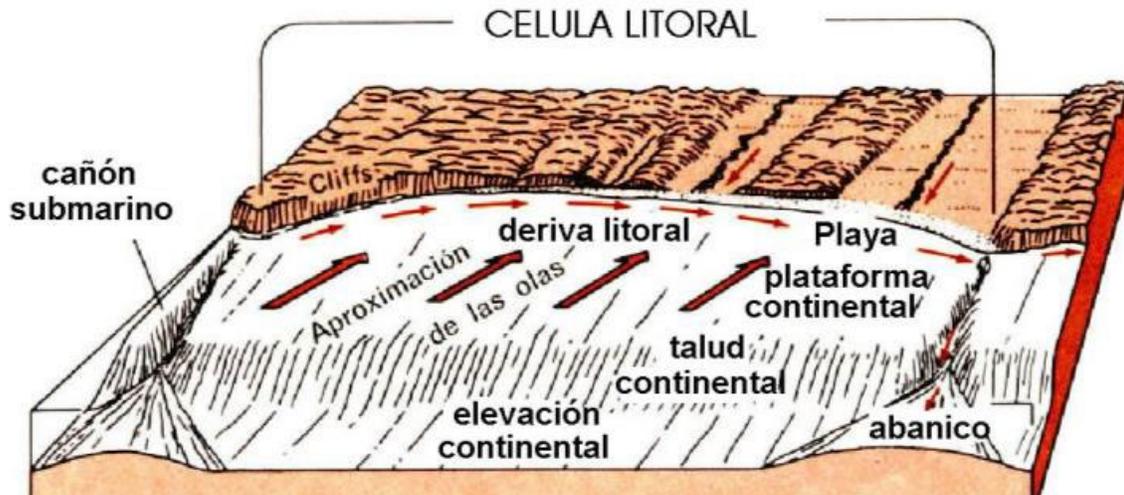
La “zona costera” se define como el espacio geográfico cuya extensión limitada por la línea de costa abarca más allá de la playa y, en el que se incluyen, diversos ecosistemas costeros frágiles que en su mayoría carecen de formas de protección legal en Chile (campos dunares y humedales). Persiste la visión de borde costero como un compartimento estático, que es paradigmáticamente opuesta al conocimiento científico adquirido en las últimas décadas, que define estos ecosistemas como inherentemente permeables a procesos que se originan en el territorio terrestre y marino (Hidalgo *et al.*, 2019). La iniciativa legal insiste en emplear la noción restringida de “borde costero” como concepto jurídico-administrativo y unidad básica de gestión estructurante del ordenamiento y planificación costera.

Por último, el término “zona” le otorga un componente de espacialidad, entre el mar y la tierra, al concepto de “zona costera”, por ende, es más significativo hablar de “zona costera” que de costas (Haslett, 2000).

2.1. Célula litoral

Komar (1998) analizó el presupuesto sedimentario del litoral. Para esto realizó evaluaciones de los aportes sedimentarios (*credits*) y de las pérdidas (*debits*), igualando las ganancias y pérdidas netas (balance sedimentario) en un comportamiento sedimentario de celdas o también llamado Célula Litoral (Figura 1). Esta corresponde a un sistema de flujo de materia, el cual se aplica al conjunto de procesos costeros y a los distintos relieves de las líneas de costas continentales, como medio distintivo que representa un flujo abierto de materia (Strahler & Strahler, 1989). Asimismo, Woodroffe (2003) sostiene que la célula litoral es un circuito el cual transporta sedimento, en una playa de bolsillo o *pocket beach*, lo cual conlleva a un estado de equilibrio entre la erosión y la acreción.

Figura 1: Célula litoral (delimitación de la zona costera).



Fuente: Strahler & Strahler (1989).

A modo de ejemplo, Komar (1998) aplicó el modelo de Célula Litoral en la costa del sur de California, EE.UU, la cual consiste en una serie de celdas o células litorales compuestas por: un sistema completo de distintas fuentes de aporte sedimentario (ríos y erosión de los acantilados), transporte litoral en dirección sureste, y las pérdidas de sedimentos de la zona litoral (formación de dunas interiores o el material que es transportado al fondo oceánico a través de los cañones submarinos).

De este modo, lo modelado por Komar (1998) consiste básicamente en: una entrada de sedimentos provenientes de distintas partes de la corteza terrestre, donde se genera el transporte y acumulación del material a lo largo de la costa y en el área de la rompiente, el cual tiene como límite dos promontorios rocosos o *headlands*, y por último una salida del material hacia el fondo oceánico (Strahler & Strahler, 1989).

La zona costera es un espacio dinámico, variable y sistémico, por lo que lejos de constituir un “borde”, abarca un territorio complejo de anchura variable, ya que responde a procesos que ocurren en ecosistemas terrestres y marinos. El litoral, revestido de un carácter inherentemente público, constituye uno de los pocos espacios democráticos disponibles en Chile, por lo que en él debiesen poder desarrollarse amplios espacios de participación de los distintos actores que en ella confluyen o intervienen. Los espacios costeros, por lo tanto, no

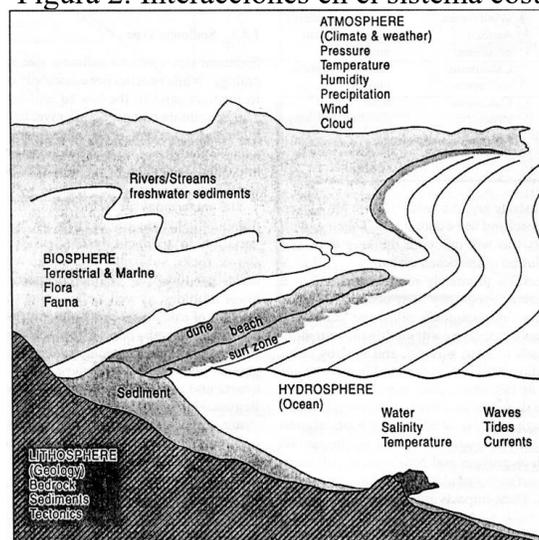
deberían estar sujetos al modelo privatista que fomenta el desarrollo económico sin equidad social y la degradación de sus recursos naturales y culturales.

2.2. Procesos costeros

Bird (2011) establece que la conformación de las formas costeras se ha visto influenciada por una serie de factores morfogenéticos (geológicos, climáticos, etc.) durante cientos y miles de años, por lo que las costas y la evolución de ellas no son parte de un sistema aislado, sino que son una célula (Komar, 1998) donde existen entradas y salidas de energía y sedimento (Haslett, 2000). De este modo, los procesos costeros incluyen los efectos del flujo y reflujo de las mareas y las corrientes asociadas, y son influenciados por distintos factores oceanográficos, como la temperatura y la salinidad del mar, determinados por el clima y los patrones de las corrientes oceánicas (Bird, 2011).

De acuerdo a los anterior, Wright & Thom (1978) sostienen que la evolución costera corresponde al producto de los procesos morfodinámicos que se producen en respuesta a los cambios de las condiciones ambientales. Estos cambios generan, de cierto modo, la evolución costera; debido a que el sistema morfodinámico se encuentra determinado por las condiciones ambientales dadas por la interacción entre la atmósfera, litosfera y la hidrosfera (Figura 2) (Short, 1999). Según Cowell & Thom (1994, en Bird, 2011) en términos morfogenéticos la evolución costera corresponde a la evolución de las formas terrestres costeras, las cuales se encuentran influenciadas por varios factores y procesos que actúan sobre la costa.

Figura 2: Interacciones en el sistema costero.



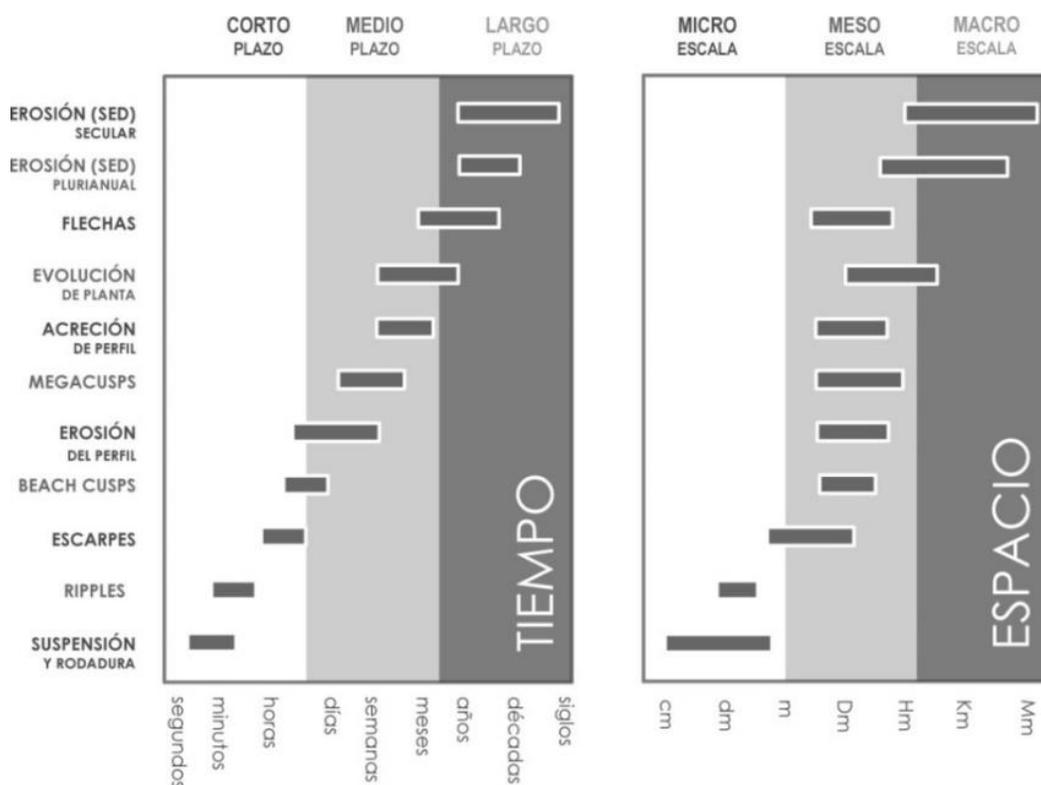
Fuente: Short (1999).

2.2.1 Escalas de estudio

Al ser la costa un sistema muy dinámico tiene un comportamiento diferencial, el cual depende de la escala espacial y temporal (Woodroffe, 2003). Así lo establecen Cowell & Thom (1994), en una jerarquía en las escalas temporales y espaciales de los distintos procesos relacionados a la geomorfología litoral. En efecto, la escala más pequeña corresponde a una escala temporal instantánea; donde ocurren los distintos agentes hidrodinámicos (olas, mareas y corrientes), los cuales determinan la morfología de la playa (Ingmanson & Wallace, 1989, en Gutiérrez, 2008). En las escalas típicas de una marejada, las playas actúan como un sistema de protección natural, donde la acción conjunta del oleaje, la marea astronómica y otros fenómenos climáticos actúa erosionando y/o depositando el sedimento disponible. Durante el ataque de las olas, las arenas se transportan mar afuera producto de la resaca o hacia la costa producto del oleaje menos energético y/o la asimetría del *swash* (Molteni *et al.*, 2017). Ahora bien, la dependencia de las fluctuaciones individuales se vuelve menos importante en las escalas geológicas en las que, durante miles de años, la evolución se produce en respuesta a las tendencias de las condiciones ambientales (Woodroffe, 2003). En estas escalas geológicas de más de miles de años, las fluctuaciones vuelven a ser significativas en las condiciones ambientales, debido principalmente a los efectos de variaciones orbitales (Hays, Imbrie & Shackleton, 1976, en Carter & Woodroffe, 1994) frecuencia de alta magnitud (Gutiérrez, 2008). Las escalas de tiempo de ingeniería de costas (históricas) implican una evolución sobre muchas fluctuaciones en las condiciones ambientales; cada una de las cuales conlleva a muchos ciclos en los procesos fundamentales responsables del transporte de sedimento, siendo los resultados evolutivos dependientes tanto de la naturaleza y la secuencia de las fluctuaciones del entorno.

Complementando lo anterior, Winckler *et al.* (2019a) menciona: *“Las playas evolucionan en un amplio rango de escalas en el tiempo y el espacio (Figura 3). En escalas asociadas al paso de una ola, se evidencian cambios relativamente pequeños y rápidos, asociados a la suspensión y rodadura del sedimento. En escala sucesivamente mayores, las playas evolucionan en pocos días durante el paso de una marejada, en escalas estacionales con la manifestación de los perfiles típicos de invierno y verano, y en escalas de tiempo decadales asociadas a procesos seculares de erosión y sedimentación”*.

Figura 3: Escalas de evolución espacio-temporal de las costas.



Fuente: (Winckler, *et al.*, 2019a; adaptado de GIOC).

2.3. Cambio climático y sus impactos en las costas

En la actualidad, los efectos pasados y presentes del cambio climático son foco de diversos estudios, dadas las consecuencias que produce este fenómeno sobre los ecosistemas marinos del mundo (Okey *et al.*, 2015). Esto ocurre debido a que, según Doney *et al.* (2012, en Okey *et al.*, 2015), los cambios ambientales globales asociados a las emisiones de gases de efecto invernadero están teniendo efectos en los océanos y la vida marina.

Según el IPCC (2014) el cambio climático es una variación estadística importante en el estado medio del clima o en su variabilidad, la cual persiste durante un período prolongado (generalmente decenios o más). Ahora bien, este fenómeno se puede deber a procesos naturales internos y/o a cambios del forzamiento externo, o también a cambios persistentes antrópicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras.

De este modo, se espera que la concentración urbana y los precios en las zonas costeras bajas aumenten, y al mismo tiempo, se espera que el cambio climático aumente las condiciones naturales del área litoral (Mulder *et al.*, 2011). Así pues, se prevé que el aumento

en la frecuencia de peligros naturales, tales como oleadas de tormenta, tsunamis y ciclones, tendrá efectos dramáticos sobre los asentamientos costeros y los ecosistemas (Murali *et al.*, 2013).

En las costas chilenas, la incidencia de marejadas en los últimos años, junto con el incremento en la demanda de infraestructura costera y el eventual cambio del nivel del mar atribuido al calentamiento global, aumentan el riesgo en una zona también afectada por recurrentes terremotos y tsunamis. La tendencia muestra que los eventos extremos han aumentado de un promedio de 5 por año a mediados del siglo pasado a aproximadamente 20 por año en el siglo XXI. Asimismo, se ha observado un giro de la dirección del oleaje en aguas profundas del orden de 20° hacia el sur y un aumento de las alturas significativas máximas mensuales durante dicho período. Sobre la base de una recopilación de artículos de prensa digital y archivos históricos, Campos-Caba (2016) indica que las marejadas que causaron el mayor daño en Valparaíso (1965, 1968, 1986 y 1987) se generaron localmente durante el invierno. Recientemente, los eventos extremos no han exhibido una clara distinción estacional, ocurriendo incluso en verano (Martínez *et al.*, 2018). Si extrapolamos este comportamiento a un futuro cercano, se espera un escenario con aumento en la frecuencia e intensidad de las marejadas (Winckler *et al.*, 2019b).

2.3.1. Erosión costera

La erosión costera se genera cuando en una playa la pérdida de material es mayor que las ganancias, de este modo el volumen de sedimento de la playa disminuye, la *beachface* se reduce y es forzada a retroceder. Ahora bien, la erosión costera es una condición natural del sistema litoral, ya que es un agente que contribuye a la conformación de las actuales costas (Van Rijn, 2011). Sin embargo, en la actualidad, la erosión costera se intensifica en gran medida debido a las actividades humanas y al cambio climático global (Murali *et al.*, 2013).

Conjuntamente a lo anterior, la erosión de la costa tiene distintas causas: naturales y antrópicas. Dentro de las causas naturales se encuentran: los cambios en el nivel medio del mar, períodos ENOS y eventos extremos (tsunamis, marejadas) (Woodroffe, 2003). Unos de los eventos extremos más comunes de las costas de Chile central son las marejadas, las cuales se originan cuando la presión atmosférica es particularmente baja, generando así, que la superficie del mar responda con el aumento en su elevación (Flather, 2001). Woodroffe

(2003) sostiene que esta elevación genera grandes inundaciones y provoca la erosión de playas que estaban en un estado de estabilidad o en procesos de acreción. Por otra parte, las causas antrópicas se asocian a intervenciones directas del ser humano en la zona costera, como por ejemplo: construcción de represas, puertos y otro tipo de obras ingenieriles, extracción de arena, descarga de residuos, cosechas de algas (Castro & Morales, 2006).

En el estudio de evolución histórica de la línea litoral (Winckler *et al.*, 2019a) se constata que el 80% de las 35 playas analizadas se encuentran con erosión o erosión alta. Las playas que presentaron erosión alta son Hornitos (-2.60 m/año), Algarrobo (-2.54 m/año) y Santo Domingo (-1.73 m/año) y corresponden a playas de ensenada donde se desarrollan extensos litorales arenosos, asociados a antiguos campos dunares y humedales costeros.

2.3.2. ENOS

Según la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), El Niño y la Oscilación Sur (ENOS) es una fluctuación periódica de la temperatura de la superficie del mar (El Niño) y la presión atmosférica sobrepuesta (Oscilación Sur) a través del océano pacífico ecuatorial (NOAA, 2017). De este modo, El Niño es una fase de calentamiento, mientras que la fase de enfriamiento es denominada La Niña. Así también, la Oscilación Sur describe una variación bimodal de la presión barométrica del nivel del mar, es decir, es un componente atmosférico que acompaña al fenómeno del Niño con una alta presión atmosférica, mientras La Niña es acompañada por una baja presión atmosférica (Trenberth, 2001).

Aunque Woodroffe (2003) sostiene que los mecanismos que controlan a ENOS no se conocen del todo, se sabe que ENOS tiene efectos de alto alcance y altas respuestas en la interacción océano-atmósfera. Al ser ENOS un fenómeno producto de la interacción océano-atmósfera, las temperaturas y los vientos se ven modificados tanto en los trópicos, como en las zonas subtropicales (NOAA, 2017).

Según la NOAA (2017) existen tres fases en el fenómeno de ENOS: en primer lugar, una fase cálida que consiste en el calentamiento de la superficie del océano, produciendo el fenómeno de El Niño; en segundo lugar, está la fase neutral que es una transición entre la fase cálida (El Niño) y la fase fría (La Niña); esta última fase es lo contrario al Niño, y se

produce un enfriamiento de la temperatura superficial del océano, provocado por un aumento en el *upwelling*.

2.4. La gestión sostenible del litoral

La gestión y ordenación del litoral implica la planificación, organización, dirección y control de los recursos marino-costeros para el correcto desarrollo de sus actividades, conservándolas en el tiempo y permitiendo la satisfacción de necesidades y expectativas. Esta forma de entender el espacio costero requiere de una estrategia para la distribución de los recursos medioambientales, socio-culturales e institucionales con el fin de conseguir la conservación y el uso múltiple y sostenible de las playas.

Entendiendo que el turismo es sólo una de las actividades que se desarrollan en la playa, es necesario enfocar la gestión del litoral de forma integral y holística, considerándolo un espacio donde conviven procesos y actores diferentes entre sí. Así, para lograr esto resulta esencial superar visiones sectoriales (PRC) con procesos sinérgicos a escala regional local (PROT), que armonicen las distintas actividades que se llevan a cabo en este espacio y los diversos usos que las mismas implican.

La Gestión Integral y Sostenible del Litoral entonces, permite manejar de forma integrada, todas las distintas funciones de la playa y los servicios ecosistémicos que ella provee. Para ello, se siguen un conjunto de acciones conducentes al logro de determinados fines en el marco del uso global de los recursos de la franja costera. En este sentido tanto recursos materiales como humanos se combinan, distribuyen y disponen para cumplir dichos objetivos, siendo necesaria una constante evaluación de los efectos para corregir posibles desvíos. De esta forma se destaca que los dos conceptos esenciales de esta gestión son la sostenibilidad y la evaluación.

2.5. La gestión hacia la calidad ambiental y su relación con el turismo

En las últimas décadas, los destinos turísticos litorales se vieron ante el reto de renovarse para mantenerse en un mercado turístico cada vez más competitivo. Una demanda nueva compuesta por turistas más informados, exigentes y sensibilizados en materia ecológica, sumada a la irrupción de la sostenibilidad como nuevo paradigma de desarrollo, convirtieron a lo ambiental en variable clave para introducir en los destinos a fin de ganar competitividad tanto en destinos maduros que buscan renovarse como en destinos nuevos que intentan diversificarse.

Así, la nueva tendencia es la gestión del litoral enfocada hacia la calidad ambiental. La calidad ambiental, referida a los juicios de valor adjudicados al estado o condición del ambiente adoptados en una situación y momento dados, en función de variables ambientales que ejercen una mayor influencia sobre la calidad de vida presente y futura de los miembros de un sistema humano, juega un rol importante para el monitoreo y control.

Sin embargo, en la puesta en práctica en las playas, este concepto no tiene una única definición y es entendido desde distintas dimensiones como seguridad de los usuarios, percepción estética, limpieza y gestión de residuos, salud ecosistémica y manejo de playa en general.

La mejora de la calidad ambiental de las playas, además de impactar en la calidad del recurso (agua, aire, arena y biodiversidad), tiene su correlato con la experiencia turístico-recreativa. De esta forma, no sólo se mejora la calidad del espacio costero sino también del destino turístico en forma integral.

Uno de los instrumentos los sistemas de gestión suelen incluir directa o indirectamente para mejorar la calidad ambiental son las certificaciones. Esta herramienta de aplicación voluntaria promueve la incorporación productos y servicios que cumplen con ciertos requisitos ecológicos a partir del seguimiento de indicadores ambientales y de la implementación de programas de buenas prácticas. La certificación de playas es una forma de manejo integral, mediante indicadores que proporcionan información concisa que puede ser entendida y usada fácilmente por los tomadores de decisiones y el público en general.

La aplicación en el turismo de normas como las ISO 9.000 de Gestión de la Calidad o ISO 14.000 de Gestión Ambiental, manuales de buenas prácticas, eco-etiquetas como Bandera Azul (BA) o *Blue Flag* en inglés, directrices de gestión y autoevaluación, entre otras, brinda la posibilidad de incorporar la variable ambiental en la gestión del recurso y los servicios que en él se brindan, de manera tal que se combinen la calidad con la competitividad y la sostenibilidad del destino. En la Tabla 1 se observan los beneficios de la certificación *Blue Flag*.

Tabla 1: Beneficios del programa *Blue Flag*.

Nº	IMPACTOS DEL PROGRAMA
1	Potencia la Imagen Destino de la ciudad
2	Fortalece las playas como espacios públicos
3	Incrementa la calidad ambiental de la comuna
4	Fortalece la planificación territorial
5	“ Desestacionaliza ” el uso de las playas
6	Diversifica la oferta de servicios sostenibles
7	Promueve el autocuidado del territorio
8	Promueve el uso educativo de la zona costera
9	Elevan los niveles de accesibilidad e inclusividad
10	Incrementa la calidad de vida de las personas
11	Disminuyen los niveles de accidentalidad

Fuente: educarse.cl/blue-flag

En la Figura 4 se muestran ejemplos del equipamiento requerido para obtener la certificación eco-turística tales como instalaciones adaptadas para personas con discapacidades (vestuario, ducha, zona de sombra/descanso, sillas anfibia), papeleras y contenedores para recogida selectiva de residuos.

Figura 4: Equipamiento requerido para certificación Bandera Azul.

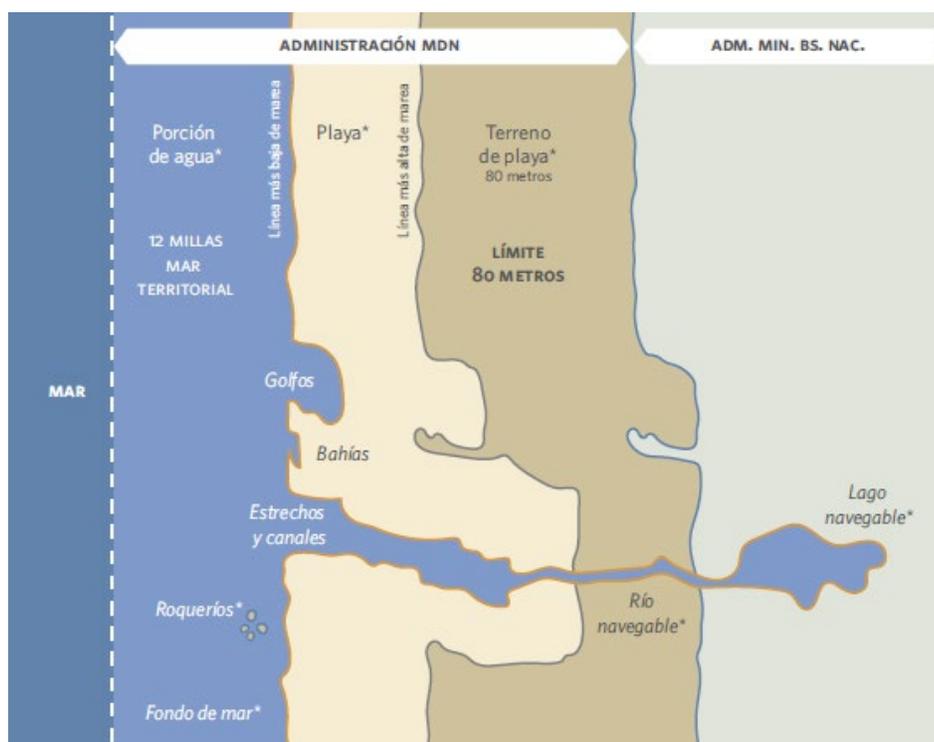


Fuente: blueflag.global.

2.6. Gestión de playas en Chile

En Chile la gestión de playas está supeditada a la Política Nacional de Uso del Borde Costero (PNUBC) promulgada el año 1994. Esta política utiliza el término ‘borde costero del litoral’ como aquella franja del territorio que comprende terrenos de playa fiscales situados en el litoral, la playa, las bahías, golfos, estrechos y canales interiores, y el mar territorial de la república, que se encuentran sujetos al control, fiscalización y supervigilancia del Ministerio de Defensa Nacional, Subsecretaría de Marina (Figura 5).

Figura 5: Administración del borde costero chileno.



Fuente: (en Martínez *et al.*, 2019b, adaptado de Subsecretaría de Marina).

Según Castro *et al.*, (2011) el objetivo de esta política fue velar por la protección del borde costero y el espacio marítimo, lo que no permitió concebir una idea de ‘protección ecosistémica’ de las unidades geográficas sensibles, más bien promovió las necesidades de desarrollo económico que las de conservación. Enfatiza junto a Barragán (2011), que existe una gran desconexión entre la base legal amplia y el espacio-recursos litorales, es decir, un vacío legal en criterios de zonificación en regiones, además de una falta de recursos económicos y capital humano calificado que cuenten con mecanismos eficaces de coordinación y cooperación.

El país ha presentado avances respecto a restricción del desarrollo urbano en zonas de riesgos en nuevos instrumentos de planificación como la Política Nacional de Desarrollo Urbano (PNDU) o los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial (PROT). No obstante, la gestión ha sido insuficiente debido a la falta de articulación con los Instrumentos de Planificación Territorial locales como Planes Intercomunales (PRI) y Planes Reguladores Comunes (PRC) debido tanto a las limitaciones de cada instrumento expresada en la falta de competencia y atribuciones, como las restricciones de operabilidad de la misma franja de protección.

Entonces, la zona costera debe definirse en su extensión a partir de evidencia científica con el objeto de establecer, no la línea de playa (máxima extensión del oleaje en condiciones de mareas de sicigias), sino la máxima extensión del nivel del mar holocénico, lo cual conlleva a utilizar el término de línea de costa, es decir el punto en el cual el mar estuvo posicionado como respuesta al último cambio climático global (Martínez *et al.*, 2019b).

Como se puede percatar la PNUBC lleva 27 años sin actualización, lo que implicado el aumentó a la exposición a desastres naturales debido a la degradación de gran parte de los ecosistemas costeros, como campos dunares, esteros y humedales que se encuentran fuera del 'borde' de protección (Castro y Morales, 2008; Martínez *et al.*, 2019b).

Esta situación plantea grandes desafíos de gobernanza costera frente al cambio climático, en donde es urgente instaurar el concepto de 'zona costera' como objeto de gestión y que la metodología de zonificación se fundamente en una Gestión Integrada de las Áreas Litorales (GIAL), con base ecosistémica. Para que esta Ley de Costas funcione, es imprescindible la educación a los funcionarios de los municipios costeros, ya que son ellos, los que día a día, llevan el control y gestión de estos ecosistemas a través de los usos permitidos en la zonificación del PRC (áreas urbanas) y también en el Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO), principal herramienta que orienta la planificación y gestión del desarrollo sostenible a escala local.

2.7. Clasificación de playas según turismo costero

En términos generales, "playas de turismo" puede ser definidas a través del concepto de "atracción turística". Las nociones de atracción turística incluyen según Hu y Wall (2005) "Un recurso permanente, ya sea natural o hecho por el hombre, que se desarrolla y administra con el objetivo principal de atraer visitantes". Los autores destacan características adicionales

de una atracción que debe estar abierta al público, sin reserva previa, estar cargo de una sola administración. y debe ser capaz de atraer visitantes de día o turistas que pasen la noche en el área.

El turismo de las 3S (*sun, sea, sand* en inglés) "sol, mar y arena" (Dodds & Kelman, 2008) presenta una belleza natural asociada al clima, una variedad de instalaciones y servicios de apoyo que se encuentran fuera de los límites del área de la playa pero que tienen un acceso directo, esta experiencia cautiva a los amantes de la playa, junto con el transporte, comida, entretenimiento y recreación que requieran los visitantes.

Las playas se consideran comúnmente como otros ecosistemas costeros, enmarcados en relaciones bióticas y abióticas. Sin embargo, con el avance de la ciencia y los paradigmas sociales se consideran un sistema socio-ecológico (Botero *et al.*, 2014). Hoy en día, la función social principal de las playas está vinculada a su capacidad de recibir miles de visitantes que buscan actividades de ocio en un lugar agradable. Esta función recreativa permite a los habitantes locales y visitantes extranjeros disfrutar de la costa, consolidando un sentido de identidad. Esto ha generado la creación de organizaciones civiles que luchan por la defensa del "patrimonio común" porque consideran que estos sectores costeros son parte de su realidad diaria. Estas dos funciones sociales, ocio e identidad, están estrechamente vinculadas con el derecho de acceso público a las playas, que están bajo protección legal en la mayoría de los países del mundo.

De esta forma, las playas turísticas deben gestionarse de manera que los visitantes disfruten cómodamente de su estadía y reduzcan al mínimo su impacto ambiental. La lista de servicios e instalaciones para implementar en una playa depende en gran medida del tipo de turistas que frecuentan el lugar y sus preferencias dinámicas (Botero *et al.*, 2013b). De esta manera, Williams (2011) estableció el llamado 'Big Fives' relacionado con las preferencias de casi cualquier visitante de playa en el mundo: calidad del agua, basura, instalaciones, paisajes y seguridad.

Las características de las playas turísticas como atracción son diferentes de las que se ofrecen a las atracciones que no son playas, varía de una cultura a otra y depende del tipo de playa y del tipo de turista que atraiga (Botero *et al.*, 2013b). Centrándose sólo en la playa como una atracción para los turistas, se pueden identificar varios modelos de turismo de

playa, según los servicios ofrecidos y el perfil de los bañistas, los que se detallarán a continuación.

2.7.1. Playas turísticas

Este tipo de playa representa el modelo clásico de turismo de masas y el llamado turismo de las 3S caracterizado por altas densidades de usuarios de playa ($<5 \text{ m}^2 / \text{usuario}$) y alto nivel de infraestructura turística. Las playas turísticas no necesariamente dependen de la proximidad a las zonas urbanas, hay playas turísticas consolidadas dentro de las ciudades, como Copacabana en Río de Janeiro o Bristol en Mar del Plata, y miles de playas turísticas en áreas remotas, como Cayo Coco en Cuba o Albarella en Italia. Las playas turísticas pueden manifestarse en una variedad de escalas. Dependiendo del visitante, según su percepción, pueden atraer personas a nivel local, regional, nacional e internacional. Las vistas, sitios, objetos o eventos particulares a menudo serán el foco de experiencias para turistas y residentes locales, pero para el primer grupo, son un objeto de atracción turística y para el segundo un objeto de experiencia relacionada con el ocio en la localidad de origen (Botero *et al.*, 2018).

Durante las últimas décadas, surgieron nuevos modelos, derivados del deseo de los turistas de buscar experiencias más exclusivas. Como resultado, cada día es más común descubrir clubes de playa de lujo con precios extremadamente altos para usar sus instalaciones (> 500 euros / día para alquilar una sombrilla), y las playas se están centrando en deportes como *wave-surfing* o *kitesurfing* (Botero *et al.*, 2018). En consecuencia, la innovación de instalaciones y servicios en las playas está permitiendo nuevos complejos de turismo de playa tales como resorts de playa, hostales de playa y variados clubes (club de yates, fragatas, remos).

2.7.2. Playas naturales

Las playas naturales se ubican en zonas remotas lejanas a las urbes y los centros de contaminación, son áreas prístinas caracterizadas por recibir bajas densidades de usuarios ($>5 \text{ m}^2 / \text{usuario}$) y conservar las condiciones naturales con altos valores paisajísticos relacionados con la presencia de plataformas rocosas, campos dunares y acantilados hacia los extremos de las playas en bolsillo (Botero *et al.*, 2013b). Los perfiles de los visitantes son en su mayoría científicos, guardaparques o amantes de la naturaleza. Estas playas tienen

varias restricciones en la mayoría de las actividades turísticas con el objeto de asegurar su protección, reduciendo al mínimo el impacto ambiental de sus turistas. Ejemplos de este tipo de zonas en el mundo son las playas de Long Reef (Australia), Santa Catarina (Brasil), Sumner (Nueva Zelanda) y las playas del Parque Nacional de Doñana en España (Ergin *et al.*, 2006).

2.7.3. Playas populares

Las playas populares son las que suelen visitar los residentes locales de la ciudad o pueblo en el que se encuentra la playa, y están destinadas sólo para fines recreativos. Desde el punto de vista turístico, estas playas son las mismas que las turísticas, con mucha gente tomando sol y nadando, pero en un nivel de análisis más profundo, la motivación de los bañistas y las actividades pueden ser diferentes, lo que también implica la necesidad de estrategias de gestión específicas. Como resultado, hay una competencia furiosa todos los días (e.g. espacio en la playa, tipo de servicios, premios) entre residentes locales que reconocen la playa como su frecuente espacio público para el ocio y turistas que viajaron cientos o miles de kilómetros atraídos por esta ubicación costera. Inicialmente, la intensidad de uso tiene un patrón diferente, mientras que los residentes locales visitan las playas los fines de semana, temprano en la mañana o al final del día, los turistas usan la playa todo el día y sus visitas se concentran en temporadas de verano, especialmente durante las vacaciones (Botero *et al.*, 2013b).

En segundo lugar, los residentes locales visitan casi la misma playa o pocas playas durante toda su vida, lo que aumenta el sentido de identidad y el cuidado de este espacio costero. Por el contrario, muchos turistas visitan la playa para experimentar la novedad, siendo menos común que regresen al mismo lugar (Botero *et al.*, 2013b).

En tercer lugar, el propósito de visitar a los residentes locales está vinculado a la interacción social con sus compañeros cuáles son sus amigos, parientes o colegas; mientras tanto, para los turistas, el objetivo principal es descubrir un nuevo lugar, nuevas experiencias e incluso nuevas personas, a quienes tal vez no volverán a ver en sus vidas. Sin embargo, aquellos visitantes con una segunda residencia en las áreas costeras son un caso particular, entre locales y turistas, porque regresan a las mismas áreas cada temporada, se encuentran con la misma gente y tienen una identidad con algunas playas, pero rara vez visitan la playa en otras fechas (Botero *et al.*, 2018).

2.8. Indicadores de calidad paisajística según tipología de playa

A partir de estudios realizados en cinco tipos de playa: resort, urbano, rural, pueblo, rural y remoto, distribuidas en Gales, Reino Unido, Estados Unidos, España, Malta y Turquía, se determinó que un 48% de los turistas prefirieron una playa rural con instalaciones básicas solamente, es decir, baños, refrigerios, estacionamiento. En cuanto a los criterios de preferencia de una playa sobre otra, los resultados arrojaron que cinco parámetros son importantes para los usuarios de la playa: seguridad, instalaciones, basura, calidad del agua y paisajes (Williams, 2011). Esta investigación se basa en este último parámetro ya que es fundamental a la hora de la selección del sitio a visitar y por esto constituye la base de la economía de muchas ciudades costeras.

En contraparte, un estudio comparativo que analiza las preferencias de playas entre turistas europeos y caribeños realizado por Botero *et al.*, (2013c), establece que las preferencias de los usuarios de la playa varían mucho según su herencia cultural y educativa, sus tradiciones nacionales y locales, sexo y condición socioeconómica. De este modo, a diferencia de los usuarios europeos, los caribeños no consideran el criterio paisajístico a la hora de visitar las playas, más bien el criterio de proximidad como una razón importante para la elección de las playas, junto con ello aspectos como "un ambiente amigable" y "ambiente de fiesta" fueron mencionados.

El paisaje es uno de los recursos costeros y por lo tanto su evaluación es una herramienta importante para los gestores y planificadores del litoral a la hora de la realización de planes de conservación, protección, desarrollo y manejo. Así, los resultados de este tipo de evaluación son de gran interés para organizaciones que trabajan en la gestión del litoral. Un problema importante en la evaluación del paisaje es la incapacidad de algunas metodologías de reflejar correctamente las percepciones de la gente, debido al alto peso que pueden llegar a tener rasgos subjetivos. En este aspecto, este trabajo se centra en una lista de chequeo basada en las ideas propuestas por Leopold (1969) en su evaluación clásica de paisaje para el medio-oeste americano, utilizando la lógica matemática y matrices ponderadas (*fuzzy logic matemáticas - parameter weighting matrices*) las cuales permiten disminuir la subjetividad y cuantificar con exactitud la incertidumbre (Ergin *et al.*, 2004).

A su vez, una serie de matrices, se utilizaron para determinar valores de peso de acuerdo a la preferencia de los usuarios. Como resultado de estos análisis se obtuvo un valor (D) el cual sintetiza la evaluación del paisaje en 5 clases que van desde la Clase 1 (zona sumamente atractiva) hasta la Clase 5 (zona muy poco atractiva).

2.8.1. Parámetros físicos

La evaluación del paisaje costero emplea 26 parámetros, 18 físicos y 8 antropogénicos. La selección de los parámetros se realizó por medio de revisión bibliográfica y encuestas realizadas a los usuarios costeros y expertos en diversos países de Europa (e.g. Turquía, Malta, Reino Unido) para de esta forma identificar que tanto influye cada uno de los parámetros en la esencia del paisaje escénico costero (Ergin *et al.*, 2010, Williams *et al.*, 2016).

El conjunto de factores necesarios para la evaluación paisajística es definido como F y está dado por la formula (Ergin *et al.*, 2010):

$$F = \{P, H\}$$

Subconjuntos efectivos del factor “F” que incluye 18 parámetros físicos (P) y 8 parámetros antropogénicos (H), son expresados como: P (Físicos) = {P1, P2, P3, Px}

P1 es la {altura, pendiente, características especiales} asociadas a los acantilados, P2 el {tipo, ancho, color} referido a la playa, P3 {pendiente, extensión, rugosidad} referido a las plataformas rocosas y Px = P4 hasta P14 referido a {dunas, características de los valles, forma del relieve, mareas, paisaje costero, color del agua y residuos de vegetación}

De lo anterior se obtuvo una lista de chequeo para la evaluación del paisaje costero (Tabla 1). Esta contiene los parámetros empleados para la evaluación y sus calificaciones basadas en una escala de 5 puntos, siendo (1) una calificación que denota presencia/ausencia o mala calidad y (5) excelencia. El trabajo de campo consistió en marcar una casilla que corresponde a la escala de atributos (1-5) para todos los parámetros que se presentan en la Tabla 2 en cada una de las playas visitadas.

Tabla 2: Indicadores de calidad paisajística físicos.

N°	Parámetros físicos	Unidad de medida	CALIFICACIÓN				
			1	2	3	4	5
1	Acantilados	Altura	Ausente	Entre 5 y 30 m	Entre 30 y 60 m	Entre 60 y 90 m	Más de 90 m
2		Pendiente (°)	Entre 45-55°	Entre 55-60 °	Entre 65-75°	Entre 75-85°	Vertical
3		Características especiales*	Ausente	1	2	3	Más de 3
4	Playas	Tipo	Ausente	Lodo	Guijarros	Gravas-Gránulos	Arenas
5		Ancho	Ausente	Menos de 5 m	Entre 5 y 25 m	Entre 25 y 50 m	Entre 50 - 100 m
6		Color del sedimento	Ausente	Oscuro	Grisáceo	Blanqueado	Blanco - Dorado
7	Playa Rocosa	Pendiente°	Ausente	Menos de 5°	Entre 5-10°	Entre 10-20°	Entre 20-45°
8		Extensión	Ausente	Menos de 5 m	Entre 5-10 m	Entre 10-20 m	Más de 20 m
9		Rugosidad	Ausente	Puntiaguda	Dentada	Irregular	Suavizada
10	Dunas		Ausente	Remanentes	Dunas traseras	Cordón secundario	Campo de dunas
11	Valle		Ausente	Valle Seco	Con drenaje pequeño	Con drenaje mediano	Con río
12	Forma del relieve		No visible	Plano	Ondulado	Fuertemente ondulado	Montañoso
13	Mareas		Macromareal (más de 4 m)		Mesomareal (2 - 4 m)		Micromareal (menos de 2 m)
14	Elementos Paisajísticos**		Ninguno	1	2	3	más de 3
15	Vistas		Abierto a un lado	Abierto a dos lados		Abierto a tres lados	Abierto a cuatro lados
16	Color y claridad del agua		Café - Verde Opaco	Azul lechoso - Opaco	Verde - Azul verdoso	Azul - Azul oscuro	Azul turquesa
17	Cobertura de vegetación		Descubierto (menos del 10% de vegetación)	Hierba, vegetación baja	Matorrales, bosque bajo	Humedales, árboles maduros	Bosque
18	Presencia de Debris		Continuo de más de 50 cm de alto	Línea continua	Acumulación Sencilla	Algunos Ítems	Ninguno

Fuente: Rangel *et al.* (2019).

*Características especiales del acantilado: estratificación, plegamiento, perfil irregular.

**Elementos Paisajísticos: Penínsulas, arcos, stacks, cavernas, cataratas, deltas, lagunas, islas, estuarios, corales, fauna, tómbolos, etc.

2.8.2. Parámetros humanos

Los 8 parámetros antropogénicos (H) evalúan el impacto de las actividades realizadas por el hombre sobre el paisaje (Tabla 3).

H (Antropogénicos) = {H1 hasta H8}

H1 hasta H8 se refiere a {ruido, basura, evidencias de descarga de aguas residuales, grado de modificación y de construcción del medio, tipos de acceso, línea del horizonte y estructuras antropogénicas}.

Con el fin de medir la incertidumbre y excesos derivados de la subjetividad que pudo haber tenido la valoración de los parámetros, se aplicó la lógica matemática. A su vez, una serie de matrices, se utilizaron para determinar valores de peso de acuerdo a la preferencia de los usuarios.

Tabla 3: Indicadores de calidad paisajística antropogénicos.

Nº	Parámetros Antropogénicos	CALIFICACIÓN				
		1	2	3	4	5
1	Ruido	Intolerable	Tolerable		Poco	Ninguno
2	Basura	Acumulaciones continuas	Línea continua	Acumulación Sencilla	Algunos Ítems	Virtualmente Ausente
3	Evidencia de Aguas Residuales	Evidente		Alguna Evidencia		No Evidente
4	Agricultura	Ninguna	Campos de Cultivo - Monocultivo	Terraceo	Palmeras	Cultivo Intensivo
5	Ambiente Construido	Industria Pesada	Turismo Fuerte - Urbanizado	Turismo Leve o Urbanismo Sensitivo	Turismo Sensitivo	Histórico - ninguno
6	Tipo de Acceso	Sin zona Buffer - Tráfico Pesado	Sin zona Buffer - Tráfico Liviano		Parqueo Visible desde la playa	Parqueo no Visible
7	Línea de Horizonte	Muy dañado	Dañado	Diseño Sensiblemente	Alto Diseño - Sensible	Características Históricas - Monumentos
8	Estructuras Antrópicas*	Más de 3	3	2	1	Ninguna

Fuente: Rangel *et al.* (2019).

*Estructuras Antrópicas: son consideradas las líneas eléctricas, tuberías de gas, espolones, muros, etc.

Los parámetros prioritarios fueron determinados por medio de cuestionarios de percepción realizados tanto a visitantes de las playas como a locales, lo que permitió el cálculo de los valores ponderados de estos. A partir de la realización de los cuestionarios se determinó que los parámetros más importantes para los usuarios de la playa son: i) ausencia de basura/desagües, ii) color del agua/claridad, iii) ausencia de ruido y iv) presencia de rasgos geomorfológicos (p. ej. pilares de roca, arcos marinos, entre otros).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Definición del área de estudio y características geográficas

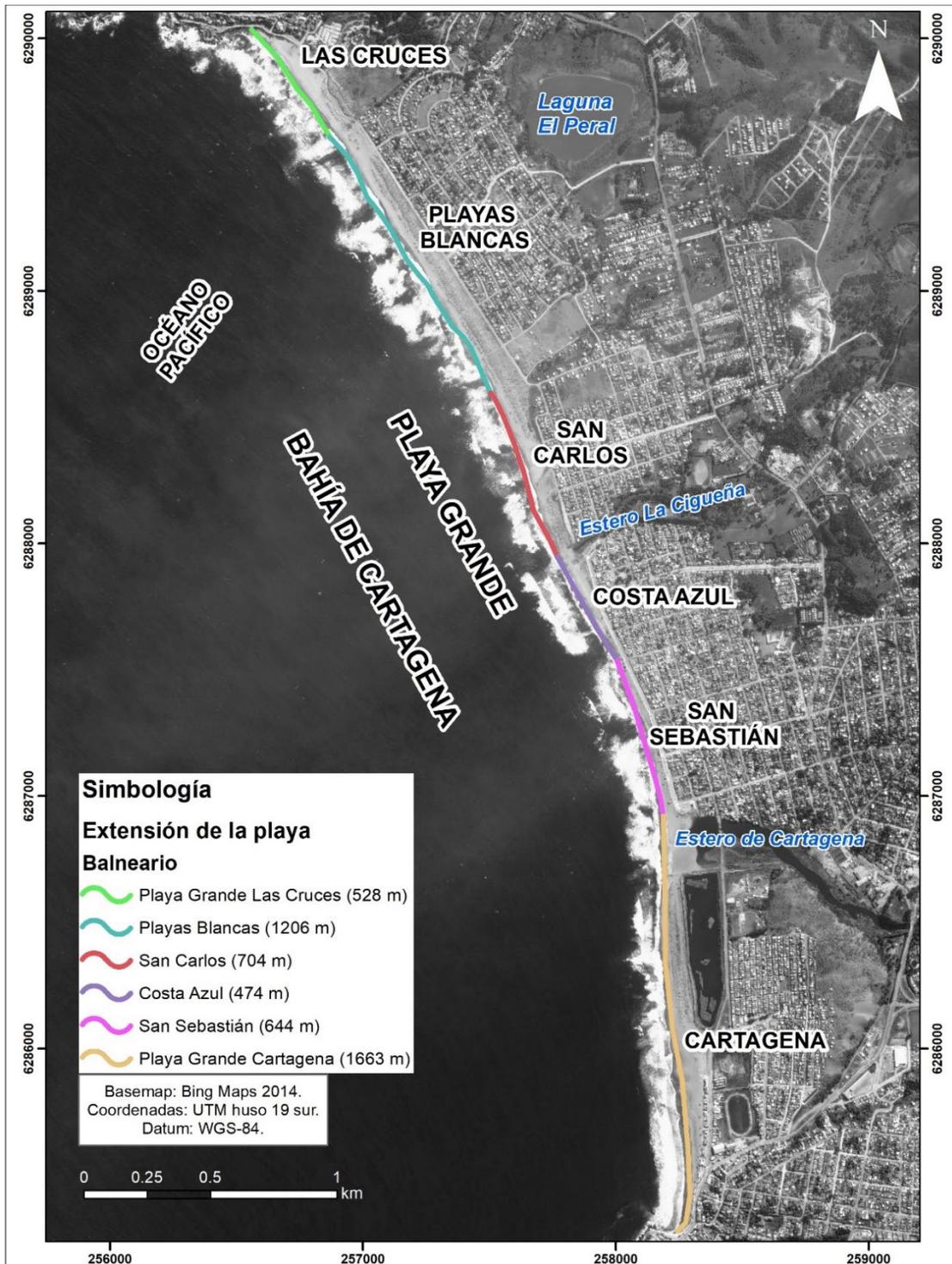
El área de estudio abarca el litoral de la Bahía de Cartagena, en la región de Valparaíso, Chile central ($33^{\circ}30'$ - $33^{\circ}33'$ S); desde el cabo norte con la playa Las Cruces (Punta Lacho) hasta el cabo sur correspondiente a Cartagena (Punta Vera).

En general, el litoral está constituido predominantemente por sectores arenosos, surcados por numerosas quebradas y esteros como La Cigüeña, Cartagena, que se encuentra rodeados por puntas y ambientes rocosos que delimitan la bahía. La bahía tiene una orientación NNW-SSE (la misma que posee la isóbata de 50 metros frente a esta playa), perpendicular al oleaje predominante del SW, por lo que queda expuesta directamente a éste; pero algo protegida en su parte sur por la Punta Vera.

Es necesario aclarar, que originalmente la “Playa Grande” abarcaba toda la bahía de Cartagena (sin considerar la Playa Chica de Cartagena), concepto que hoy ha sido restringido sólo al sector norte del balneario Cartagena (al sur del estero homónimo), por lo que en este estudio se utilizará el topónimo primitivo como símil a la extensión de la bahía. De esta forma, el área de estudio abarca los siguientes balnearios enunciados de norte a sur con sus respectivas longitudes de playa: Playa Grande de Las Cruces (528 m), Playas Blancas (1206 m), San Carlos (704 m), Costa Azul (474 m), San Sebastián (644 m) y Playa Grande de Cartagena (1663 m).

Esta playa encajada o de fondo de bahía se encuentra ubicada en una planicie marina abrasivo-acumulativa baja modelada en rocas del batolito costero, posee una longitud total de 5,25 km y un ancho promedio de 700 m. La zona de rompiente es de tipo intermedia-disipativa, con un ancho entre 120-200 m (zona de surf + *swash*) y desarrollo de *cusps* de playa en su zona norte (Figura 6).

Figura 6: Extensión longitudinal de los balnearios ubicados en la Bahía de Cartagena.

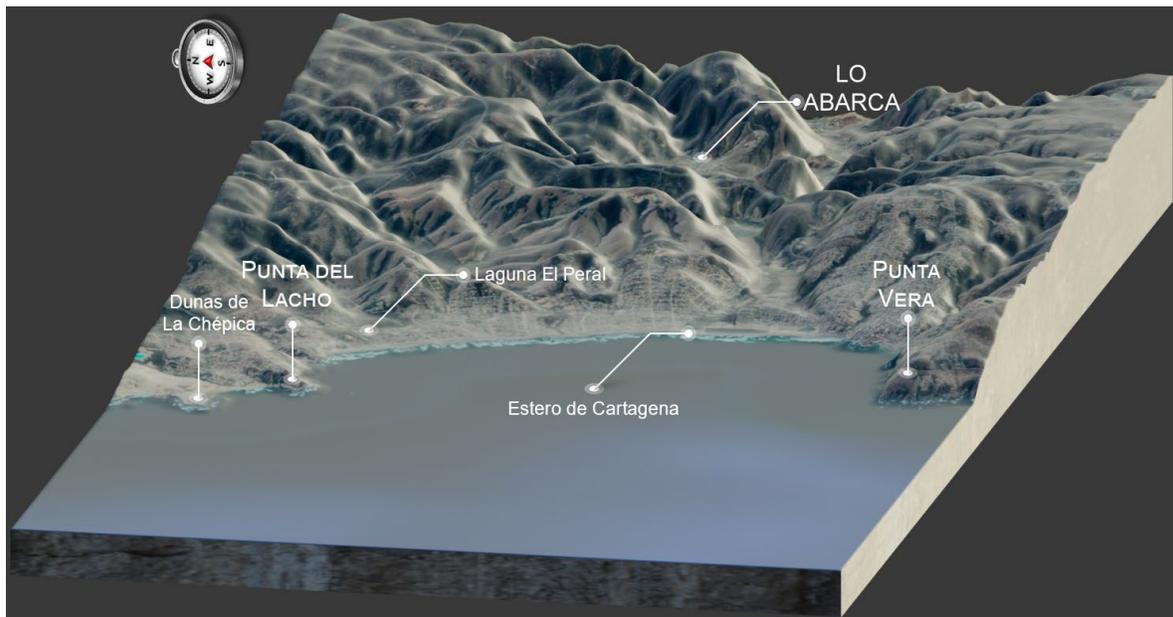


3.1.2. Célula litoral

El área de estudio se desarrolla sobre la Bahía de Cartagena, la cual compone la célula litoral que se encuentra delimitada latitudinalmente por el promontorio rocoso (*headland*)

conocido como “Punta del Lacho” por el extremo norte y por la saliente rocosa “Punta Vera”, ubicado en la comuna de Cartagena, por el extremo sur (Figura 7). En su sentido meridional, la célula se extiende por el este hasta el límite de la zona costera, abarcando el espacio correspondiente a la primera terraza fluvio marina ubicada tras la ruta G-98-F. De esta manera, la célula abarca ecosistemas diversos como campos dunares, lagunas, quebradas, esteros y estuarios. Hacia el oeste, la célula se proyecta al mar hasta el límite de la plataforma continental, donde se encuentra el cañón submarino de San Antonio de apreciables dimensiones, que nace en la desembocadura del río Maipo y que se prolonga hasta alcanzar la fosa de Chile-Perú en un recorrido aparentemente controlado tectónicamente (Paskoff, 2010).

Figura 7: Modelo 3D de la Bahía de Cartagena, Región de Valparaíso.



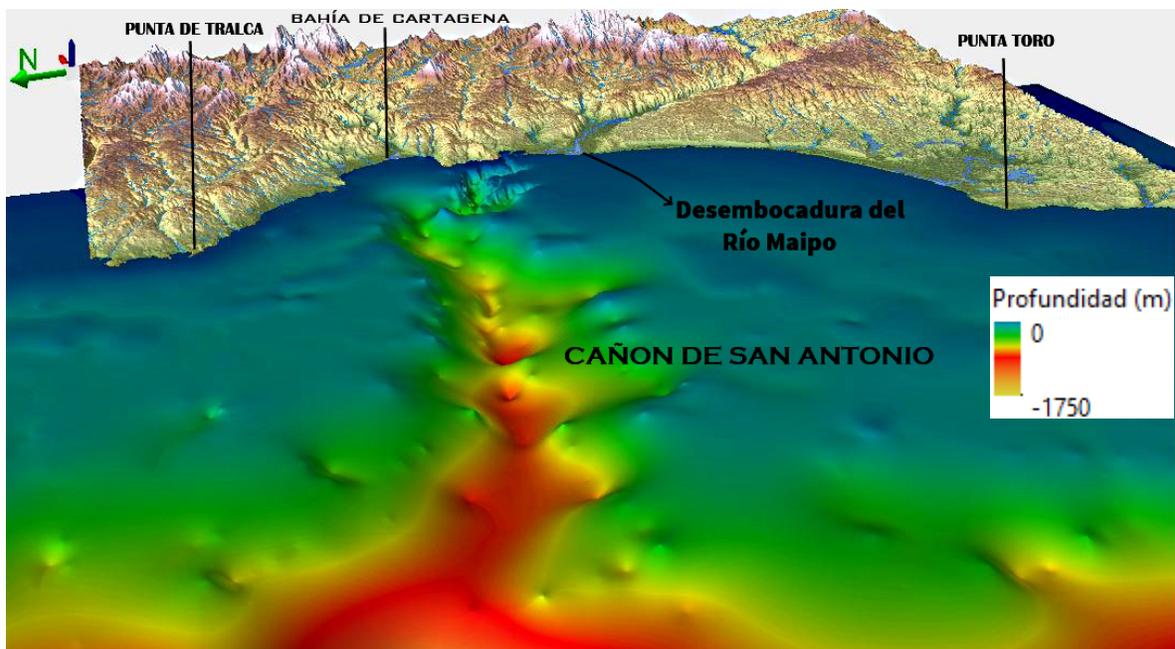
Fuente: elaboración propia.

En relación al aporte sedimentario que recibe la célula, hay que destacar que la bahía compone la sección distal del macrosistema “Ensenada de Cartagena” (33°25’30”- 33°46’00” S), que se extiende entre Punta de Tralca, por el norte y Punta Toro (Santo Domingo). La presencia de arenas oscuras indica la existencia de una fuerte deriva litoral que acarrea sedimentos volcánicos provenientes del río Maipo ubicado a 7 km al sur de Cartagena (Del Canto & Paskoff, 1983). A lo largo de su forma se aproxima a segmentos de espiral

logarítmica, presentando la sección distal o de Cartagena un segmento elíptico (Bahía de Cartagena), que controla la dinámica sedimentaria interna (Martínez, 2001) (Figura 8).

Según un estudio sedimentológico realizado en playas del Litoral Central (Del Canto y Paskoff, 1983), la Punta del Lacho en Las Cruces, constituye una barrera o límite entre dos sistemas de deriva litoral. Esto se puede apreciar en el color claro y tamaño grueso-medio de las arenas que conforman la playa Chépica (El Tabo), Playa Chica y Grande de Las Cruces ubicada en el extremo norte de la Bahía de Cartagena alimentadas por sedimentos provenientes del Estero de Córdoba y la Quebrada la Hoyada (aporte local), por tanto, una deriva litoral de dirección Norte a Sur. A diferencia de Playa Grande Cartagena de sedimentos más finos y oscuros alimentadas por una deriva Sur-Norte desde del río Maipo (aporte lejano).

Figura 8: Macrosistema Ensenada Cartagena



Fuente: elaboración propia, en base a batimetría facilitada por SHOA.

Desde la perspectiva geológica (Figura 9) la mayor parte de los balnearios que componen la Playa Grande, están asentados sobre roca metamórfica del Paleozoico, y sobre sedimentos marinos del Terciario Superior. El sector más próximo a la línea de costa, está cimentado sobre depósitos cuaternarios de aluviones y paleodunas. En la carta geológica, se aprecia la

Falla de Cartagena, una discontinuidad cortical de edad Neógena que atraviesa el valle del Estero de Cartagena y que tiene un cinemática o movimiento normal. Según Sabaj (2008) correspondería a una falla potencialmente activa de 6 km de largo con rumbo N80W, que puede desencadenar sismos de hasta 5,8 en la escala de magnitud de momento (Mw). Es relevante mencionar, que, en algunos sectores altos como Vista Hermosa, Palo Verde y San Sebastián, la erosión hídrica junto con la actividad antrópica; han posibilitado el surgimiento de una fuerte erosión del suelo expresada en regueras y cárcavas (Castro & Vicuña, 1990).

3.2. Metodología

Para llevar a cabo el desarrollo de la investigación, la metodología fue dividida en tres apartados, correspondiendo cada uno de ellos a los objetivos específicos a conseguir en el proceso.

En la primera etapa, se identificó y caracterizó los cambios en la línea litoral de la Bahía de Cartagena para una escala temporal de 56 años (1963 a 2019) a través de un set de fotografías aéreas de vuelos bajos e imágenes satelitales interanuales con estacionalidad verano-invierno, lo que permitió digitalizar cada una de las líneas y determinar las variaciones espacio-temporales por medio del método de regresión lineal ponderada denominado WLR del software DSAS (Himmelstoss *et al.*, 2018), que permite analizar un set de líneas litorales.

La segunda etapa corresponde a la caracterización del potencial turístico de la zona mediante el Índice de Sostenibilidad de Playas Turísticas (ISPT), que considera 20 parámetros físicos y 15 parámetros humanos y la tasa de cambio de la línea litoral como parámetro mixto. Este análisis se realizó en todos los balnearios presentes en la Bahía de Cartagena.

La tercera y última etapa consistió en zonificar los balnearios según el ISPT determinado, complementariamente, se consideró los criterios de Bandera Azul con el objeto de constituir un insumo para una futura certificación ecoturística de la Playa Grande.

3.2.1. *Determinar las variaciones espacio-temporales en la posición relativa de la línea litoral durante el período 1963-2019.*

Con el fin de determinar los cambios en la posición relativa de la línea litoral de la Bahía de Cartagena, se utilizó un set de 15 fotografías aéreas de vuelos bajos e imágenes satelitales interanuales con estacionalidad verano-invierno, con las que se construyó una serie histórica a escala de detalle en el período 1963-2019 (Tabla 4). La escala de los fotogramas no excedió de 1:30.000, con el objeto de no inducir errores importantes en la digitalización de la línea litoral. Estas fotografías fueron escaneadas en alta resolución (1200 dpi), georreferenciadas, digitalizadas y llevadas al sistema de coordenadas UTM, con datum geodésico WGS 84 a través del software *ArcGIS® 10.8*.

Tabla 4: Listado de fotografías e imágenes satelitales utilizadas en el estudio.

AÑO	VUELO/WEBMAP	FECHA	ESCALA	PERÍODO	FUENTE DE OBTENCIÓN
1963	SANTONI	Jul-63	1:15.000	Invernal	Fotografía aérea
1967	SAF	Dic-67	1:14.000	Estival	Fotografía aérea
1976	SAF	Ago-76	1:20.000	Invernal	Fotografía aérea
1980	SAF	Jul-80	1:30.000	Invernal	Fotografía aérea
1992	FONDEF	Dic-92	1:20.000	Estival	Fotografía aérea
2003	Bing Maps	Feb-03	1:10.000	Estival	Imagen satelital
2005	AEROINGENIERIA	Dic-05	1:20.000	Estival	Fotografía aérea
2009	Google Earth	Ago-09	1:10.000	Invernal	Imagen satelital
2011	Bing Maps	Ene-11	1:10.000	Estival	Imagen satelital
2014	Bing Maps	Ago-14	1:10.000	Invernal	Imagen satelital
2015	Google Earth	Sep-16	1:10.000	Invernal	Imagen satelital
2018	Bing Maps	Feb-18	1:10.000	Estival	Imagen satelital
2018	Bing Maps	Ago-18	1:10.000	Invernal	Imagen satelital
2019	Bing Maps	Feb-19	1:10.000	Estival	Imagen satelital
2019	Bing Maps	Ago-19	1:10.000	Invernal	Imagen satelital

Fuente: elaboración propia.

La técnica de georreferenciación de las fotos aéreas e imágenes satelitales se realizó en Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando una corrección no paramétrica con función de ajuste polinomial en los puntos de control o *ground control points* (GCPs) distribuidos alrededor de la imagen, posteriormente a esta transformación matemática se

procedió a remuestrear espacialmente las celdas distorsionadas según el criterio *Nearest neighbor* (pixel más cercano). Para mejorar la georreferenciación, se procedió a descargar segmentos del área de estudio en el software *SAS.Planet* con una buena resolución espacial para realizar fotomosaicos, con el objeto de identificar con mayor certeza los puntos de referencia encontrados en terreno y así, evitar el sobreajuste (concentración de los puntos en una zona de la foto), no obstante, este procedimiento igualmente induce errores acumulativos en la determinación de los cambios de la línea litoral (Martínez *et al.*, 2017). Para estimar estos errores, se consideró el criterio propuesto por Araujo *et al.*, (2009) de Representatividad del píxel o CRP (Fórmula 1).

$$CRP = \frac{2,54 \times 10^{-2} \text{ m} \times \text{Escala}}{\text{Resolución (dpi)}} \quad (1)$$

El CRP busca obtener una adecuada calidad de representación de la imagen al terreno, a partir de la multiplicación de un factor por la escala de la imagen, donde el producto se divide por la resolución de cada imagen expresada en puntos por pulgadas (dpi), de manera que, si el CRP es menor a 1 metro, la imagen obtiene una adecuada calidad de representación.

Posterior al geoprocesamiento de las imágenes, se procedió a georreferenciarlas con al menos seis GCPs dispuestos en toda la imagen. Asimismo, para mejorar la calidad de ajuste de la imagen a los puntos de control, se utilizó el Error Medio Cuadrático o RMSE (Fórmula 2) que corresponde a la suma de las diferencias entre las posiciones de la imagen y la base cartográfica elevada al cuadrado, dividida por la cantidad de mediciones realizadas. Este error luego debe multiplicarse por una constante ‘K’ (1.7308), con el fin de obtener un nivel de confianza del 95% en relación con la posición real de los puntos en la base cartográfica. Este error corregido se denomina EQMc. Esto significa que el 95% de la imagen rectificadas tiene una exactitud igual o mayor que el EQMc, además de reflejar las incertidumbres asociadas al proceso fotogramétrico (Araujo *et al.*, 2009; Winckler *et al.*, 2019a).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{observado}_i - \text{referencia}_i)^2}{n}} \quad (2)$$

Fuente: Araujo *et al.*, (2009).

Donde:

observado_i = coordenada relativa (imagen cruda).

referencia_i = coordenada absoluta (imagen de referencia).

n = número de mediciones (GCPs).

De esta forma, se aseguraron resultados con RMSE de entrenamiento inferiores a 0,5 m (inferior a medio pixel de la imagen cruda) y con más de cinco puntos de control para garantizar una buena distribución y georreferenciación de los fotogramas. Con los fotogramas georreferenciados, se procedió a digitalizar la línea litoral para cada año, utilizando un criterio geomorfológico mediante la determinación de la línea de máxima pleamar visible en cada imagen. En litorales arenosos de Chile Central caracterizados por regímenes micromareales, este límite coincide con el inicio de la anteduna bordera donde la playa alta se encuentra estabilizada (Martínez *et al.*, 2017). Este criterio permite trabajar con los efectos morfológicos que ocurren en la playa y que se relacionan con la mayor energía que ésta tiene respecto de sus procesos litorales, incluyendo el oleaje de tormenta (Winckler *et al.*, 2019a) (Figura 10).

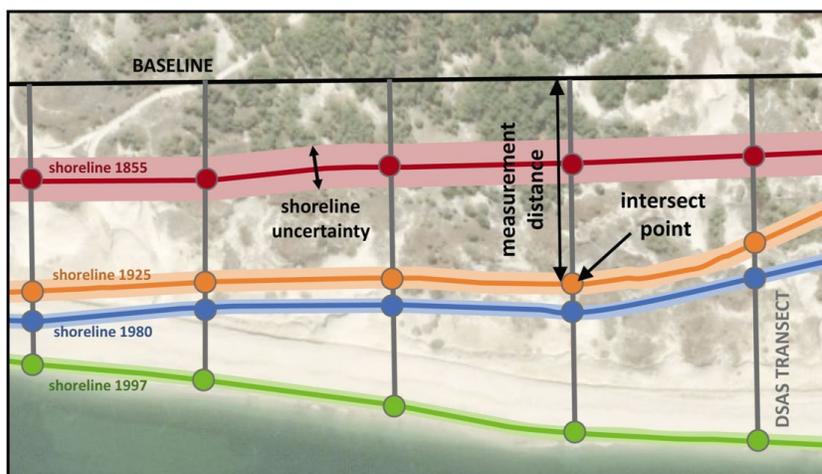
Figura 10: Ejemplo de extracción de línea litoral utilizando el criterio geomorfológico.



Fuente: elaboración propia en base a foto aérea levantada con dron el 6 de diciembre de 2018 (Winckler *et al.* 2019a).

Posterior a la digitalización de las líneas litorales, se utilizó el software “*Digital Shoreline Analysis System*” (DSAS) versión 5.0 (Himmelstoss *et al.*, 2018) creado por el *U.S. Geologic Survey* (USGS), el cual es compatible con *ArcGIS 10.8* (Thieler *et al.*, 2009). Esta herramienta permitió calcular estadísticas de tasa de cambio desde múltiples posiciones históricas de la costa, obteniendo tasas de cambio de líneas litorales en m/año. Para dicho proceso, se utilizó el método WLR¹ (tasa de regresión lineal ponderada) que permite utilizar todas las líneas litorales disponibles asignando pesos a cada medición dependiendo de su confiabilidad, valores positivos del WLR determinan acreción y negativos erosión (Himmelstoss *et al.*, 2018). Esta confiabilidad se mide a partir de un parámetro de incertidumbre que se ingresa como atributo en DSAS (‘uncy’), el cual es determinado a partir de la raíz cuadrada de las sumas de cada tipo de incertidumbre al cuadrado (escala, puntos GPS y rectificación expresada en el RMSE), lo que permite contar con una evaluación ponderada de cada línea litoral según su valor de incertidumbre. La Figura 11 ejemplifica esta situación, donde la línea litoral de 1855 presenta una mayor banda de incertidumbre con respecto a las otras tres, por tanto, menor será el aporte de esta línea litoral al modelo de regresión lineal ponderada.

Figura 11: Incertidumbre de las líneas litorales en DSAS.



Fuente: Himmelstoss *et al.* (2018).

¹ El WLR calcula la tasa de cambio de regresión lineal ponderada ajustando una línea de regresión de mínimos cuadrados a todos los puntos de la línea litoral para cada transecto, incorporando un factor de incertidumbre. El ajuste de mínimos cuadrados minimiza la suma de los residuos al cuadrado, evitando la compensación de valores por defecto y por exceso (Himmelstoss *et al.*, 2018). El WLR incorpora dos estadísticos, el primero el WSE (error estándar de regresión lineal ponderada) y el WR2 (R-cuadrado de regresión lineal ponderada).

Adicionalmente, se utilizó LRR (tasa de regresión lineal) en el mismo periodo de estudio y el NSM (movimiento neto de la línea litoral) durante 2003-2019; con el objeto de complementar y determinar los periodos de mayores cambios de la línea litoral.

La regresión lineal (LRR) y la regresión lineal ponderada (WLR), fueron seleccionadas porque se consideran estadísticamente más sólidas cuando hay un número importante de líneas de playa disponibles (Crowell *et al.*, 1991). También son las técnicas estadísticas más comúnmente aplicadas para expresar el movimiento de la costa y la estimación de las tasas de cambio (Thieler & Danforth, 1994). Además, minimizan el potencial de error aleatorio y la variabilidad a corto plazo (cambios cíclicos) mediante el uso de un enfoque estadístico (Douglas & Crowell, 2000).

Posterior a la aplicación del modelo WLR, los valores fueron reclasificados en 5 categorías para obtener una escala de erosión bajo los parámetros de Rangel *et al.*, (2015) (Tabla 5). El resultado final de este objetivo fue la carta de cambios espacio-temporales de la línea litoral de la Bahía de Cartagena durante el período 1963-2019, escala 1:18.000.

Tabla 5: Tasa media de erosión (m/año) para litorales arenosos.

Categoría	Tasa de cambio (m/año)
Erosión alta	< -1.5
Erosión	-1.5 y -0.2
Estado estable	-0.2 y 0.2
Acreción	0.2 y 1.5
Acreción alta	> 1.5

Fuente: modificado de Rangel *et al.*, (2015).

3.2.2. Generar un Índice de Sostenibilidad para Playas Turísticas (ISPT) para los balnearios de la Playa Grande.

Para la evaluación de la calidad turística de las playas se utilizó la metodología de Ergin *et al.*, (2010) y Rangel *et al.*, (2019), consistente en una lista de chequeo conformada por 36 parámetros, agrupados en tres factores: 20 físicos, 15 antropogénicos y 1 mixto correspondiente al estado de la línea litoral, que sirvió para determinar el Índice de Sostenibilidad para Playas Turísticas (ISPT). A continuación, se detallan los parámetros de cada factor:

P (Físicos) = {P1 hasta P20} (1)

P1 hasta P6 es el {tipo, ancho, color, tamaño, pendiente *beachface*, *beach rock*} referido a la playa, P7 hasta P10 {tipo de rompimiento, estado morfodinámico, color y claridad del agua, temperatura superficial del mar} asociado al oleaje, P11 hasta P20 referido a {corrientes de resaca, mareas, dunas, algas, drenaje, formas del relieve, presencia de *debris*, elementos paisajísticos, vistas y cobertura de vegetación}.

H (Antropogénicos) = {H1 hasta H15} (2)

H1 hasta H15 se refiere a {ruido, basura, evidencias de descarga de aguas residuales, agricultura, grado de modificación y de construcción del medio, tipos de acceso, línea del horizonte, capacidad de carga o índice de saturación, infraestructura costera, seguridad, infraestructura comercial sustentable, equipamiento, panel informativo, atractivos turísticos, servicios básicos}.

M (estado de la línea litoral) = M1 (3)

M1 referido a la evolución de la línea litoral durante el período 1963-2019, clasificado en avance (acreción o progradación), estable (equilibrio) y retroceso (erosión).

Los parámetros prioritarios fueron determinados por medio de cuestionarios de percepción realizados en estudios internacionales tanto a visitantes de las playas como a locales (Ergin *et al.*, 2010; Williams, 2011; Botero *et al.*, 2013c; Williams *et al.*, 2016 y Rangel *et al.*, 2019). Según estas investigaciones se determinó que los parámetros más importantes para los usuarios de la playa son: i) ausencia de basura/desagües, ii) color del agua/claridad, iii) ausencia de ruido y iv) presencia de rasgos geomorfológicos (p. ej. stacks, arcos marinos, humedales, entre otros).

Los parámetros fueron calificados mediante la técnica de juicios de valor expresados en una escala continua de pesos del 1 a 5 (Saaty, 1997), siendo (1) una calificación que denota presencia/ausencia o mala calidad y (5) situación idónea, representativa de una excelente calidad de playa. El trabajo de campo consistió en marcar una casilla que corresponde a la escala de atributos (1-5) para todos los parámetros que se presentan en la Tabla 6 en cada una de las seis playas visitadas.

Tabla 6: Lista de control empleada en esta investigación.

N°	Parámetros físicos	Variable/ Unidad de medida/ Descripción	CALIFICACIÓN				
			1	2	3	4	5
1	Playas	Tipo	Ausente	Lodo - Limos	Bloques - Cantos	Gravas	Arenas
2		Ancho o rango (m)	Ausente	Menos de 5 m	Entre 5 y 25 m	Entre 25 y 50 m	Entre 50 - 100 m
3		Color del sedimento	Ausente	Oscuro	Grisáceo	Blanqueado	Blanco - Dorado
4		Tamaño del sedimento	Muy Gruesa	Gruesa	Medias	Fina	Muy fina
5		Pendiente <i>beachface</i> (°)	Ausente	Entre 20 - 45°	Entre 10 - 20°	Entre 5 y 10°	Menos de 5°
6		Beach rock	Aflorado todo el año (> 50% superficie de playa)	Medio (30 - 10 % de superficie playa)	Escaso (10-5% de superficie playa)	Imperceptible (<5 % de superficie playa)	Ausente
7	Oleaje	Tipo de rotura oleaje predominante	Surging o oscilante (abrupta-violenta)	Collapsing o rotura en colapso (enérgico)	Plunging o voluta (violento)		Spilling o descrestamiento (suave)
8		Estado morfodinámico predominante	Reflexivo (R)	Barra y surco longitudinal (LBT)	Barra y rip Transversal (TBR) y playa rítmica (RBB)	Terraza de bajamar (LTT)	Disipativo (D)
9		Color y claridad del Agua	Café - Verde Opaco	Azul lechoso - Opaco	Verde - Azul Verdoso	Azul Claro	Azul Turquesa
10		Temperatura superficial del mar en verano (TSMV)	inferior a 15°C	15-18°C	18-21°C	21-23°C	>24°C
11	Corriente de resaca	N° de Rip Current observadas en verano	Más de 8	entre 5 y 8	entre 3 y 5	entre 1 y 3	Ninguna
12	Mareas		Macromareal (más de 4 m)		Mesomareal (2 - 4 m)		Micromareal (menos de 2 m)
13	Dunas		Ausente	Remanentes	Antedunas	Cordón secundario (dunas transgresivas)	Erg
14	Algas	Presencia de algas en alta playa	Abundante (> 50% superficie de playa)	Alto (30 - 50 % superficie de playa)	Medio (30 - 10 % de superficie playa)	Bajo (< 10% de superficie playa)	Ausente
15	Drenaje		Ausente	Curso ocasional (quebrada)	Curso intermitente (estero seco)	Curso permanente (estero local)	Curso permanente (río andino)
16	Formas del relieve		Farellón costero	Planicie	Ondulado	Fuertemente Ondulado	Montañoso
17	Presencia de debris		Continuo de más de 50 cm de alto	Línea continua	Acumulación Sencilla	Algunos ítems	Ninguno
18	Elementos Paisajísticos *		Ninguno	1	2	3	más de 3
19	Vistas		Abierto a 1 lado	Abierto a 2 lados		Abierto a 3 lados	Abierto a 4 lados
20	Cobertura Vegetacional		Descubierto (<10% de vegetación)	Hierba, vegetación baja	Matorrales, bosque bajo	Humedales, árboles maduros	Bosque

*stacks, humedales, bosque interior (trasdós de playa), fauna marina (fósiles), arcos, flechas, acantilados, plataforma de erosión, tómbolos, duna parabólica, islas barreras, formaciones geológicas (geositios), penínsulas, cavernas, cataratas, deltas, lagunas, islas, estuarios, corales.

N°	Parámetros Antropogénicos	Variable/ Unidad de medida/ Descripción	CALIFICACIÓN				
			1	2	3	4	5
1	Ruido		Intolerable	Tolerable		Poco	Ninguno
2	Basura		Acumulaciones continuas	Línea continua	Acumulación Sencilla	Algunos ítems	Virtualmente Ausente
3	Evidencia de Aguas Residuales		Evidente		Alguna evidencia		No Evidente
4	Agricultura		Ninguna	Campos de Cultivo - Monocultivo	Terraceo	Palmeras	Cultivo Intensivo
5	Ambiente Construido	Usos de suelo	Industria Pesada (extracción de áridos)	Turismo Fuerte - Urbanizado	Turismo Leve o Urbanismo Sensitivo	Turismo Sensitivo	Histórico - Ninguno
6	Tipo de Acceso		Sin Zona Buffer - Tráfico Pesado	Sin zona Buffer - Tráfico Liviano		Parqueo Visible desde la playa	Parqueo No Visible
7	Línea de Horizonte		Muy dañado	Dañado	Diseñado Sensiblemente	Alto Diseño - Sensible	Características Históricas - Monumentos
8	Capacidad de carga/ Índice de saturación		Intolerable	Saturación	Aceptable	Confortable	Muy confortable
9	Infraestructura costera**		Más de 3	3	2	1	Ninguna
10	Seguridad ***		Ausente		Deficiente		Cumple Norma
11	Infraestructuras comerciales sustentables****		Construcciones duras - fijas		Modulo semi-desmontable		Módulos desmontables
12	Equipamiento (baños, basureros)		Ausente	1	2	3	Más de 3
13	Panel informativo*****	Calidad y cantidad	Ausente	Mala calidad y poco visible	Presente, pero incumple con norma técnica vigente	Presente y cumple con toda norma técnica, pero sólo se encuentra en un acceso de la playa	Presente y abundante, cumple con toda norma técnica.
14	Atractivos turísticos *****		Ninguno	1	2	3	Más de 3
15	Servicios básicos *****		Ausente	Insuficiente	Suficiente	Suficiente y en buen estado	Excelente

** Presencia de emisarios submarinos, plantas de tratamiento aguas residuales, malecones, muros, paseo costero, revestimientos, diques exentos, espigones (escolleras o rompeolas), vestigios de estructuras.

*** Boyas, señalización de peligro de corrientes (banderas), torre salvavidas, lifeguard.

**** Kioskos construidos sobre pilotes, que no afecten el flujo natural de arena y que utilicen materiales de construcción acorde con el entorno.

***** Información ambiental y educación para la sostenibilidad.

***** Poetas, cantantes folclóricos, zonas e inmuebles de conservación histórica (ZCH-ICH), reserva natural, patrimonio arqueológico-histórico.

***** Servicios de Primera para el visitante, toldos, sillas, duchas, instalaciones para discapacitados (rampla).

N°	Parámetro mixto	Variable/ Unidad de medida	1	2	3	4	5
1	Estado de la línea litoral	Tasa de cambio línea litoral (m/año)	Erosión Alta	Erosión	Estable	Acrición	Acrición Alta

Fuente: modificado de Rangel *et al.*, (2019).

El Índice de Sostenibilidad de Playas Turísticas (ISPT) está compuesto por tres subíndices, el subíndice de la Función Natural (P), el subíndice de la Función Recreativa (H) y el subíndice de la Función de Protección (M) que agrupan las tres grandes funciones de las playas. El ISPT está pensado para que una playa excelente, aquella que desempeñe a la perfección las tres funciones socio-ecológicas ponderadas tenga una puntuación máxima de 1 (índice de evaluación D).

Para la definición de los pesos de ponderación de cada factor se utilizó el enfoque *Analytical Hierarchy Process (AHP)* o Proceso Analítico Jerárquico, el cual permitió analizar y comparar la importancia relativa de los factores que componen el ISPT (Tabla 7).

Tabla 7: Matriz de Jerarquías Analíticas.

Factores condicionantes	P	H	M	Ponderación
Físicos (P)	1	0.14	3	15%
Antropogénicos (H)	7	1	9	78%
Estado de la línea litoral (M)	0.33	0.11	1	7%
Σ Sumatoria	8.3	1.3	13	1

Fuente: Saaty (1997 en Barredo *et al.*, 2005).

A partir de los ponderadores obtenidos mediante un Proceso Analítico Jerárquico, la fórmula original para el cálculo del Índice de Sostenibilidad para Playas Turísticas (ISPT) quedó definida de la siguiente forma (Fórmula 3):

$$ISPT = \sum_{i=1}^5 0.15 (\hat{P}) + 0.78 (\hat{H}) + 0.07 (\hat{M}) \quad (3)$$

Donde:

El acento circunflejo ' $\hat{}$ ' representa normalización del parámetro utilizado.

\hat{P} : parámetros físicos normalizado.

\hat{H} : parámetros antropogénicos normalizado.

\hat{M} : mixto, estado de la línea litoral normalizado.

Con el fin de cuantificar la incertidumbre y excesos derivados de la subjetividad de los ponderadores obtenidos, se calculó la razón de consistencia (*consistency ratio, c.r.*), que indicó si los juicios de valor asignados a cada factor son consistentes con su real importancia. Así, para los valores de *c.r.* mayores o iguales a 0,10 los juicios de valor asignados deben ser revisados, ya que no son suficientemente consistentes para establecer las ponderaciones, en

cambio para valores inferiores a 0,10 los juicios de valor asignados se consideran satisfactorios. Es así, que el resultado del cálculo de la razón de consistencia fue de **0.08**, inferior a 0,10, por lo que los juicios de valor asignados a cada factor fueron suficientemente consistentes para establecer los pesos de ponderación.

$$c. r = \frac{c.i}{r.i} = \frac{0.04}{0.52} = 0.08$$

Tras completar la lista de chequeo en las seis playas (Tabla 6), se procedió a normalizar los valores totales de los tres factores según la cantidad de parámetros que presentan. De esta forma se sumaron los parámetros normalizados, lo que permitió determinar el ISPT expresado en el índice de evaluación D definido por estas 5 categorías:

- Clase 1: Áreas con valores D mayores de 0.85; playas naturales extremadamente atractivas con valores muy altos de paisaje, actividades antropogénicas bajas-aceptables que no afectan la belleza natural del sitio y con tendencias a la acreción de su línea litoral.

- Clase 2: Áreas con valores D entre 0.65 y 0.85; playas naturales o semi-naturales con valores altos de paisaje, actividades antropogénicas aceptables y tendencias a la estabilización de su línea litoral.

- Clase 3: Áreas con valores D entre 0.40 y 0.65; principalmente playas urbanas con valores bajos de paisaje, afectadas en algún grado por actividades antropogénicas; que han repercutido en tendencias erosivas de su línea litoral.

- Clase 4: Áreas con valores D entre 0.20 y 0.40; principalmente playas urbanas con valores bajos de paisaje y altamente dañadas por actividades antropogénicas; que han contribuido a tendencias erosivas altas en su línea litoral.

- Clase 5: Áreas con valores D entre 0 y 0.20; playas urbanas poco o nada atractivas con un desarrollo intensivo asociado a un uso muy alto, bajos valores paisajísticos y tendencias de erosión y erosión alta en su línea litoral.

3.3.3. Zonificar el litoral arenoso de la Bahía de Cartagena de acuerdo con el Índice de Sostenibilidad para Playas Turísticas (ISPT).

En base al resultado del Índice de Sostenibilidad para Playas Turísticas (ISPT), se realizó una zonificación mediante una cartografía escala 1:20.000 de cada balneario, indicando a través de un color verde los balnearios con índices de evaluación D, clase 2 y color rojo los balnearios con índices de evaluación D, clase 3, sus principales atractivos turísticos y la evaluación de los criterios requeridos para obtener la certificación internacional Bandera Azul (BA).

Para ello, se utilizó el esquema de evaluación del comité certificador para cada uno de los balnearios, basados en los siguientes criterios: **Calidad del Agua de Mar (35%), Calidad del Agua para consumo (15%), Calidad Sanitaria de la Costa (30%), Educación Ambiental (10%) y Seguridad y Administración (10%)** (Anexo 1),

Esta zonificación es una de las herramientas de gestión sostenibles que permitirá mejorar las condiciones ambientales del espacio costero, brindando calidad y posibilidades de competir en el mercado, sin poner en riesgo el propio recurso que sustenta la actividad para el bienestar humano.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Determinar las variaciones espacio-temporales en la posición relativa de la línea litoral durante el período 1963-2019.

Para comenzar con el geoprocesamiento de las 15 imágenes, se calculó el CRP de cada fotograma, obteniendo un valor promedio de 0.29, por ende, una adecuada calidad de representación del pixel. Posteriormente, al ingresar y georreferenciar las fotos al SIG por medio de los GCPs se obtuvieron errores cuadráticos promedios de 0.32 m (RMSE), siendo inferiores a 0.5 m, por tanto, aceptables para la digitalización de las líneas litorales. Con este último valor, se determinó un EQMc inferior a 1 m, por tanto, se aseguró una confiabilidad de un 95% en los procesos mencionados (Tabla 8).

Tabla 8: CRP, RMSE y EQMc de las bases cartográficas utilizadas.

FOTOGRAMA	AÑO	ESCALA	DPI	FACTOR	CRP	K	RMSE	EQMc
SANTONI 63	1963	15.000	1200	0.0254	0.318	1.7308	0.46	0.80
SAF 67	1967	14.000	1200	0.0254	0.296	1.7308	0.45	0.78
SAF 76	1976	20.000	1200	0.0254	0.423	1.7308	0.47	0.81
SAF 80	1980	30.000	1200	0.0254	0.635	1.7308	0.50	0.86
FONDEF 92	1992	20.000	1200	0.0254	0.423	1.7308	0.47	0.81
Bing Maps 03	2003	10.000	1200	0.0254	0.212	1.7308	0.10	0.17
AEROINGENIERIA 05	2005	20.000	1200	0.0254	0.423	1.7308	0.18	0.32
Google Earth 09	2009	10.000	1200	0.0254	0.212	1.7308	0.36	0.63
Bing Maps 11	2011	10.000	1200	0.0254	0.212	1.7308	0.10	0.17
Bing Maps 14	2014	10.000	1200	0.0254	0.212	1.7308	0.10	0.17
Google Earth 15	2015	10.000	1200	0.0254	0.212	1.7308	0.35	0.60
Bing Maps 18 (verano)	2018	10.000	1200	0.0254	0.212	1.7308	0.32	0.55
Bing Maps 18 (invierno)	2018	10.000	1200	0.0254	0.212	1.7308	0.35	0.61
Bing Maps 19 (verano)	2019	10.000	1200	0.0254	0.212	1.7308	0.27	0.47
Bing Maps 19 (invierno)	2019	10.000	1200	0.0254	0.212	1.7308	0.31	0.54

Fuente: elaboración propia.

Con las imágenes georreferenciadas se procedió a digitalizar las 15 líneas litorales utilizando el criterio geomorfológico. Para el cálculo de la variación de las líneas, se utilizó el método de regresión lineal ponderada WLR del software DSAS v.5.0., que considera un factor de incertidumbre generado a partir de la escala de cada imagen, puntos GPS y la rectificación (RMSE), los valores por línea se presentan a continuación (Tabla 9).

Tabla 9: Incertidumbre de las líneas litorales requeridas por el método WLR.

ID	FECHA	ESCALA	PUNTOS GPS	RECTIFICACIÓN	INCERTIDUMBRE
1	1963	1.53	5	0.46	5.2
2	1967	1.29	5	0.45	5.2
3	1976	3	5	0.47	5.9
4	1980	5	5	0.50	7.1
5	1992	3	5	0.47	5.8
6	2003	0.2	3	0.10	3.0
7	2005	3	3	0.18	4.2
8	2009	0.2	3	0.36	3.0
9	2011	0.2	3	0.10	3.0
10	2014	0.2	3	0.10	3.0
11	2015	0.2	3	0.35	3.0
12	2018-02	0.2	3	0.32	3.0
13	2018-08	0.2	0.4	0.35	0.6
14	2019-02	0.2	0.4	0.27	0.5
15	2019-08	0.2	0.4	0.31	0.5

Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar las mayores incertidumbres corresponden a las líneas más antiguas debido a la mayor escala de las fotografías aéreas, inexistencia de puntos GPS y mayores RMSE. Lo que se traduce en que las líneas posteriores al 2000, contribuyan con mayor peso al modelo de regresión lineal ponderada (WLR) debido a su alta confiabilidad.

Para medir la variación de la línea litoral con DSAS, se utilizaron 105 transectos separados cada 50 metros considerando que la longitud total de la Playa Grande es de 5,25 km. De esta forma se obtuvieron los valores de WLR y LRR con los que se elaboró las cartografías (Figura 12 y 13).

Posteriormente, se calculó la media de las tasas de cambio de la línea litoral por balneario generados por los modelos WRL y LRR y los estadísticos WSE y WR2, con un intervalo de confianza de 99.7% (Tabla 10).

Tabla 10: Tasas de cambio y estadísticos de la línea litoral por balneario (de norte a sur) durante 1963 -2019.

COMUNA	BALNEARIO	LONGITUD (m)	WLR (m/año)	LRR (m/año)	WSE (m)	WR2 (%)
El Tabo	Playa Grande Las Cruces	528	0.21	0.215	11.4	6
	Playas Blancas	1206	-0.050	0.007	6.725	4,9
	San Carlos	704	-0.307	-0.122	9.445	4,2
Cartagena	Costa Azul	474	-0.551	-0.073	11.278	88,8
	San Sebastián	644	-0.473	-0.140	12.328	5,2
	Playa Grande Cartagena	1663	-0.972	-0.309	14.382	15,8

Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla anterior, el error estándar más alto de la regresión lineal ponderada (WSE) lo obtuvo la Playa Grande de Cartagena (14.3 m), es decir, existe una mayor diferencia entre las variaciones de la línea litoral predichas por el modelo y los valores reales registrados. Al contrario de Playas Blancas que obtuvo el error más bajo, por tanto, una mayor precisión (mejor ajuste) entre los valores predichos y conocidos (6.7 m). Por otra parte, Costa Azul obtuvo el mayor R^2 ajustado o coeficiente de determinación (WR2), en otras palabras, la ecuación explica en un 88,8% la varianza de su línea litoral. A diferencia de San Carlos, que sólo lo explica en 4,2%, es decir, presenta una varianza no explicada por el modelo de regresión lineal ponderada de 95,8%.

Figura 12: Evolución de la línea litoral en Playa Grande para el período 1963-2019 mediante el método WLR. La longitud de cada barra representa el rango entre el perfil más y el menos erosionado.

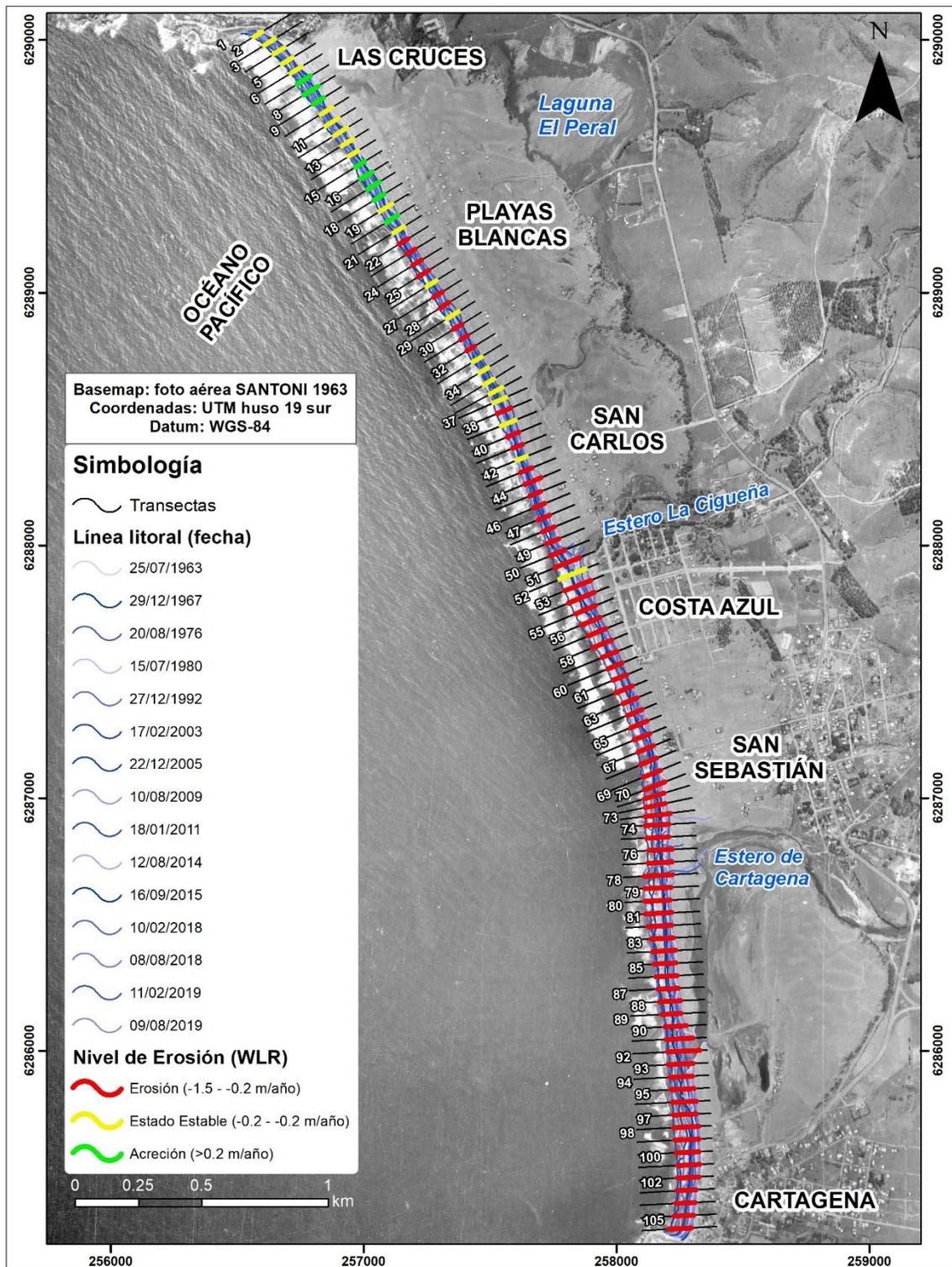
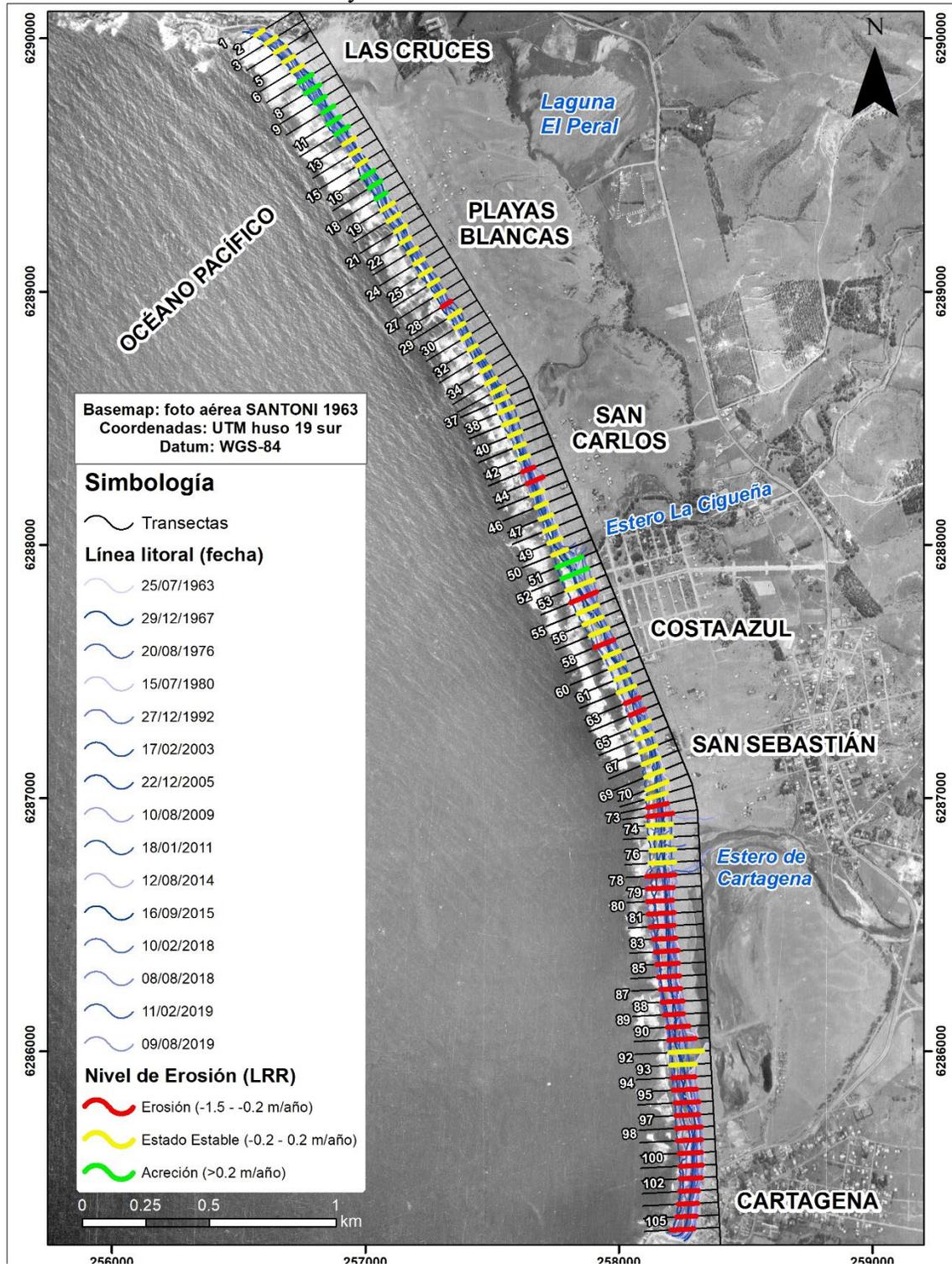
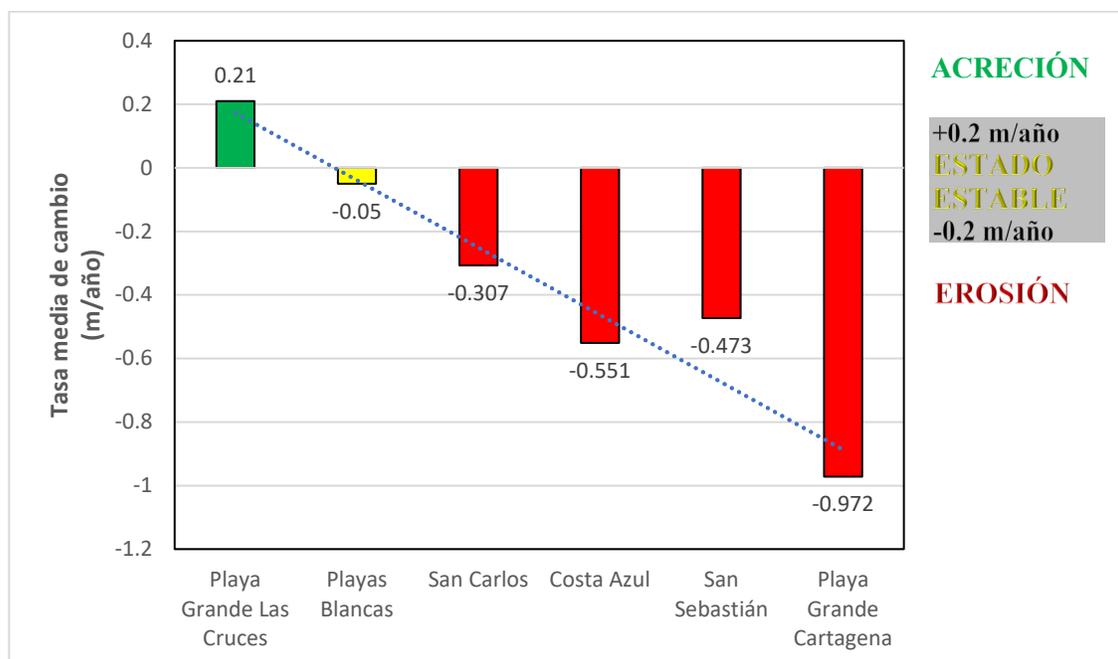


Figura 13: Evolución de la línea litoral en Playa Grande para el período 1963-2019 mediante el método LRR. La longitud de cada barra representa el rango entre el perfil más y el menos erosionado.

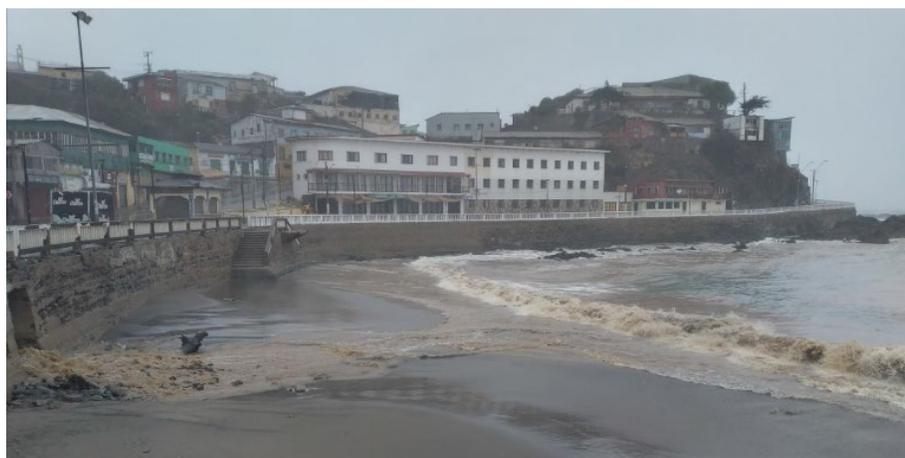


Como se ilustra en la Figura 14, Las Cruces presenta acreción con 0.21 m/año y Playas Blancas presenta estabilidad de su línea litoral durante el período 1963-2019 con WLR de -0.05 m/año respectivamente. Mientras que los balnearios que presentan erosión son San Carlos -0.30 m/año, Costa Azul -0.55 m/año, San Sebastián -0.47 m/año y Playa Grande de Cartagena que mantiene la mayor tasa de erosión con -0.97 m/año (Fotografía 1).

Figura 14: Estado de erosión o estabilidad para las playas analizadas (método WLR).



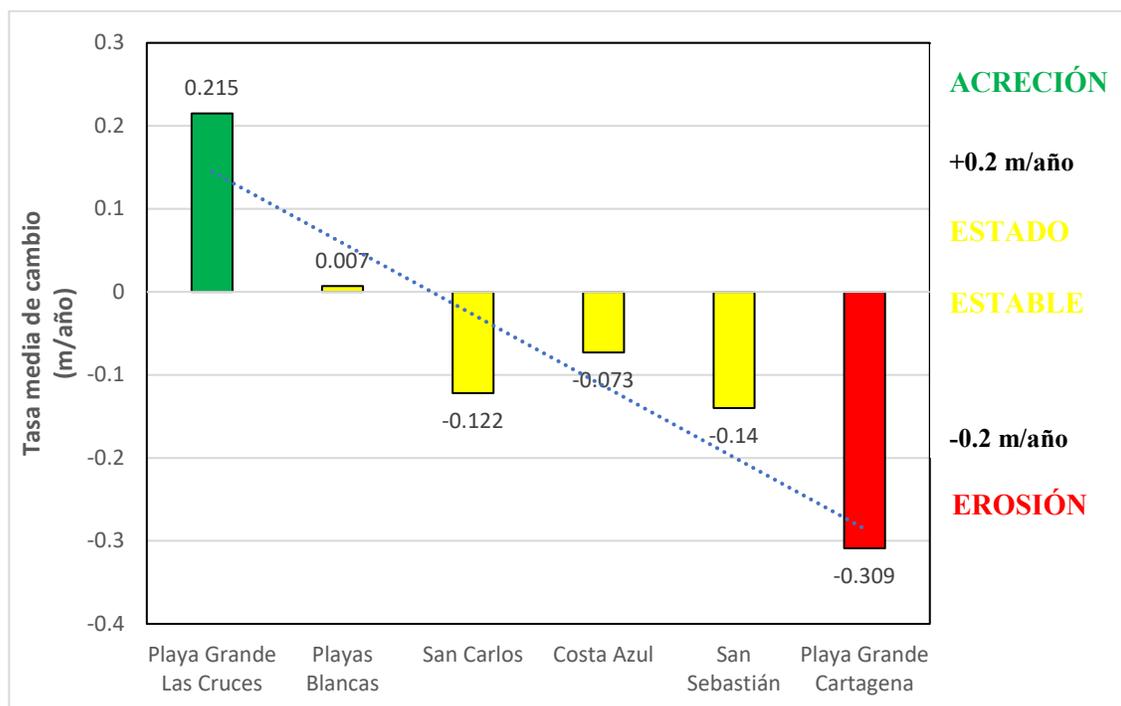
Fotografía 1: Erosión de la Playa Grande de Cartagena ocasionada por las marejadas del 21 de enero 2021. Nótese la cantidad de sedimento en suspensión (color marrón del mar).



Fuente: propiedad personal.

Si comparamos los resultados entregados por el método LRR (Figura 15), el balneario Playa Grande Las Cruces es el único que presenta tendencias a la acreción de 0.21 m/año. Mientras que Playas Blancas presenta un estado estable con variaciones ínfimas de 0.007 m/año. De igual forma, San Carlos con -0.12 m/año, Costa Azul con -0.07 y San Sebastián con -0.14. Al igual que WLR, la Playa Grande Cartagena mantiene una erosión de -0.30 m/año.

Figura 15: Estado de erosión, estabilidad o acreción para las playas analizadas (método LRR).



A partir de los productos anteriores y tal como se aprecia en la Figura 16 y 17, se determinó que el 66% de las playas urbanas se encuentran con erosión, mientras que el 34% restante se encuentran en estados estacionario con leve tendencia a la acreción. De esta forma, las playas ubicadas en el extremo norte de la Bahía de Cartagena tienden a experimentar acreción o estabilidad, al contrario de las playas ubicadas en el extremo sur, que presentan tendencias a la erosión (línea de tendencia roja).

Mientras que, a nivel global, la Playa Grande presenta una erosión de -0.45 m/año según el método WLR.

Figura 16: Variación longitudinal de la línea litoral en sentido norte – sur (izquierda a derecha) utilizando WLR.

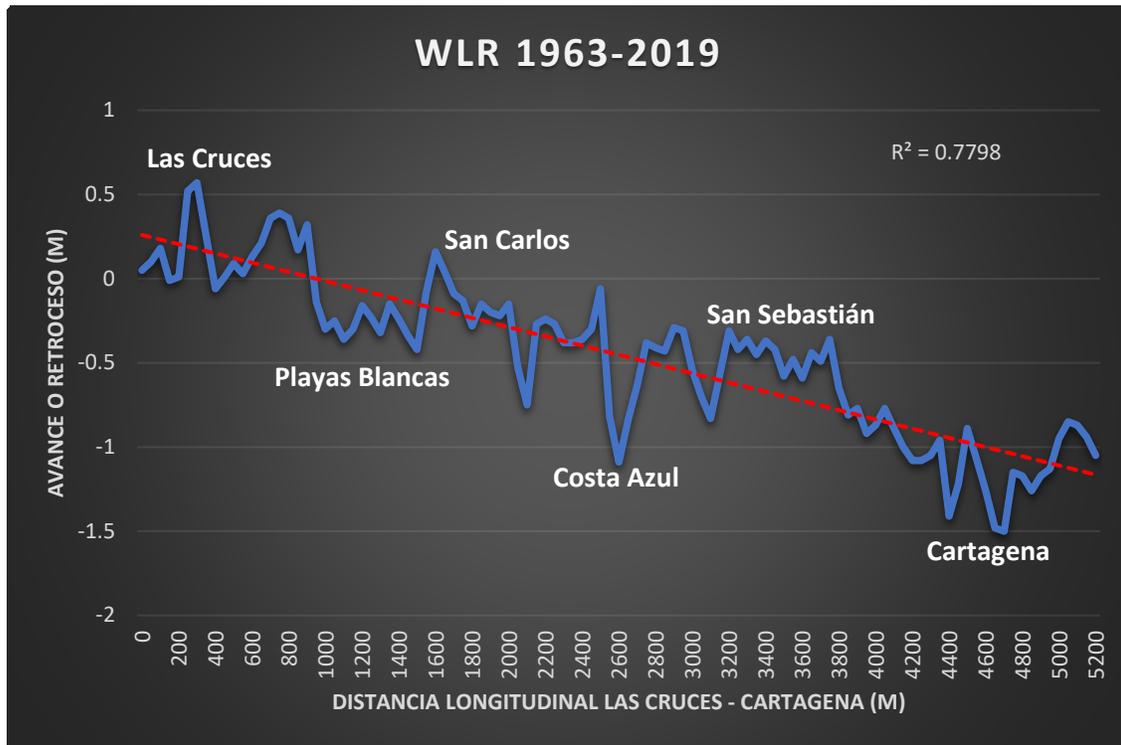
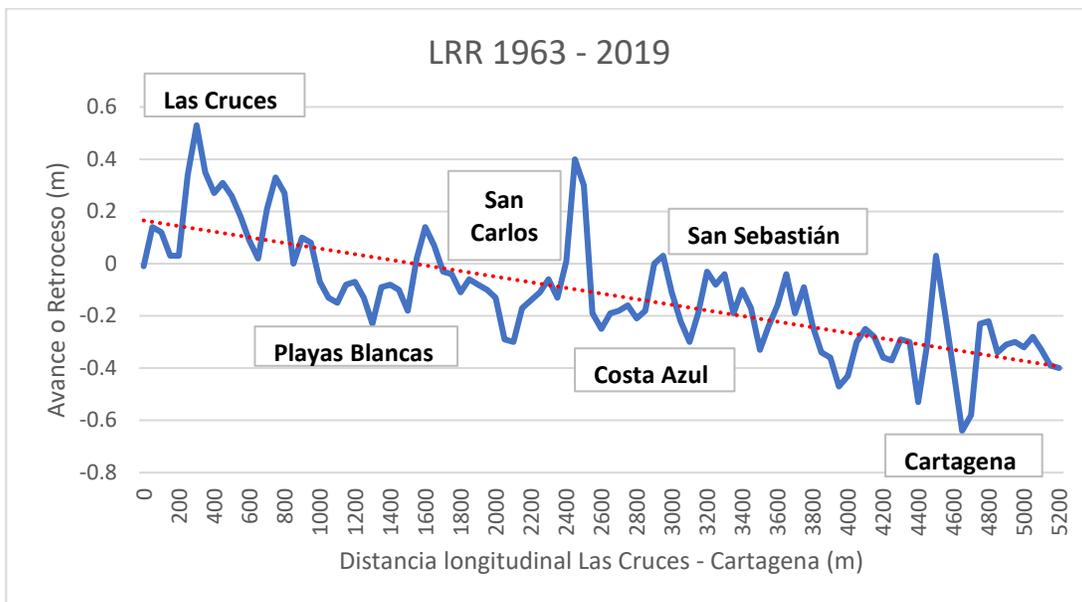
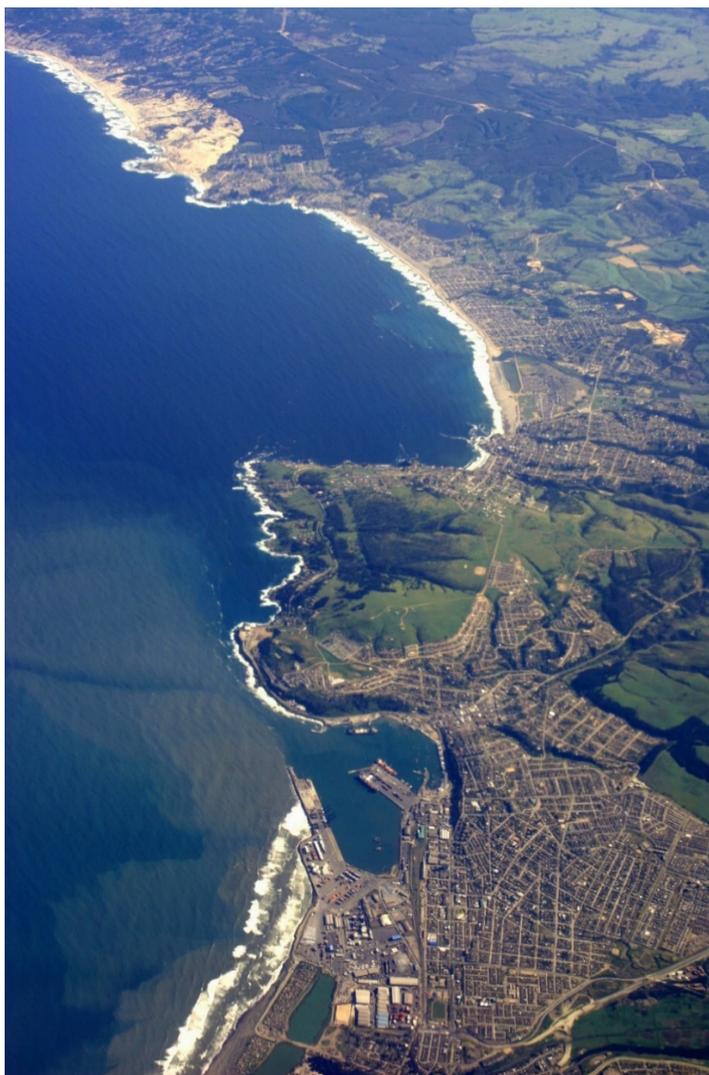


Figura 17: Variación longitudinal de la línea litoral en sentido norte – sur (izquierda a derecha) utilizando LRR.



En la Fotografía 2, se aprecia el principal aporte sedimentario de sur a norte desde el Río Maipo a la Bahía de Cartagena.

Fotografía 2: Fotografía aérea oblicua de la ensenada de Cartagena, se aprecia el transporte longitudinal del sedimento de sur a norte desde el Río Maipo a la Bahía de Cartagena.

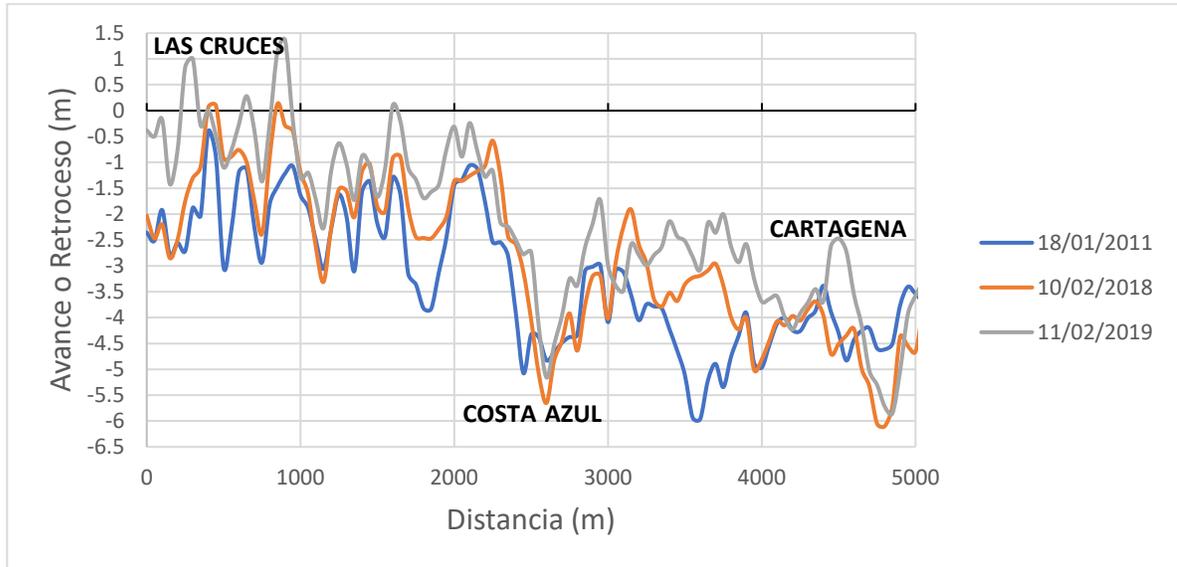


Fuente: extraído del usuario davepoppe, en flickr.com.

Si se aplica el movimiento neto de la línea litoral (NSM) considerando como referencia la línea litoral de febrero de 2003, se observa claramente el efecto erosivo en la zona centro-sur de la Playa Grande durante los últimos 10 años, alcanzando valores máximos de retroceso de -6 metros en Cartagena con respecto a la línea litoral de 2003 (Figura 18), en contraste con la acreción de 1.5 metros en la Playa Grande de Las Cruces (Fotografía 3).

Figura 18: NSM de la línea litoral en temporada estival durante el período 2003-2019

Fecha de referencia 17 de febrero de 2003.



Fotografía 3: Amplio estrán arenoso de la Playa Grande de Las Cruces.



Fuente: tomada desde el suroriente con dron personal.

4.2. Índice de Sostenibilidad para Playas Turísticas (ISPT) para los balnearios de la Playa Grande.

Para la evaluación de la calidad paisajística de las playas, se completó la lista de chequeo en cada balneario durante temporada estival 2021. En Playa Grande de Cartagena, para el subconjunto P (parámetros físicos) se obtuvo una sumatoria de 70, para el subconjunto H (parámetros antropogénicos) una sumatoria de 49 y para el parámetro mixto (estado de la línea litoral) un valor de 2 correspondiente al estado de erosión. Dentro de los factores H, se destaca valores máximos en ‘Ambiente construido’, debido a la cualidad histórica-patrimonial de este asentamiento en el siglo XX. Mientras que en los factores P, se reconoce la forma rítmica de su playa en el parámetro ‘Estado morfodinámico predominante’ correspondiente al oleaje (Fotografía 4), el parámetro ‘Elementos paisajísticos’ reflejado en la alta biodiversidad de especies y ambientes de alto valor natural-cultural, como la Duna Parabólica de Cartagena (alberga vestigios indígenas), el Humedal de Cartagena, el Estero de Cartagena, la Quebrada el Tranque y los acantilados vivos conformados por la ‘Diorita gnéisica de Cartagena’ (214 Ma), sobre el cual se ubica el conocido ‘rompeolas de Cartagena’ (Fotografía 5). En cuanto a los aspectos negativos, se asignó un valor de 3 al parámetro ‘Evidencia de Aguas Residuales’ debido a la presencia de un emisario submarino ubicado a 60 metros al sur del Humedal de Cartagena (Figura 19).

Fotografía 4: Trazado rítmico de la línea litoral, nótese la topografía rítmica de medias lunas en la playa (*beach cusps*).



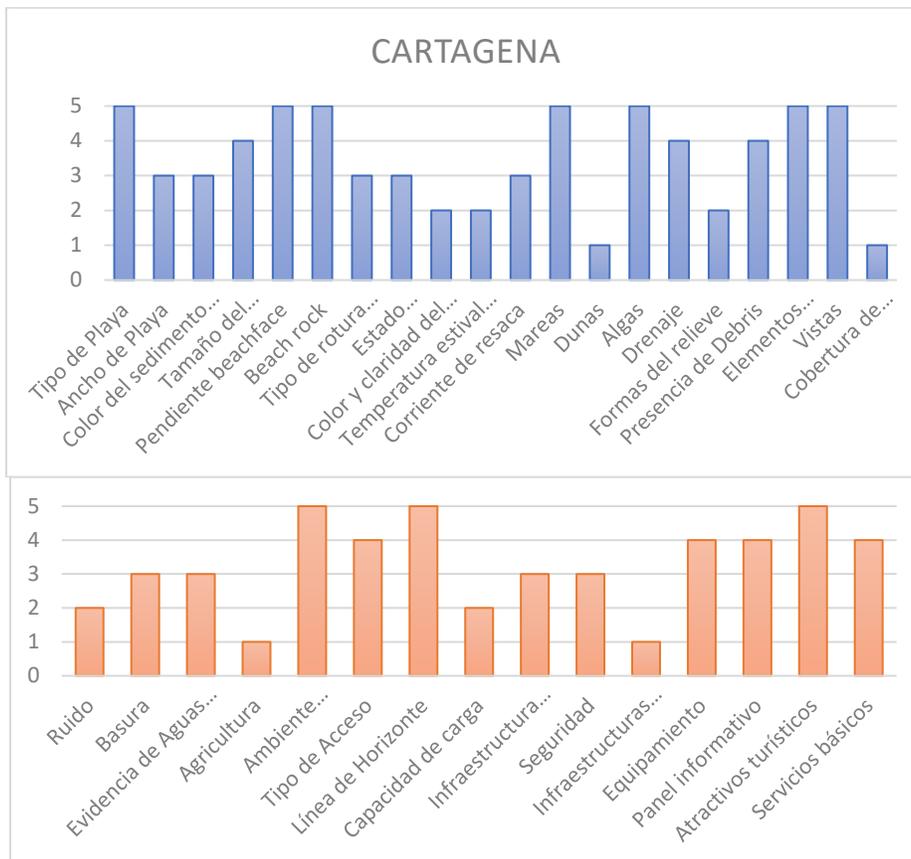
Fuente: gentileza de Juan Arellano, fecha de fotografía

Fotografía 5: Sobrepaso (*overtopping*) de la terraza Galvarino Gallardo Nieto, Playa Grande de Cartagena (rompeolas ubicado en Punta El Suspiro).



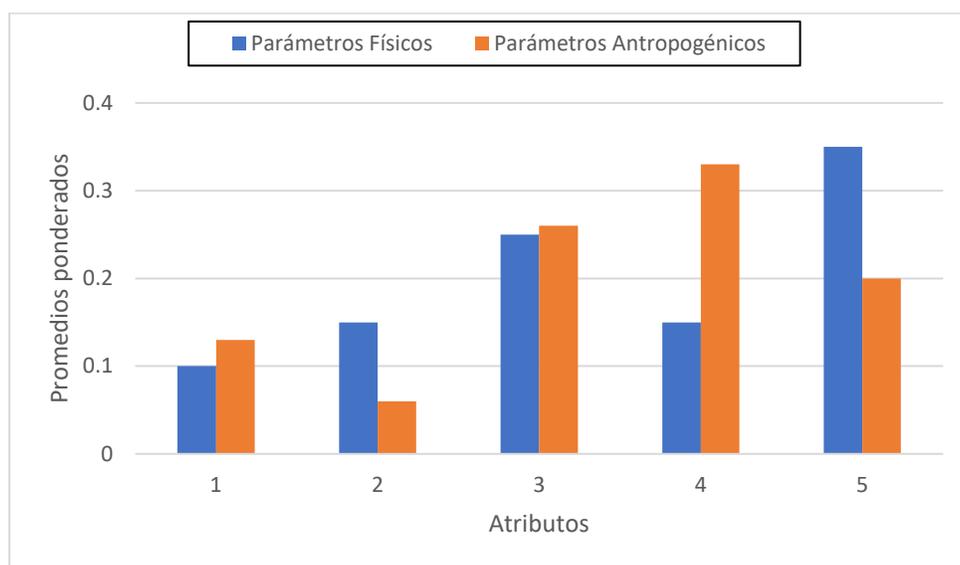
Fuente: tomada con dron personal.

Figura 19: Histograma de calificación para la Playa Grande de Cartagena. Las barras azules corresponden a los 20 parámetros físicos y las naranjas corresponden a los 15 parámetros antropogénicas.



El histograma de promedios ponderados (Figura 20), son producidos al graficar los atributos de las abscisas versus los promedios ponderados de los atributos, discriminados entre físicos y humanos, en las ordenadas. El histograma de promedios ponderados de los parámetros físicos y humanos permite realizar una comparación relativa entre estos. La asignación de un promedio ponderado alto en atributos como 4 o 5 significa una alta calidad paisajística. Inversamente, un promedio ponderado alto en los atributos 1 o 2 expresa valores bajos indicando impactos negativos en los parámetros físicos y/o antropogénicos. El valor ISPT resultante obtenido en Playa Grande de Cartagena fue de 48.86, y el índice de evaluación D ‘normalizado’ fue de 0.64, correspondiente a playas clase 3.

Figura 20: Histograma de promedios ponderados para la Playa Grande de Cartagena.



Gran parte de los atractivos turísticos han sufrido significativos daños producto de las intensas y frecuentes marejadas que mantienen a la playa grande de Cartagena en estado erosivo (Fotografía 6 y 7).

Fotografía 6: Atractivos turísticos playa Grande de Cartagena (año 2003). Nótese la magnitud del litoral arenoso, a lo lejos se observa el Humedal de Cartagena.



Fuente: fulleventos.cl

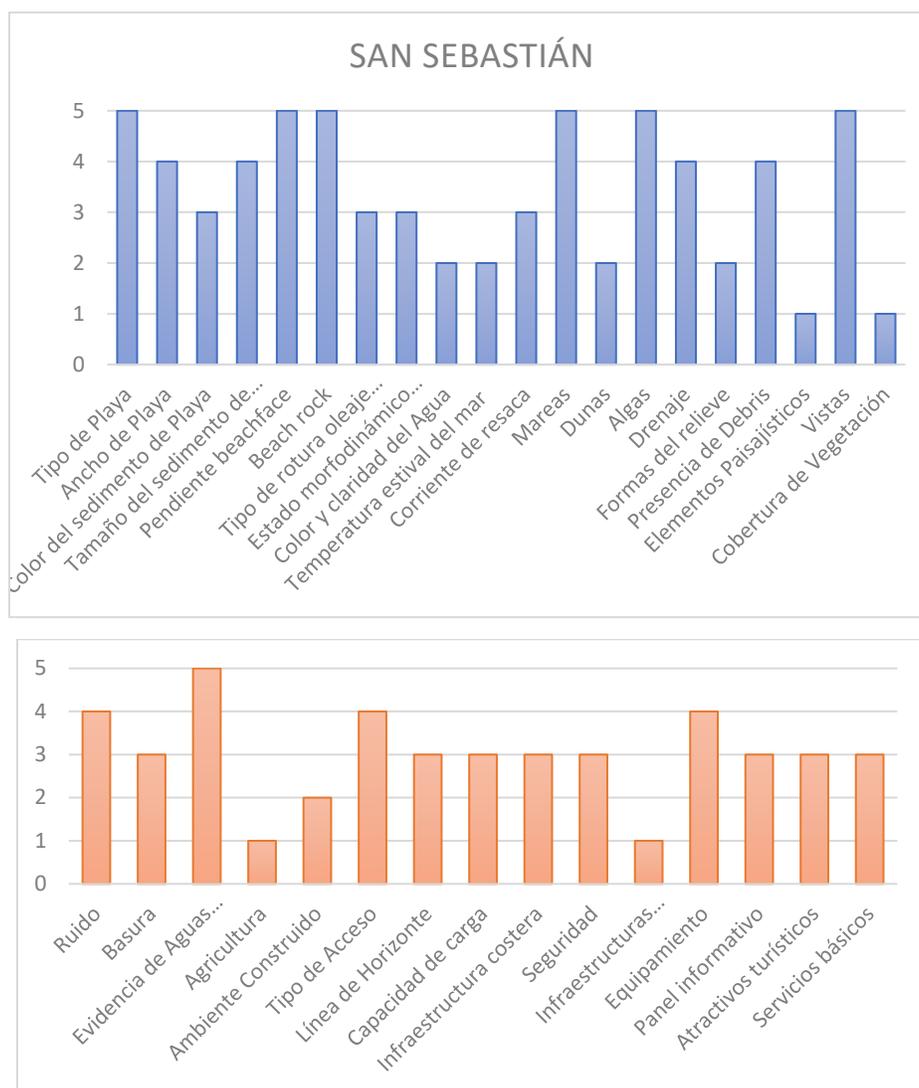
Fotografía 7: Erosión costera en Playa Grande de Cartagena, a lo lejos se observa el Humedal de Cartagena.



Fuente: gentileza de Juan Arellano, fecha de fotografía: diciembre de 2019.

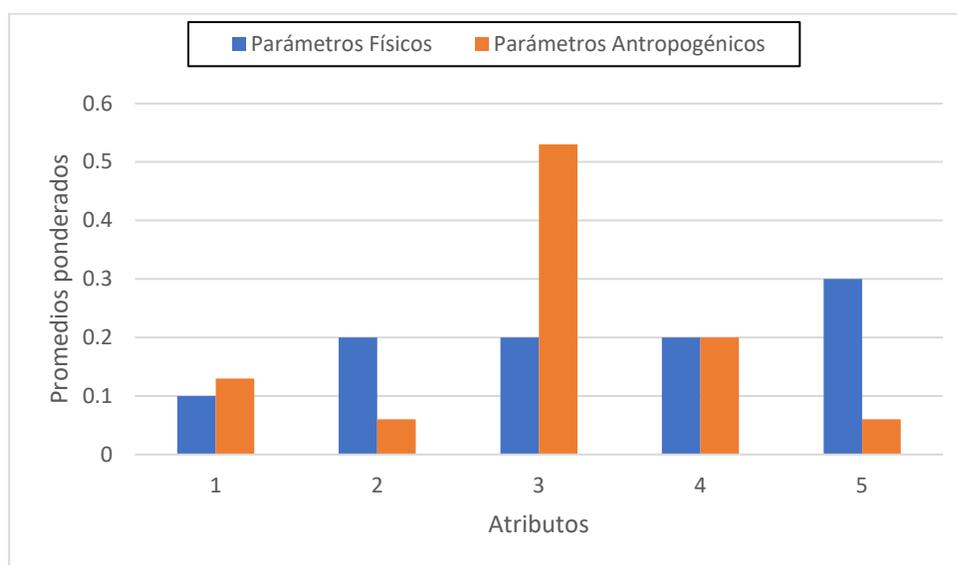
En Playa San Sebastián, para el subconjunto P (parámetros físicos) se obtuvo una sumatoria de 68, para el subconjunto H (parámetros antropogénicos) una sumatoria de 45 y para el parámetro mixto (estado de la línea litoral) un valor de 2 correspondiente al estado de erosión. En general, se obtuvieron valores bajos en comparación con los otros balnearios del litoral, dentro de los cuales se destaca la intensa urbanización que afecta la zona, entre ella, la intervención de quebradas y cauces de agua (Fotografía 8), así como la degradación de los campos dunares interiores y la anteduna bordera; sustituida por un malecón costero y estructuras sólidas como la planta de impulsión de aguas servidas (Figura 21).

Figura 21: Histograma de calificación para la Playa San Sebastián. Las barras azules corresponden a los 20 parámetros físicos y las naranjas corresponden a los 15 parámetros antropogénicas.



Como se aprecia en la Figura 22, los valores H son relativamente bajos, concentrándose en categorías 3. De igual forma los parámetros P concentran promedios ponderados inferiores a 0.3. El valor ISPT resultante obtenido en Playa San Sebastián fue de 45.44, y el índice de evaluación D ‘normalizado’ fue de 0.60, correspondiente a playas clase 3.

Figura 22: Histograma de promedios ponderados para la Playa San Sebastián.



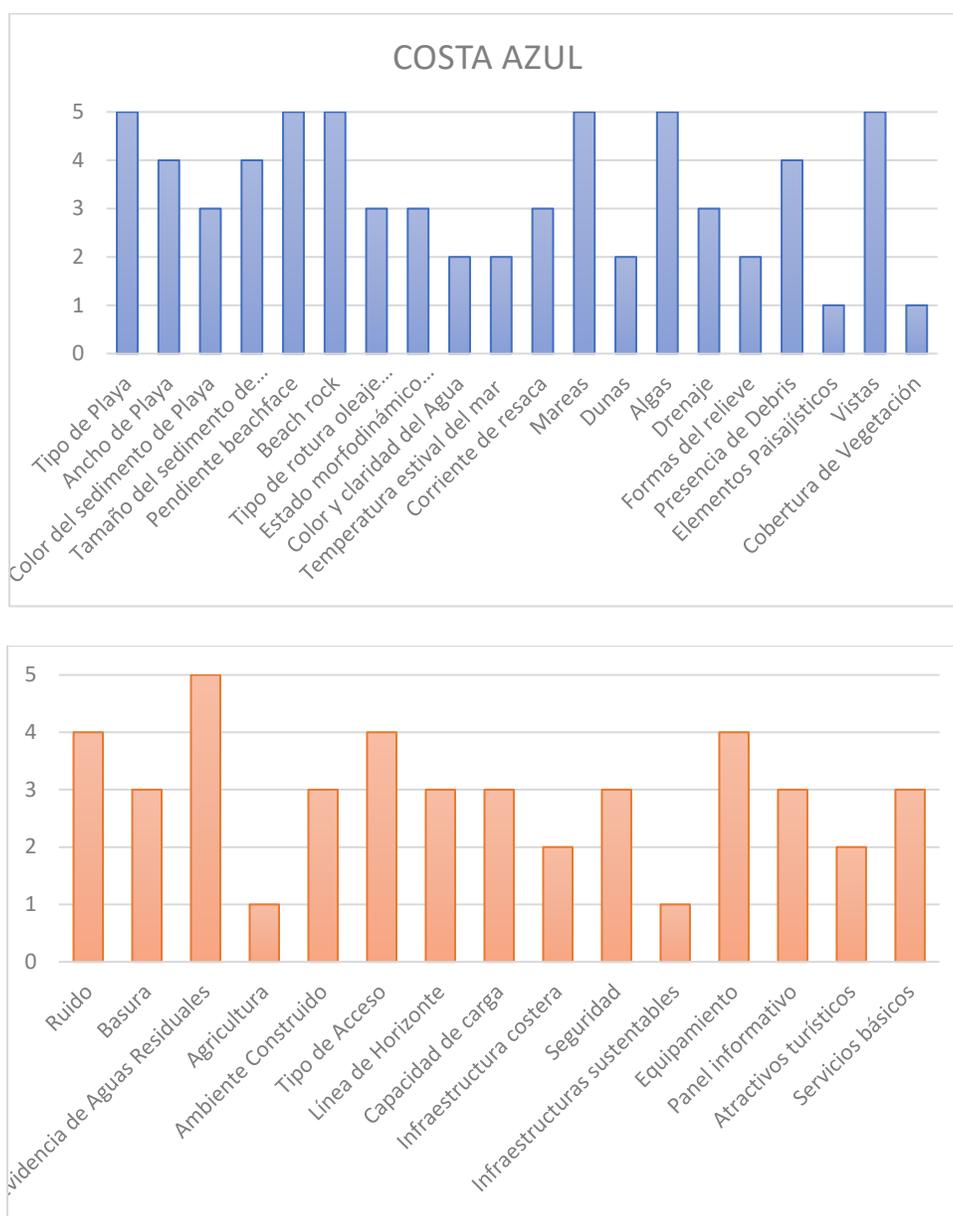
Fotografía 8: Extracción de agua en lecho mayor del Estero de Cartagena o San Sebastián utilizada para el riego de monocultivo.



Fuente: propiedad personal.

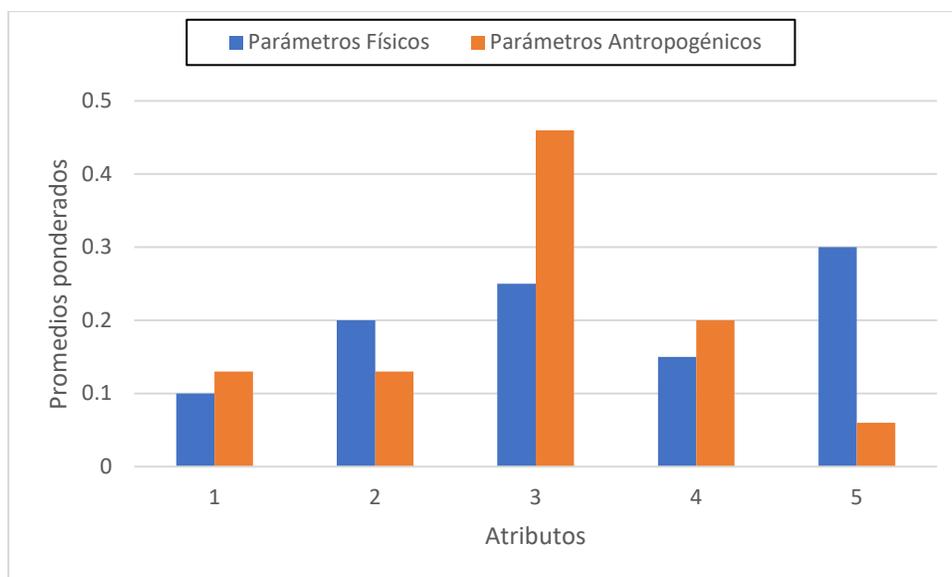
En Playa Costa Azul, para el subconjunto P (parámetros físicos) se obtuvo una sumatoria de 67, para el subconjunto H (parámetros antropogénicos) una sumatoria de 44 y para el parámetro mixto (estado de la línea litoral) un valor de 2 correspondiente al estado de erosión. Dentro de los parámetros antropogénicos, se destaca la intensa urbanización del borde costero, expresado en la existencia del malecón, que sustituyó las antedunas por infraestructura sólidas como quioscos y escaleras (Figura 23).

Figura 23: Histograma de calificación para la Playa Costa Azul. Las barras azules corresponden a los 20 parámetros físicos y las naranjas corresponden a los 15 parámetros antropogénicas.



Como se aprecia en la Figura 24, los valores H son los más bajos de todos los balnearios, concentrándose en categorías 3. De igual forma los parámetros P concentran promedios ponderados inferiores a 0.3. El valor ISPT resultante obtenido en Playa Costa Azul fue de 44.51, y el índice de evaluación D ‘normalizado’ fue de 0.59, correspondiente a playas clase 3.

Figura 24: Histograma de promedios ponderados para la Playa Costa Azul.



Con respecto a la Playa San Carlos, se obtuvo una sumatoria de 73 para el subconjunto P, para el subconjunto H (parámetros antropogénicos) una sumatoria de 50 y para el parámetro mixto (estado de la línea litoral) un valor de 2 correspondiente al estado de erosión. Dentro de los parámetros físicos, se destaca la presencia del Estero La Cigüeña y la protección de las antedunas borderas (Figura 25). En la Fotografía 9 se observa el rol protector de las antedunas ante el oleaje de alta energía que bloquea el paso de las aguas tierra adentro. En cuanto a los aspectos negativos, la urbanización en zonas de inundación, vale decir, sobre quebradas, depresiones interdunarias y lagunas, se ven afectadas cuando se producen eventos extremos como las marejadas del 22 de agosto de 2021 (Fotografía 10).

Fotografía 9: Playa San Carlos, fotografía tomada el 13 de febrero de 2021. Nótese el nivel máximo del oleaje y la desaparición de la anteduna bordera en Costa Azul.



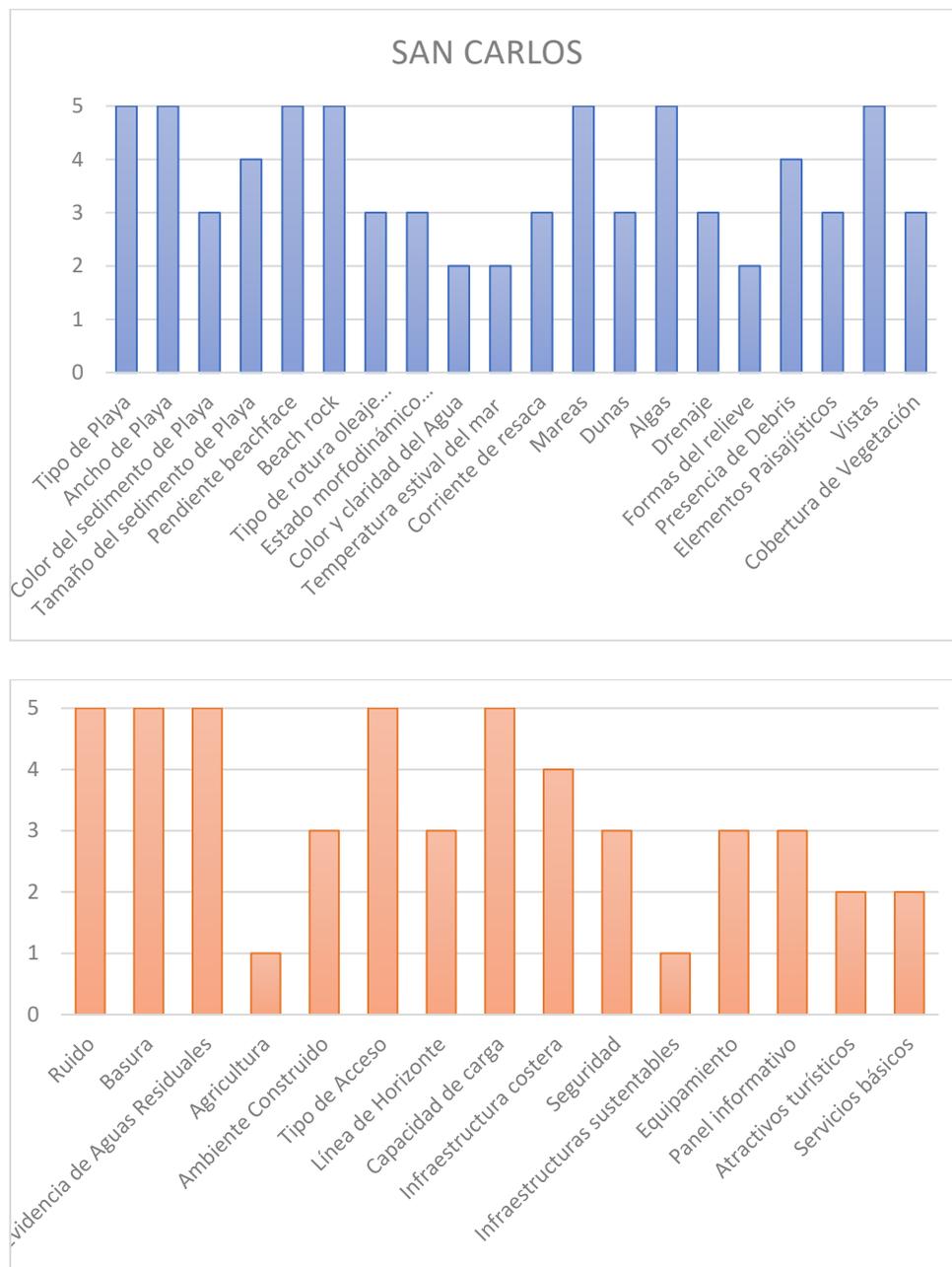
Fuente: gentileza de Frank Viveros.

Fotografía 10: Inundación de viviendas ubicadas en ribera oriente de la Quebrada Los Helechos producto de las marejadas del 22 de agosto.



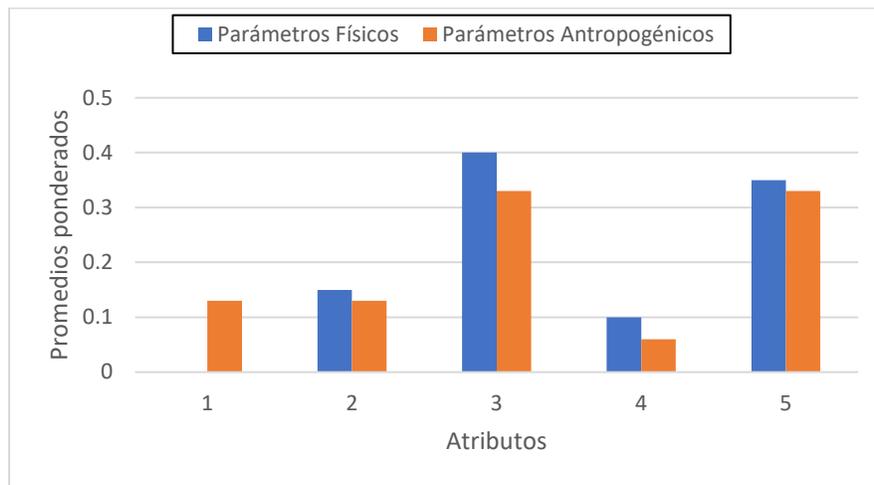
Fuente: tomada con dron personal.

Figura 25: Histograma de calificación para la Playa San Carlos. Las barras azules corresponden a los 20 parámetros físicos y las naranjas corresponden a los 15 parámetros antropogénicas.



Como se aprecia en la Figura 26, los valores P y H son relativamente altos, concentrándose en categorías 5 y 3. El valor ISPT resultante obtenido en Playa San Carlos fue de 50.09, y el índice de evaluación D 'normalizado' fue de 0.66, correspondiente a playas clase 2.

Figura 26: Histograma de promedios ponderados para la Playa San Carlos.



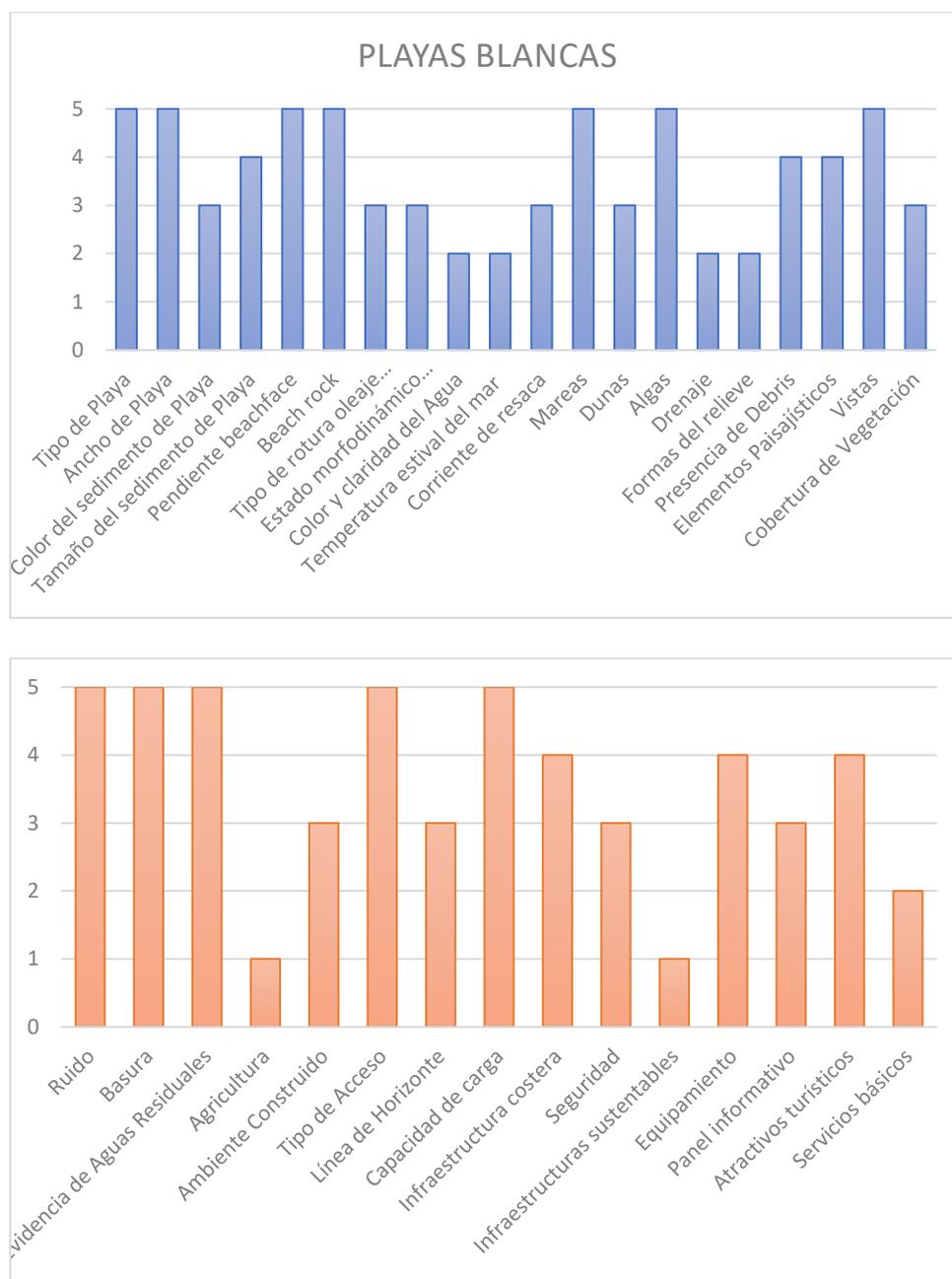
Con respecto a Playas Blancas, se obtuvo una sumatoria de 73 para el subconjunto P, 50 para el subconjunto H (parámetros antropogénicos) y 4 para el parámetro mixto (estado de la línea litoral) correspondiente al estado estable. Dentro de los parámetros físicos, se destaca la presencia de la Quebrada los Helechos y Los Ciruelos, restos del antiguo campo dunar (paleoduna) y la protección de las antedunas borderas (Figura 27). Mientras que, en los parámetros humanos, se destaca la existencia de vestigios arqueológicos, de la tradición Bato (300 a.C. – 900 d.C.), complejo cultural Llolleo (100 d.C. – 900 d.C.) y cultura Aconcagua (900 d.C. – 1540 d.C.), entre ellos, piedras tacitas, pipas, piedras horadadas, percutores, puntas de flecha, enterratorios, cerámicas, entre otros (Fotografía 11).

Fotografía 11: Esqueleto de individuo perteneciente al complejo cultural Llolleo, rescatado al este de la Laguna El Peral.



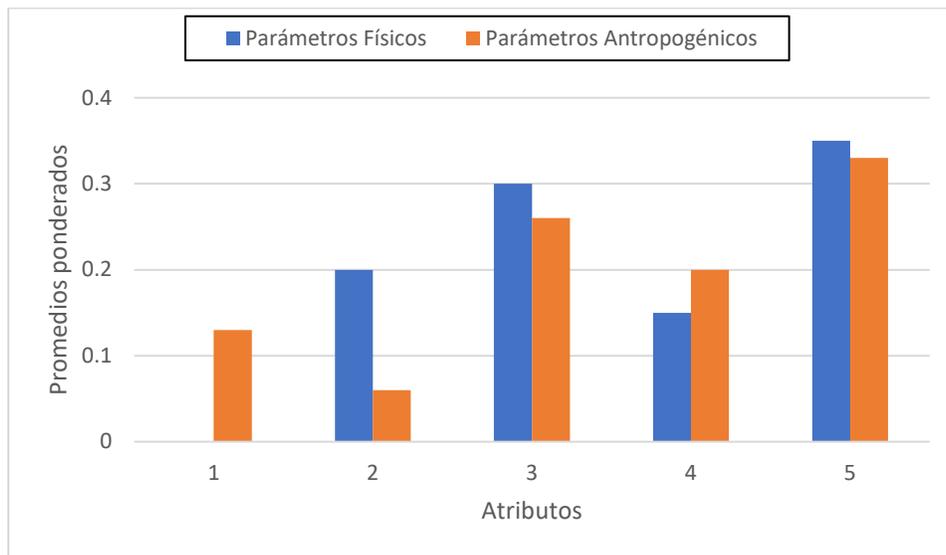
Fuente: gentileza de José Luis Brito.

Figura 27: Histograma de calificación para Playas Blancas. Las barras azules corresponden a los 20 parámetros físicos y las naranjas corresponden a los 15 parámetros antropogénicas.



Como se aprecia en la Figura 28, los valores P y H son relativamente altos, concentrándose en categorías 5 y 3. El valor ISPT resultante obtenido en Playas Blancas fue de 52.5, y el índice de evaluación D ‘normalizado’ fue de 0.70, correspondiente a playas clase 2.

Figura 28: Histograma de promedios ponderados para Playas Blancas.

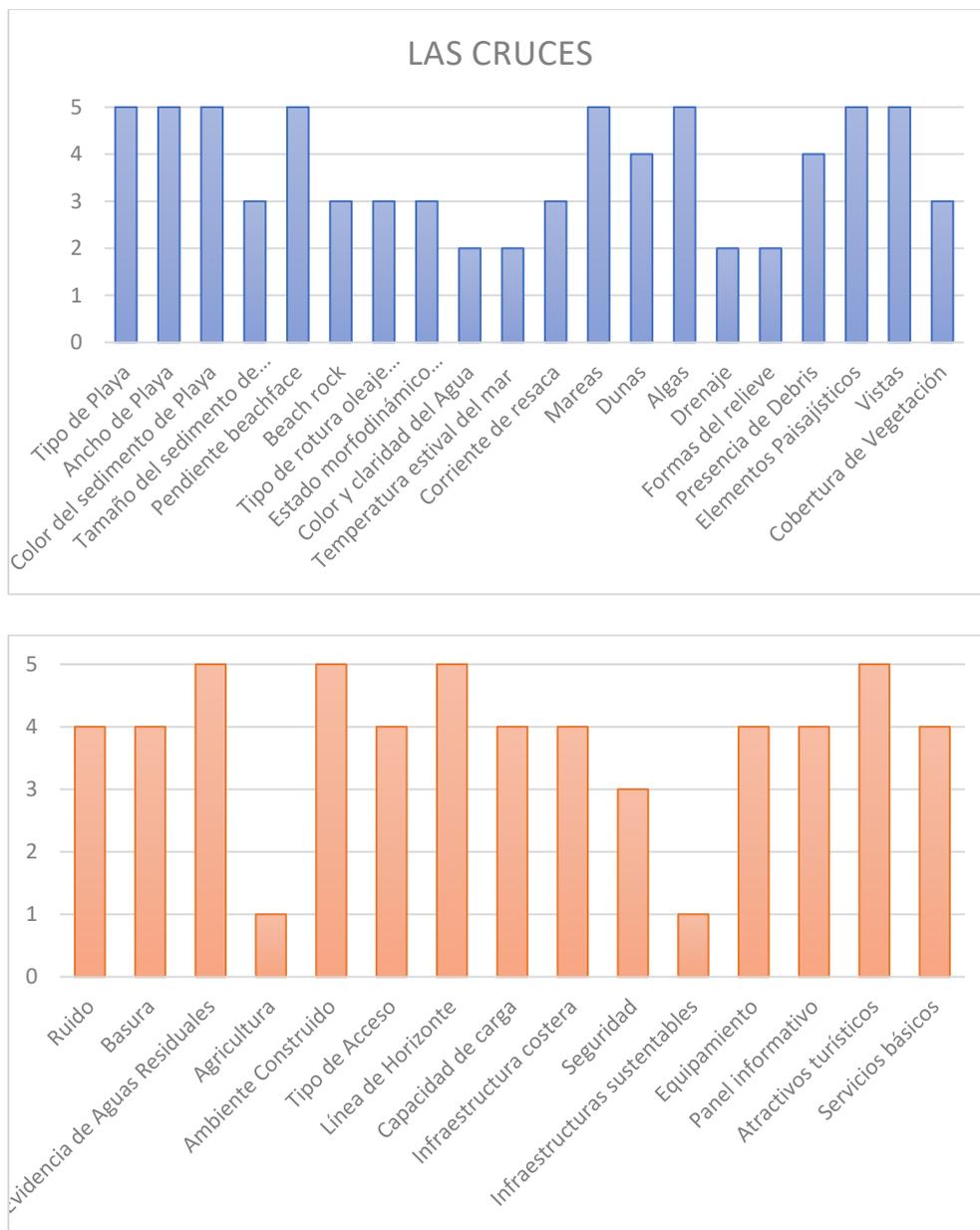


Por último, Playa Grande Las Cruces obtuvo una sumatoria de 74 para el subconjunto P, 57 para el subconjunto H (parámetros antropogénicos) y 4 para el parámetro mixto (estado de la línea litoral) correspondiente al estado estable. Dentro de los parámetros físicos, se destaca la presencia de la Quebrada Los Ciruelos, el *beach rock* perteneciente al Complejo Metamórfico de Valparaíso correspondiente al Paleozoico superior (278 Ma), las arenas rubias y la tendencia a la acreción de su playa (Figura 29). En cuanto a sus atributos humanos, se destaca el patrimonio arquitectónico europeo de los Barrios el Quirinal y Vaticano, la ausencia de aguas residuales vertidas en la playa, la línea de horizonte conforme a la arquitectura patrimonial, la protección de monumentos históricos como el Tren de Sangre de Cartajena [sic] a Playa Blanca (Fotografía 12).

Fotografía 12: Escaño de piedra y cemento con forma de herradura del Ferrocarril de Sangre, Playa Grande Las Cruces.

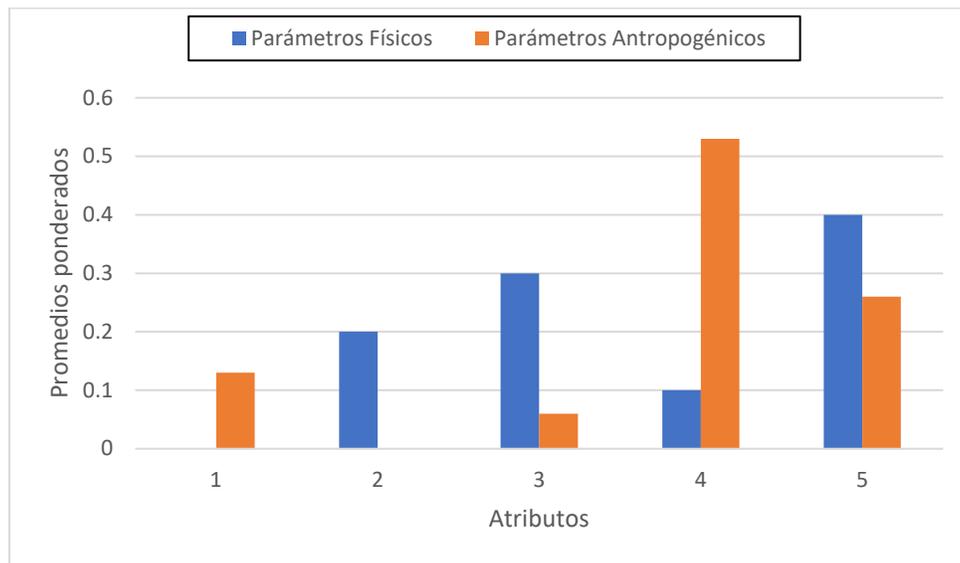


Figura 29: Histograma de calificación para Playa Grande Las Cruces. Las barras azules corresponden a los 20 parámetros físicos y las naranjas corresponden a los 15 parámetros antropogénicas.



Como se aprecia en la Figura 30, los valores P y H son los más altos de los balnearios, concentrándose en categorías 5 y 3. El valor ISPT obtenido en Playa Grande Las Cruces fue de 55.77, y el índice de evaluación D ‘normalizado’ fue de 0.75, correspondiente a playas clase 2.

Figura 30: Histograma de promedios ponderados para Playa Grande Las Cruces.



Capacidad de carga/Índice de saturación (H.28)

A partir de los estudios realizados por Portal (2008), PLADECO Cartagena (2015) y reciente informe del Índice de Saturación de Destinos Turísticos en Algarrobo-Santo Domingo (Arizaga & Zaviezo, 2020), Cartagena en su calidad de Ciudad-Balneario nos muestra una situación compleja en cuanto al uso del territorio, presentando una dualidad de características netamente opuestas. Como se observa en la Tabla 11, la población residente de la comuna de Cartagena es de 22.738 habitantes (Censo, 2017), alcanzando en la temporada estival un máximo de 46.174 visitantes en febrero, superando la capacidad real o el umbral de saturación que presenta el lugar (Fotografía 13). Por otra parte, el resto del año el destino se encuentra en estado de latencia en los meses de marzo, abril, julio y de septiembre hasta diciembre. Portal (2008) menciona que 350.000 visitantes (según declaraciones emitidas el 8 de enero por el alcalde Rodrigo García serían 450.000) llegan a la comuna en temporada estival, en circunstancias que este autor estima que la capacidad de carga y/o acogida diaria de las playas de Cartagena no es mayor que 46.160 personas. Si así fuese, dicho territorio estaría recibiendo 7,5 veces más con respecto a su capacidad de carga.

Tabla 11: Capacidad de carga de las comunas del litoral central.

COMUNA	RESIDENTES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
SAN ANTONIO	91.350	94.585	95.363	93.613	93.431	92.764	92.707	92.864	93.033	93.651	93.114	93.402	93.948
umbral de saturación	1,024	1,035	1,044	1,025	1,023	1,015	1,015	1,017	1,018	1,025	1,019	1,022	1,028
ALGARROBO	13.817	26.438	27.646	20.175	18.526	15.697	16.250	19.474	17.227	19.473	18.672	18.351	21.236
umbral de saturación	1,442	1,913	2,001	1,460	1,341	1,136	1,176	1,409	1,247	1,409	1,351	1,328	1,537
CARTAGENA	22.738	42.878	46.174	28.137	25.914	24.238	24.724	26.302	24.973	27.816	28.617	25.722	28.473
umbral de saturación	1,297	1,886	2,031	1,237	1,140	1,066	1,087	1,157	1,098	1,223	1,259	1,131	1,252
EL QUISCO	15.955	34.438	34.811	22.930	21.946	18.819	19.882	21.870	20.987	22.858	22.964	21.976	24.703
umbral de saturación	1,505	2,158	2,182	1,437	1,376	1,180	1,246	1,371	1,315	1,433	1,439	1,377	1,548
EL TABO	13.286	28.230	31.033	20.546	20.535	18.507	18.299	20.583	18.613	20.183	18.814	19.537	23.911
umbral de saturación	1,623	2,125	2,336	1,546	1,546	1,393	1,377	1,549	1,401	1,519	1,416	1,471	1,800
SANTO DOMINGO	10.900	12.384	12.522	11.663	11.464	11.127	11.193	11.576	11.311	11.577	11.481	11.443	11.782
umbral de saturación	1,067	1,136	1,149	1,070	1,052	1,021	1,027	1,062	1,038	1,062	1,053	1,050	1,081
TOTAL DESTINO	168.046	238.954	247.549	197.064	191.815	181.152	183.055	192.670	186.143	195.556	193.663	190.432	204.052
umbral de saturación	1,191	1,422	1,473	1,173	1,141	1,078	1,089	1,147	1,108	1,164	1,152	1,133	1,214

Fuente: Arizaga & Zaviezo (2020).

Fotografía 13: Superación de la capacidad de carga turística en Playa Grande de Cartagena, sábado 15 de febrero de 2020.



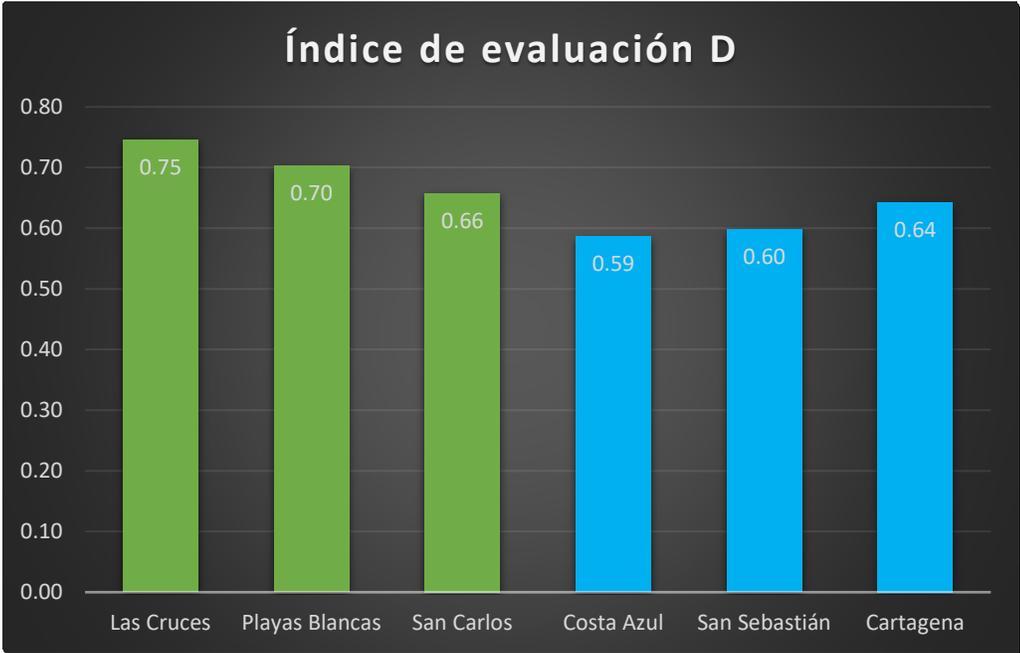
Fuente: gentileza de Juan Arellano (2020).

En cuanto a la comuna de El Tabo, los estudios coinciden con el incremento exponencial de la población flotante por sobre la residente o permanente de 13.286 habitantes (Censo, 2017), alcanzando en febrero un máximo de 31.033 visitantes, por tanto, un umbral de saturación elevado en verano. Según las declaraciones emitidas por el alcalde Alfonso Muñoz el 8 de enero de 2021 en un matinal nacional, en temporada estival la población flotante alcanza entre 150.000 y 200.000 visitantes.

Se concluye que las comunas con mayor vocación turística como Algarrobo, Cartagena, El Quisco y El Tabo, la población total mes puede doblar la población residente. En este sentido, si se observa la variación de la población flotante en relación a la población residente se constata que esta se dispara en Cartagena muy por sobre las otras comunas. Esto se traduce, principalmente en el bajo nivel sanitario (residuos orgánicos, animales, etc.) y el elevado deterioro del equipamiento e infraestructuras, así como la ausencia de equipamiento mínimo que requiere una playa.

A partir de lo anteriormente expuesto, los valores del índice de evaluación (D) para las 6 playas en estudio son presentados en la Figura 31.

Figura 31: Índice de evaluación D para las seis playas estudiadas. Las barras verdes representan playas clase 2 y las barras cyan, playas clase 3.



4.3. Zonificar el litoral arenoso de la Bahía de Cartagena de acuerdo con el Índice de Sostenibilidad para Playas Turísticas (ISPT)

Para que una playa obtenga el eco-certificado internacional Bandera Azul (BA) tiene que cumplir con los siguientes requisitos imperativos: **Calidad del Agua de Mar (35%), Calidad del Agua para consumo (15%), Calidad Sanitaria de la Costa (30%), Educación Ambiental (10%) y Seguridad y Administración (10%)**. A continuación, se describirá cada criterio según la normativa chilena:

A. Calidad de agua de mar y para consumo

La norma chilena 1333/78 permite un máximo de mil coliformes fecales por 100 ml. para que una playa pueda ser considerada apta para el baño. En el Litoral Central la autoridad sanitaria tiene una ardua labor de monitorear periódicamente el agua de los balnearios, como una manera de garantizar la salud de quienes concurren hasta nuestra zona para gozar de unas agradables vacaciones.

Según los registros declarados por la Seremi de Salud de la región de Valparaíso, los análisis bacteriológicos realizados por la autoridad sanitaria en enero de 2007 arrojaron mil seiscientos coliformes fecales por 100 ml en sector sur y norte de playa LloLleo; por lo que se declaró como playa no apta sanitariamente para el baño. Mientras que en la Playa Chica y Grande de Cartagena se observaron veinte tres coliformes por 100 ml, siendo aptas para el baño, en esta misma condición se encontraron Playa Costa Azul, San Sebastián y Las Cruces (Tabla 12).

Tabla 12: Análisis bacteriológico realizado en playas del litoral Central.

Balneario	Coliformes fecales (mg/100 ml)	Observaciones
Playa Chica-Cartagena	23	Apta
Playa Grande-Cartagena	23	Apta
Playa San Sebastián	23	Apta
Playa Costa Azul	3,7	Apta
Playa Las Cruces	1,8	Apta
Playa Norte de LloLleo	1600	No Apta
Playa Sur de LloLleo	1600	No Apta
Playa Caleta de San Antonio	920	Apta

Fuente: Seremi de Salud Valparaíso, 2007.

Antecedentes similares fueron encontrados por Cáceres (1987), a partir de análisis químico de las aguas en el litoral central, encontrando en la laguna litoral formada en la desembocadura del estero La Cigüeña (entre San Carlos y Costa Azul) severos riesgos para el consumo humano, no así para el baño. De igual forma en la laguna costera formada en el estuario del estero de Cartagena se determinó que sus aguas no se encontraban aptas para el consumo humano y tampoco para el baño. Esto se debe según el autor, a la constante contaminación producida por limos arrojados por las mineras explotadoras de arenas cuarcíferas, que extraen áridos desde la cuenca alta y los depositan en las quebradas y esteros locales, sumado a la contaminación de basuras y escombros dejados por los turistas.

Cabe mencionar que ESVAL S.A. es la empresa concesionaria administradora de la “Zona litoral Sur” (SGZ), que se encarga del abastecimiento de agua potable, mantenimiento de plantas de impulsión y de tratamientos de aguas residuales, entre otros. En el área de estudio, existen tres plantas de impulsión, la primera ubicada en Playas Blancas, la segunda en Playa San Carlos, la tercera en Playa San Sebastián y el receptor final en donde se realiza el tratamiento de las aguas servidas de todos estos balnearios incluyendo Las Cruces, se encuentra en Playa Grande de Cartagena, en el denominado ‘emisario submarino de Cartagena (E.S. Cartagena). Estas infraestructuras rígidas se localizan en campos dunares, lo que ocasiona alteraciones en los patrones de circulación sedimentaria, además de deterioros

en la calidad paisajística de la playa, debido a sus constantes emanaciones tóxicas que afectan la calidad de vida de la población circundante.

B. Calidad Sanitaria de la Costa

El punto de descarga o emisario submarino de Cartagena (E.S. Cartagena), fue construido en 1999 por la empresa ESVAL S.A. y se encuentra operativo fuera de la Zona de protección Litoral de 146 metros (ZPL) a 1,5 km de la costa, presenta un CAUDAL* MAX DE DISEÑO L/S de 113,14. Esta infraestructura costera, se encuentra localizada en el antiguo estuario o desembocadura del Estero de Cartagena, en consecuencia se alteró completamente la napa freática que existe entre el actual humedal y las antedunas borderas del sur (Fotografía 14). Los vecinos de la población Arellano y El Ensueño ubicadas en el sector oriente del E.S., reportan olores emanados de esta infraestructura y observados coloides fecales flotando mar adentro. Si bien esto no se ha constatado en terreno, es un problema generalizado en gran parte de la costa chilena; en donde no existen biofactorias o plantas de reutilización de aguas servidas.

Fotografía 14: En el ovalo rojo se aprecia el emisario submarino ubicado entre las antedunas, los estacionamientos y el humedal de Cartagena.



C. Educación Ambiental

En cuanto a la educación ambiental, se debe diferenciar el trabajo realizado en los balnearios por comuna. En la comuna de Cartagena, existe un programa de Educación Ambiental perteneciente a la Dirección de Medio Ambiente y Aseo (DIMAO) que se encarga de promover la formación de una ciudadanía que reconozca valores, aclare conceptos y desarrolle las habilidades y las actitudes necesarias para una convivencia armónica entre seres humanos, su cultura y su medio bio-físico circundante. Este programa lleva 4 años funcionando en conjunto con el Comité Ambiental Comunal (CAC de Cartagena) y otras organizaciones medioambientales como ‘Deja la playa limpia’. Las principales labores realizadas hasta la fecha son: instalación de letreros informativos, videos educativos sobre onomásticos medioambientales, infografías didácticas, promoción de huertos urbanos y reciclaje en puntos verdes, protección del estero, estuario y humedal urbano de Cartagena y quebrada El Tranque. Cabe mencionar, que el pasado 23 de agosto de 2021, se declaró bajo la Ley 21.202 Humedal Urbano al Sistema Laguna y Estero Cartagena, lo que permitirá contar con una figura de protección adicional a la Reserva Natural Municipal (RENAMU).

Por otra parte, la comuna de El Tabo cuenta con una Dirección de Medioambiente que se encarga de administrar puntos de reciclaje, puntos verdes y contenedores de botellas y vidrios. El CAC de El Tabo se encuentra en formación, pese a esto; existen organizaciones como ‘Salvemos Gota de Leche’ que se preocupa de la limpieza de la playa y conservación del campo dunar Gota de Leche y las marismas existentes, y fundación ‘Eladio Sobrino’ que resguarda el Santuario de la Naturaleza Quebrada de Córdova (Fotografía 15).

Fotografía 15: Iniciativas ambientales en la zona.



Fuente: Salvemos Gota de Leche, Deja la playa limpia, IMET, IMCT.

D. Seguridad y Administración

La Playa Grande se habilita todos los años entre el 15 de diciembre y el 15 de marzo. Durante este período se abren al público instalaciones y servicios, destacando baños accesibles, paseos costeros, salvavidas certificados, además de personal de la Armada de Chile, carabineros, PDI y funcionarios municipales todos los días entre las 10:00 hrs. y 20:00 hrs.

En la Fotografía 16, se aprecia como las marejadas del 22 de agosto lograron romper la barra litoral, posibilitando la salida superficial del agua dulce del Estero de Cartagena al mar. Este fenómeno además de permitir la purificación de las aguas (evitan la eutrofización), favorece la recarga sedimentaria de las playas. Cabe mencionar, que esta zona alberga la mayor cantidad de atractivos turísticos naturales y servicios ecosistémicos que posee la comuna de Cartagena, y desde sus orígenes constituye un área de inundación del estero de Cartagena; tal como se aprecia en la fotografía de la Playa Grande de Cartagena tomada por Enrique Mora Ferraz entre 1936-1952 (Fotografía 17).

Fotografía 16: Rotura de la barra litoral que separa el estero Cartagena con el mar debido a las marejadas del 22 de agosto de 2021.



Fuente: tomadas con dron personal.

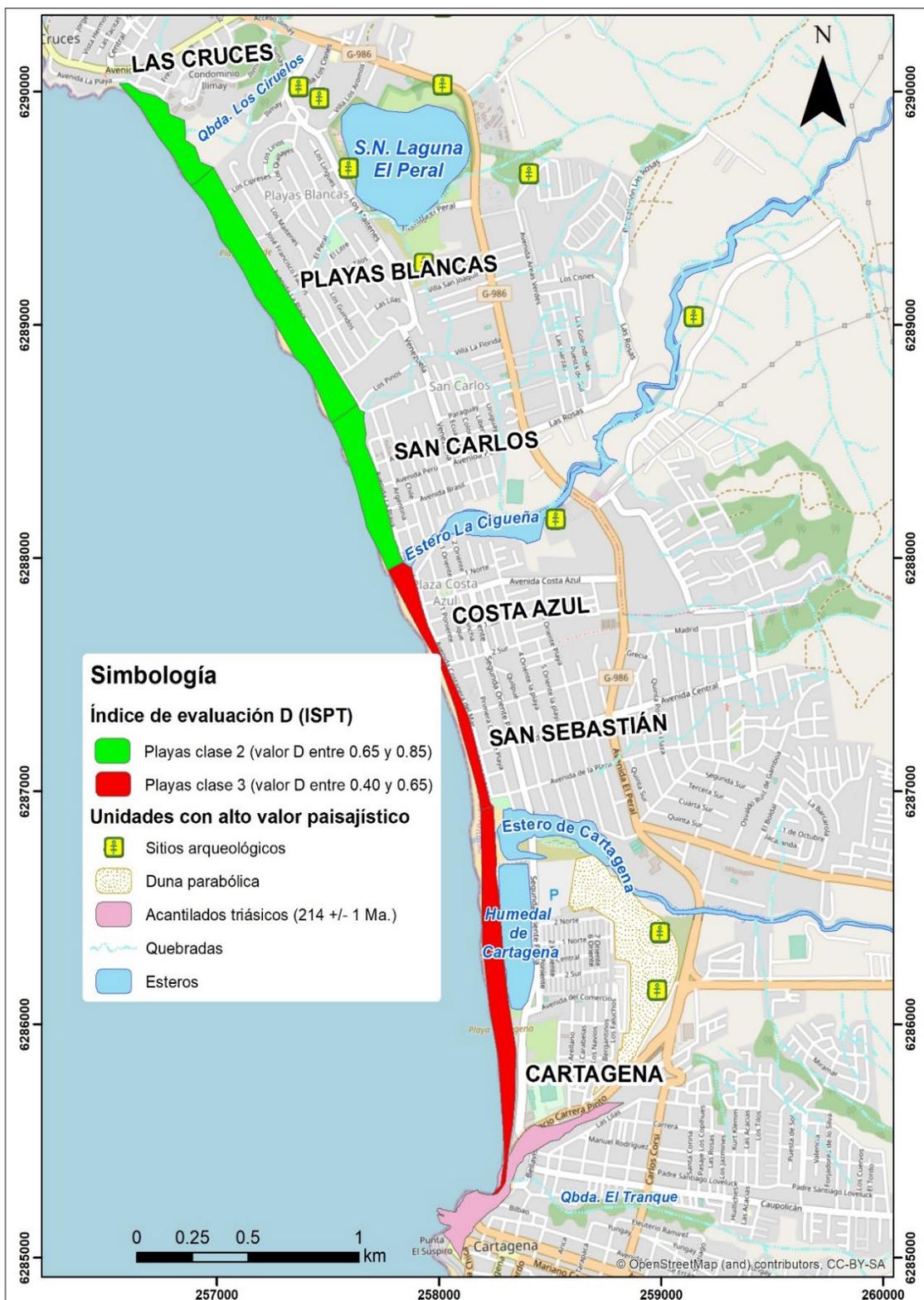
Fotografía 17: Playa Grande de Cartagena entre 1936 y 1952.



Fuente: Fondo Enrique Mora Ferraz, archivo UDP (2021).
Foto coloreada por Carlos Aguilera Sepúlveda.

De acuerdo con los resultados del ISPT y las recomendaciones de *Blue Flag* se zonificó los balnearios categorizándolos de acuerdo con el índice de evaluación D (Figura 32).

Figura 32: ISPT de los seis balnearios en estudio, escala 1:20.000.



CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

El análisis del Índice de Sostenibilidad de Playas Turísticas de la Bahía de Cartagena (ISPT) demostró que la zona presenta una alta biodiversidad de ecosistemas costeros de gran valor ambiental y un patrimonio histórico-cultural afectado por múltiples actividades antrópicas, lo que ha producido significativas alteraciones en la calidad ambiental de unidades costeras sensibles como playas, esteros y dunas, repercutiendo en la calidad turística sostenible de los balnearios.

Al igual que la investigación realizada por Botero *et al.* (2013c), el criterio de selección de los turistas para visitar estas playas es el de proximidad y herencia cultural, es decir, la gran cercanía a Santiago ha permitido que históricamente exista una gran cantidad de turistas que prefiera el turismo de ‘sol, mar y arena’ (Dodds & Kelman, 2008). En este sentido, el ISPT permitió reconocer los atributos físicos y actividades antropogénicas de cada balneario, entre ellos los más destacados son: playas intermedias con una amplia zona de rompiente, arenas finas a medias, pendientes suaves, ausencia de *beach rock*; propicias para deportes acuáticos como *surf*, *kitesurf*, *bodyboard*, *windsurf*, campos dunares, lagunas costeras y esteros locales. Esta riqueza natural, se encuentra dañada por múltiples intervenciones humanas como el reemplazo de antedunas borderas por malecones, kioskos, infraestructura sanitaria, evidencia de aguas residuales, basura, deficiente seguridad, precariedad en instalaciones y servicios, y una alta capacidad de carga, que según el estudio de Portal (2008) y de la Pontificia Universidad Católica (2019) ocasiona la saturación de las playas en temporada estival.

La importancia de estos factores fue discutida por Ergin *et al.*, (2010), Williams *et al.*, (2016), Rangel *et al.*, (2019) los cuales concuerdan que las preferencias de cualquier visitante de playa en el mundo se deben a cinco factores: calidad del agua, basura, instalaciones, paisajes y seguridad. Esta investigación además de determinar los parámetros naturales y humanos que caracterizan a las playas, integro el fenómeno de erosión costera como un factor adicional en la matriz de evaluación de calidad paisajística.

Considerando la zona costera como un territorio frágil y en constante cambio, se pudo constatar el ‘estado de salud’ del litoral arenoso a partir de la variabilidad de la línea litoral

histórica, abordada como un peligro o parámetro mixto, reflejado en el cálculo de tasas de erosión en metros de retroceso anual de la orilla (Himmelstoss *et al.*, 2018).

De esta forma, se determinó que las playas ubicadas en la zona norte de la bahía presentan estados de estabilidad y de leve acreción (Playas Blancas y Las Cruces), al contrario de la zona sur correspondiente a los balnearios de Costa Azul, San Sebastián y Cartagena, que presentan una evidente erosión costera acrecentada en los últimos 10 años. Estas tres playas urbanas están confinadas por muros perimetrales, lo que impide la capacidad de migrar y adaptarse a los nuevos niveles del mar. Según el estudio de Winckler *et al.*, (2019a) a finales del siglo habrá un aumento del nivel del mar en 0.65 m +/- 0.30 para la zona central de Chile (RCP 8.5), lo que produciría nuevas zonas de inundación por tanto mayor exposición a fenómenos extremos.

El fenómeno de marejadas que han afectado a las playas del litoral en el año 2015 y más recientemente en el año 2018 provocó una grave erosión en la Playa Grande de Cartagena, reduciéndola en tamaño producto de la alteración del ciclo de recuperación estacional de las playas, ya que las marejadas se han desarrollado de manera recurrente; lo que no ha permitido la recuperación de la playa (Martínez *et al.*, 2019b).

Otro factor que explica la pérdida del litoral arenoso es el déficit del aporte sedimentario de sur a norte desde el Río Maipo a la Bahía de Cartagena. Según el estudio del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2, 2015), durante la megasequía 2010-2019, se produjo una reducción de hasta un 60% de las áreas de las plumas generadas por los ríos de la zona central en comparación al período 2000-2009. Asimismo, producto del bajo caudal de los ríos durante la megasequía, la descarga de nutrientes como el nitrato y el fosfato disminuyeron entre un 25% a un 75% desde los ríos hacia la zona costera en los meses de otoño e invierno, afectando directamente la productividad biológica de la zona costera. Sumado a esto, las frecuentes intervenciones antrópicas en las cuencas locales relacionadas principalmente a la expansión urbana, que merman la carga sedimentaria y por tanto la retroalimentación de las playas, siendo una de las causas de la erosión costera (Martínez *et al.*, 2017, Winckler *et al.*, 2019a).

El volumen 4 “Vulnerabilidad y riesgos en playas” del informe de los efectos del cambio climático en las costas de Chile elaborado por Winckler *et al.*, (2019a) para el Ministerio de

Medio Ambiente, analiza la evolución de la línea de costa en el escenario RCP 8.5 para la proyección (2026-2045) (capítulo 4). Los resultados arrojan que las playas ubicadas entre Arica y el Canal Chacao experimentarán retrocesos medios de entre 3 y 23 m, dependiendo del tamaño del grano y de la altura de la berma de la playa. Playas con tamaños de sedimentos finos experimentarán mayores retrocesos que playas de arena gruesa, en tanto que playas con menor altura de la berma serán más erosionadas que aquellas con mayor altura. Asimismo, las playas tenderán a girar (pivoteo o basculamiento) en sentido antihorario enfrentando direcciones más hacia el SW. La tendencia es que playas largas tiendan a experimentar erosión en sus extremos sur y acreción en sus extremos norte, aun cuando la erosión y acreción respectiva sea del orden de metros.

Asimismo, con el objeto de reducir el impacto del cambio climático en playas, dunas y humedales, se recomiendan las siguientes medidas de adaptación: i) Conservación de campos dunares, humedales y campos de algas; ii) Generación de cuotas de extracción de arenas; iii) Soluciones de ingeniería verde; iv) Gestión integrada de zonas costeras; v) Política nacional de uso del borde costero (Winckler *et al.*, 2019a).

De esta forma, las playas turísticas deben gestionarse de manera que los visitantes disfruten cómodamente de su estadía y reduzcan al mínimo su impacto ambiental. En este sentido, esta investigación considero a las playas como sistemas socio-ecológicos que incorpora la gestión del litoral enfocada hacia la calidad ambiental. Una demanda nueva compuesta por turistas más informados, exigentes y sensibilizados en materia ecológica, sumada a la irrupción de la sostenibilidad como nuevo paradigma de desarrollo, convirtieron a lo ambiental en variable clave para introducir en los destinos a fin de ganar competitividad tanto en destinos maduros que buscan renovarse como en destinos nuevos que intentan diversificarse. De allí la importancia de la certificación internacional *Blue Flag*.

En relación a los aspectos a mejorar para obtener la acreditación *Blue Flag*, es imprescindible contar con un profesional encargado de monitorear mensualmente la calidad de agua (primera certificación solicitada por el comité evaluador), establecer códigos de conducta de los turistas en las playas, contar con información sobre el programa Bandera Azul, realizar cartografías que indiquen la ubicación de las instalaciones y servicios, la calidad paisajística de la playa (ISPT), las características de la playa; poniendo en valor los

recursos naturales, culturales y económicos del territorio, con el objeto de promover el desarrollo sostenible de los balnearios. En el ítem de Seguridad y Servicios, se deben establecer protocolos de emergencia e instrumental de primeros auxilios identificables y accesibles, y todo el equipamiento necesario para mejorar calidad ambiental de las playas, y con ello la experiencia turística de los usuarios.

Pese a los esfuerzos de cada comuna, ninguno de los balnearios cumple con todos los estándares solicitados para la certificación ecoturística, entre ellos, contar con instalaciones amigables para discapacitados, accesos cómodos para todo visitante (personas en sillas de ruedas, ciegos, etc), control periódico de calidad del agua, limpieza de la playa (sólo en verano se realiza), entre otros. Cabe mencionar que, en los últimos dos años, la Dirección de Medio Ambiente, Aseo y Ornato (DIMAO) de Cartagena siguiendo los lineamientos de economía circular amparados en la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje (REP) 20.920, ha iniciado la contratación de recicladores de base que realizan la colecta selectiva de residuos y facilitadores ambientales encargados de la gestión y protección de hábitat costeros sensibles (principalmente estero, estuario y humedal de Cartagena).

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El Índice de Sostenibilidad de Playas Turísticas (ISPT) permitió ser una gran herramienta de evaluación paisajística para playas turísticas bajo un enfoque holístico, ya que considera la mayoría de los atributos físicos y antropogénicos que caracterizan una playa. Además, incluye la variación histórica de la línea litoral como factor mixto; con el cual se constató los cambios que ha tenido el litoral arenoso a través del tiempo. Todos estos factores permitieron diferenciar los balnearios según sus cualidades y estado de su línea litoral con el propósito de mejorar la gestión ambiental y con ello, postular a certificaciones turísticas para sus playas.

Se determinó que el litoral arenoso de la Bahía de Cartagena presenta una tasa de cambio de -0.45 m/año para el período 1963-2019 (56 años), concordante con la tasa de retroceso de -0.61 m/año entre 1980-2018 (38 años) calculada por Winckler *et al.*, (2019a), clasificándose como ‘erosión’. Esta erosión se acentúa en la última década y predomina en la zona centro-sur de la bahía, especialmente en Playa Grande de Cartagena que presenta una tasa de retroceso de -0.97 m/año. Mientras que hacia el norte (balneario Las Cruces), se presenta un pequeño sector de acreción (0.2 m/año). La recurrencia de eventos extremos como marejadas conjugado con una fuerte intervención antrópica de los esteros y quebradas locales en un contexto de megasequía y cambio climático, no permite el normal aporte de los sedimentos a la playa, por tanto, se favorece la erosión.

El litoral central de la costa chilena es un destino popular para muchos turistas tanto nacionales como internacionales que son atraídos por la cercanía a la capital Santiago, la belleza escénica del paisaje y las facilidades económicas del turismo de ‘sol y playa’ que encuentran en estos balnearios.

A lo largo de esta zona costera, el paisaje escénico es un componente fundamental para el turismo y a su vez es un motor importante en la economía local y nacional. Con el fin de reconocer el potencial de desarrollo del turismo sostenible y para la mejora de la calidad escénica se llevó a cabo una evaluación paisajística de seis playas por medio del análisis de listas de chequeo y la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

La lista de chequeo del ISPT estuvo conformada por 36 parámetros, 20 físicos, 15 antropogénicos y 1 mixto correspondiente al estado de la línea litoral. Estos parámetros

fueron calificados según la escala de pesos continuos del 1 a 5 propuesta por Saaty en 1987 (presencia/ausencia o poca/alta calidad) y, con el fin de medir la incertidumbre y excesos derivados de la subjetividad que pudo haber tenido la valoración de los parámetros, se aplicó el método AHP. Como resultado de estos análisis se obtuvo un valor (D) del ISPT, el cual sintetiza la evaluación del paisaje en 5 clases que van desde la CLASE 1 (zona sumamente atractiva) hasta la CLASE 5 (zona muy poco atractiva).

Se obtuvo valores 'D' altos en los balnearios Las Cruces (0.75), Playas Blancas (0.70) y San Carlos (0.66) correspondiendo a playas CLASE 2 caracterizadas por la conservación de unidades geográficas sensibles, agua no contaminada, ausencia de ruido y una alta seguridad manifestada en una buena gestión municipal. Por otro lado, los balnearios Costa Azul (0.59), San Sebastián (0.60) y Cartagena (0.64), corresponden a playas CLASE 3, caracterizados por la saturación de la capacidad de carga, degradación del ambiente natural, aguas contaminadas y la presencia de estructuras rígidas como costaneras, malecones, terrazas, plantas de impulsión de aguas servidas, emisario submarino, conjugado con una fuerte presión antrópica sobre campos dunares, esteros y quebradas. En cuanto a la gestión de la playa, se constataron usos contrapuestos, principalmente urbanización (construcciones) sobre unidades geográficas sensibles como playas, dunas, humedales, esteros y quebradas; los cuales han posibilitado la degradación del ambiente, y por consiguiente la pérdida de calidad ambiental del balneario y de la experiencia recreativa de sus usuarios.

Dado que no es posible cambiar una característica natural, los esfuerzos deben enfocarse en la mejora o cambio de los parámetros humanos para así aumentar la puntuación de la playa. Esto se puede hacer en varios lugares con diferentes iniciativas, como la eliminación de las evidencias de basura y aguas residuales, reducción del ruido, fiscalización municipal constante, así como la implementación de programas de limpieza de playa y de gestión de aguas residuales; promoviendo la ley REP sobre economía circular.

La confluencia de estos intereses constituye la principal preocupación de los sectores públicos, privados y de la sociedad en general. Un manejo adecuado conllevaría la coordinación y planificación de actividades entre todos los tomadores de decisiones, y un trabajo desde lo ambiental (evitando impactos negativos y preservando el entorno), sociocultural (fomentando el desarrollo integral de la comunidad) y económico (impulsando

la participación de empresas locales con fuentes de trabajo de calidad), tendiente a la sostenibilidad.

El desarrollo de índices basados en una apertura de la ciencia, con un mayor escrutinio público y un enfoque de precaución considerando el cambio climático, podría conducir a resultados más democráticos, legitimados y creativos. Para ello, es fundamental promover e incluir procesos participativos que involucren a todos los actores intervinientes en el espacio costero en cuestión, propendiendo a lograr acuerdos entre intereses dispares y elaborar objetivos comunes sobre planificación y gestión costera.

Por otra parte, se debe avanzar en los criterios de certificación eco-internacional Bandera Azul, única etiqueta que cuenta con el respaldo de la Organización Mundial del Turismo y el programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, para con ello obtener beneficios ambientales, turísticos y económicos al contar con criterios de legalidad, accesibilidad, sanidad, limpieza y seguridad en la zona costera de la Bahía de Cartagena.

La obtención de ecocertificaciones como Bandera Azul y la puesta en práctica de sus compromisos ambientales, permitiría mejorar las condiciones ambientales de los balnearios, brindando calidad y posibilidades de competir en el mercado turístico de sol y playa, sin poner en riesgo el propio recurso costero que sustenta la actividad.

CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA

Agredano, R.; Cienfuegos, R.; Catalán, P.; Mignot, E.; Bonneton, P.; Bonneton, N. & Martínez, C. (2019). Morphological changes in a cusped sandy beach under persistent high-energy swells: Reñaca Beach (Chile). *Marine Geology*, 417(August), 105988. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2019.105988>

Araujo, R.; Silva, G.; Freitas, D. & Hlein, A. (2009). Georreferenciamento de fotografías aéreas e análise da variação da linha de costa. En: Alcántara-Carrió, J., Correa, I.D., Isla, F., Alvarando, M., Klein, A.H.F., Cabrera, J.A. Metodologías em teledetección aplicada a la prevención de amenazas naturales en el litoral, 1: 123-138.

Araya-Vergara, J. (1986). Cambios actuales de la línea litoral en Chile central sur. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 29: 2328.

Araya-Vergara J. (1996). Sistema de interacción oleaje-playa frente a los ergs de Chanco y Arauco, Chile. *Gayana Oceanología*, 4 (2): 159-167.

Ariza, E.; Jimenez, J. A.; Sarda, R.; Villares, M.; Pinto, J.; Fraguell, R.; ... & Fluvia, M. (2010). Proposal for an integral quality index for urban and urbanized beaches. *Environmental management*, 45(5), 998-1013.

Arizaga, X. y Zaviezo, D. (2020). Pilotaje Índice de Saturación de Destinos Turísticos (ISDT) en los destinos Elquí y Algarrobo-Santo Domingo. Programa Transforma Turismo, SERNATUR.

Barragán, J. (2003). Medio ambiente y desarrollo en las áreas litorales: Introducción a la planificación y gestión integradas. Servicio de publicaciones de la Universidad de Cádiz. 301 pp. España.

Barragán, J. (2011). *Manejo costero integrado y política pública en Iberoamérica: Propuestas para la acción*. Red IBERMAR (CYTED), Cádiz, 280 pp.

Barragán, J. (2014). Política, Gestión y Litoral: Nueva visión de la gestión integrada de áreas litorales. UNESCO. Ed. Tebar Flores: Madrid.

Barragán, J. & de Andrés, M. (2015). Analysis and trends of the world's coastal cities and agglomerations. *Ocean & Coastal Management*, 114, 11-20.

Benseny, G. (2011). La zona costera como escenario turístico: transformaciones territoriales en la costa atlántica bonaerense, Villa Gesell (Argentina). Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur, 314pp.

Bird, E. (2011). Coastal geomorphology: an introduction. John Wiley & Sons.

Bird, E. & Lewis, N. (2015). Causes of beach erosion. In: Bird, E. and Lewis, N. (eds.), Beach Renourishment. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, pp. 2–28.

Bird, E. (2017). Soluciones basadas en la naturaleza para fortalecer la resiliencia costera. Banco Interamericano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0000824>

Bombana, B. & Ariza, E. (2019). A double-loop process for beach quality index construction: Approaching the complexity of the Catalan coast. *Journal of environmental management*, 240, 177-189.

Botero, C.; Anfuso, G.; Rangel-Buitrago, N. & Correa, I. (2013a). Coastal erosion monitoring in Colombia: overview and study cases on Caribbean and Pacific coasts.

Botero, C.; Anfuso, G.; Williams, A. & Palacios, A. (2013b). Perception of coastal scenery along the Caribbean littoral of Colombia. *Journal of Coastal Research*, 65(sp2), 1733-1738.

Botero, C.; Anfuso, A.; Williams, A.; Zielinski, S.; Silva, C.; Cervantes, O.; Silva, L. & Cabrera, J. (2013c). Reasons for beach choice: European and Caribbean perspectives In: Conley, D.C., Masselink, G., Russell, P.E. and O'Hare, T.J. (eds.), Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England), *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 65, pp. 880-885, ISSN 0749-0208.

Botero, C., Pereira, C., Tomic, M., & Manjarrez, G. (2015). Design of an index for monitoring the environmental quality of tourist beaches from a holistic approach. *Ocean & Coastal Management*, 108, 65-73.

Botero, C.; Cabrera, A. & Zielinski, S. (2018). Tourist Beaches. *Encyclopedia of Coastal Science*, Springer International Publishing, DOI: 10.1007/978-3-319-48657-4_401-1

Cáceres, L. (1987). *Evaluación geográfica del medio ambiente en el sector litoral entre Las Cruces y Cartagena* (Tesis de grado inédita). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Campos-Caba, R. (2016). Análisis de marejadas históricas y recientes en las costas de Chile. Memoria del proyecto para optar al Título de Ingeniero Civil Oceánico, Facultad de Ingeniería, Universidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile. 136 pp.

Carvajal, M.; Contreras-López, M.; Winckler, P. & Sepúlveda, I. (2017). Meteotsunamis occurring along the Southwest Coast of South America during an intense storm. *Pure and Applied Geophysics*, 174(8), 3313-3323.

Carter, R. & Woodroffe, C. (1994). *Coastal evolution: late quaternary morphodynamics*. Cambridge University Press, Cambridge. 517 pp.

Carter, R. (1988). *Coastal environments: Introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines*. Academic Press, London. 617 pp.

Castro, C. y Andrade, B. (1989). Proyecto de Investigación DIUC No. 40/88. *Cartografía de las modificaciones antrópicas recientes en el sistema geomorfológico costero del sector Tunquén - Santo Domingo (33 16' 38'S)*. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Castro, C. e Hidalgo, R. (2002). Del pueblo balneario a la gran conurbación: la expansión urbana en el litoral central de la V Región de Valparaíso, Provincia de San Antonio, 1954-2000. *Revista Geográfica de Valparaíso*, N° 32-33.

Castro, C. y Morales, E. (2006). *La Zona Costera: Medio natural y ordenación integrada*. Serie GEOlibros, Santiago. 210 pp.

Castro, C.; Alvarado, C.; de Andrade, R.; de La Maza, C.; Guijón, R.; Godoy, C.; Labbé, G.; Peña, F.; Viejo, M.; Villablanca, R.; Zamora, F. & Urrea, J. (2011). Algunas orientaciones para el manejo costero integrado en Chile. *Manejo Costero Integrado y Política Pública en Iberoamérica: Propuestas para la acción*. Red IBERMAR (CYTED), Cádiz, 159-170

Chaverri, R. (1989). *Coastal management: the Costa Rica experience*. Paper presented at the Coastal Zone '87, Proceedings of the Fifth Symposium on Coastal and Ocean Management.

- Ciavola, P. & Coco, G. (2017). *Coastal Storms: Processes and Impacts*, First Edition, Wiley-Blackwell, pp. 266.
- Conde-Álvarez, C. y Saldaña-Zorrilla, S. (2007). Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Ambiente y Desarrollo*, 23, 23-30.
- Cowell, P. & Thom, B. (1994). Morphodynamics of coastal evolution. *Coastal evolution: late quaternary morphodynamics*. Cambridge University Press, Cambridge, 33-86.
- Coco, G.; O'Hare, T. & Huntley, D. (1999). Beach cusps: A comparison of data and theories for their formation. *Journal of Coastal Research*, 15(3), 741–749.
- Crowell, M.; Leatherman, S. & Buckley, M. (1991): “Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy”. *J. Coastal Research*, 7, pp. 839-852.
- Crowell, M.; Leatherman, S. & Buckley, M. (1993). Shoreline change rate analysis: long term versus short term data. *Shore and Beach*, 61(2), 13-20.
- CR2 (2015). Informe a la Nación. La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. <http://www.cr2.cl/megasequia/>. Accedido el 2020/15/05.
- Davidson-Arnott, R.; Bauer, B. & Houser, C. (2019). *Introduction to coastal processes and geomorphology*. Cambridge University Press. Second Edition. 523 pp
- Del Canto, S. y Paskoff, R. (1983). Características y evolución geomorfológica actual de algunas playas de Chile central, entre Valparaíso y San Antonio (V Región). *Revista de Geografía Norte Grande*, 10, 31–45.
- Del Río, L.; Plomaritis, T.; Benavente, J.; Valladares, M. & Ribera, P. (2012). Establishing storm thresholds for the Spanish Gulf of Cádiz coast. *Geomorphology* 143-144, 13–23.
- Dinius, S. (1981). Public perceptions in water quality evaluation 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 17(1), 116-121.
- Dodds, R. & Kelman, I. (2008). How climate change is considered in sustainable tourism policies: a case of the Mediterranean islands of Malta and Mallorca. *Tourism Review International*, 12(1), 57-70.

Douglas, B. & Crowell, M. (2000): “Long-term shoreline position prediction and error propagation”. *J. Coastal Research*, 16, pp. 145-152

Ergin, A.; Özölçer, I. & Şahin, F. (2010). “Evaluating coastal scenery using fuzzy logic: Application at selected sites in Western Black Sea coastal region of Turkey”, *Ocean Engineering*, 37: 583-591. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2010.02.003

Fernández, W. & Ramírez, P. (1991). El Niño, la Oscilación del Sur y sus efectos en Costa Rica: Una revisión. *Tecnología en Marcha*, 11(1), 3-10.

Flather, R. (2001). Storm surges. En J. Steele, S. Thorpe, & K. Turekian. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 2882-2892.

Fernández, W. & Ramírez, P. (1991). El Niño, la Oscilación del Sur y sus efectos en Costa Rica: una revisión. *Tecnología en Marcha*, 11(1), 3-10.

Forbes, D.; Parkes, G.; Manson, G. & Ketch, L. (2004). Storms and shoreline retreat in the southern Gulf of St. Lawrence. *Marine Geology*, 210(1-4), 169-204.

Gibbs, R.; Matthews, D. & Link, D. (1971). The relationship between sphere size and setting velocity. *Journal of Sedimentary Petrology*, 41 (1): 7-18.

Gourlay, M. (1968). Beach and Dune Erosion Test. Delft Hydraulics Laboratory, Report N° M935/M936.

Gutiérrez, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson, Madrid. 898 pp.

Haslett, S. (2000). *Coastal System*. Routledge, New York. 218 pp.

Harley, M. (2017). Coastal Storm Definition. In book: *Coastal Storms: Processes and Impacts*, First Edition, Chapter: 1, Wiley-Blackwell, Editors: Giovanni Coco, Paolo Ciavola, pp.1-22.

Hernández, B. (2002). El Niño–Oscilación del Sur (ENOS) y los frentes fríos que arriban a la región occidental de Cuba. *Investigaciones Marinas (Valparaiso)*, 3(2), 3–19.

Hidalgo, R., Arenas, F., y Santana, D. (2016). ¿Utópolis o distópolis?: producción inmobiliaria y metropolización en el litoral central de Chile (1992-2012). *Revista de Estudios*

Urbano Regionales, 46(126), 27-54. Obtenido de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612016000200002.

Hidalgo, R.; Martínez, C.; Henríquez, C.; Arenas, F.; Rangel, N. & Contreras, M. (2019). La zona costera en Chile: adaptación y planificación para la resiliencia. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Himmelstoss, E.; Henderson, R.; Kratzmann, M. & Farris, A. (2018). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide (No. 2018-1179). US Geological Survey.

Holland, K. & Holman, R. (1996). Field observations of beach cusps and swash motions. *Marine Geology*, 134(1–2), 77–93. [http://doi.org/10.1016/0025-3227\(96\)00025-4](http://doi.org/10.1016/0025-3227(96)00025-4).

House, M. (1995). Aesthetic Pollution and the Management of Sewage Derived Waste. *In River Basin Management for Sustainable Development: International specialised conference*. IAWQ South Africa.

Hu, W. & Wall, G. (2005). Environmental management, environmental image and the competitive tourist attraction. *Journal of sustainable tourism*, 13(6), 617-635.

Igualt, F.; Breuer, W.; Contreras-López, M. y Martínez, C. (2019). Efectos del cambio climático en la zona urbana turística y costera de Viña del Mar: levantamiento de daños para una inundación por marejadas y percepción de seguridad. *Revista 180*, 44, (120-133).

Instituto Nacional de Estadísticas- INE. (2017). Estadísticas Demográficas y Vitales, Censo 2017, Santiago, Chile. Disponible en: <http://www.ine.cl/estadisticas/demograficas-y-vitales>.

Isla, F. (2016). Erosión y defensa costeras. Manual de manejo costero para la provincia de Buenos Aires. Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, 125-147.

IPCC (2014): Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, C., V. Barros, D. Dokken, K. Mach, M. Mastrandrea, T. Bilir, M. Chatterjee, K. Ebi, Y. Estrada, R. Genova, B. Girma, E. Kissel, A. Levy, S. MacCracken, P. Mastrandrea y L.L. White (eds.). Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 págs. (en árabe, chino, español, francés, inglés y ruso).

Jiménez, J.; Sancho-García, A.; Bosom, E.; Valdemoro, E. & Guillén, J. (2012). Storm-induced damages along the Catalan coast (NW Mediterranean) during the period 1958–2008. *Geomorphology* 143-144, 24–33.

Johnson, D. (1919). *Shore processes and shoreline development*. J. Wiley & Sons.

Jones A. & Phillips M. (2011). Disappearing destinations: recognizing problems – meeting expectations – delivering solutions. In *Climate Change and Future Challenges for Coastal Tourism*, Jones A, Phillips M (eds). CABI: Preston, United Kingdom, 254–273.

Kay, R. & Alder, J. (1999). *Coastal management and planning*. E & FN SPON. New York, 375.

Komar, P. (1998). *Beach processes and sedimentation*. Second Edition. Prentice Hall, New Jersey, 544 pp.

LeBlond, P. (1979). An explanation of the logarithmic spiral plan shape of headland-bay beaches. *Journal of Sedimentary Petrology*, 49(4): 1093-1100.

LeBlond, P. (1980). Model studies of headland-bay beaches. En: *Proc. Can. Coastal Conf.*, Burlington, Ont.: 353-366.

Leopold, L. (1969). *Quantitative comparisons of some aesthetics factors among rivers*, Miami, US Geological Survey. DOI : 10.3133/cir620

Martínez, C. (2001). *El efecto de ensenada en los procesos litorales de las ensenadas de Valparaíso, Algarrobo y Cartagena, Chile central*. Tesis para optar al grado de Magíster en Geografía. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.

Martínez, C. (2007). Shoreline changes in Concon and Algarrobo bays, central Chile using and adjustment model. *Revista Investigaciones Marinas, Valparaíso*, 35 (2): 99-112.

Martínez, C. y S. Salinas. (2009). Morfodinámica y evolución reciente de playa Tunquén, Chile central. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(1):203-215.

Martínez, C.; Quezada, M. & Rubio, P. (2011). Historical changes in the shoreline and littoral processes in a headland bay beach in central Chile. *Geomorphology*, 135: 80-96.

- Martínez, C.; Contreras, M.; Winckler, P.; Hidalgo, H.; Godoy, E. & Agredano, R. (2017). Coastal erosion in central Chile: a new hazard?. *Ocean & Coastal Management*: 1-15.
- Martínez, C.; Cienfuegos, R.; Inzunza, S.; Urrutia, A. & Guerrero, N. (2019a). *Tsunami Risk and Worst-case Scenario on Cartagena Bay, Central Chile: Challenges for Coastal Risk Management*. *Ocean & Coastal Management*, Special Issue: Vulnerability Assessments as a Tool for Coastal and Marine Hazard Management.
- Martínez, C.; Arenas, F.; Bergamini, K. & Urrea, J. (2019b). Hacia una ley de Costas en Chile: criterios y desafíos en un contexto de cambio climático. Serie Policy Paper, CIGIDEN. 24 pp.
- Masselink, G. & Pattiaratchi, C. (1998). Morphological evolution of beach cusps and associated swash circulation patterns. *Marine Geology*, 146(1-4), 93-113. [http://doi.org/10.1016/S0025-3227\(97\)00129-1](http://doi.org/10.1016/S0025-3227(97)00129-1)
- Masselink, G. & Hughes, M. (2003). *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Edward Arnold, London. 354 pp.
- Masselink, G.; Castelle, B.; Scott, T.; Dodet, G.; Suanez, S.; Jackson, D.; Floc'h, F. (2016). Extreme wave activity during 2013/2014 winter and morphological impacts along.
- MEA-Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and human well-being* (Vol. 5, p. 563). United States of America: Island press.
- Micallef, A., Williams, A., Radic, M. & Ergin, A. (2004). Application of a novel bathing area evaluation technique-a case study of Croatian island beaches. *World Leisure Journal*, 46(4), 4-21.
- Molteni, F.; Winckler, P. y Ibaceta, R. (2017). Análisis morfodinámico simplificado de playa ante forzantes oceanográficos y tectónicos. En: XXIII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, SOCHID. Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Montreuil, A. & J. Bullard. (2012). A 150-year record of coastline dynamics within a sediment cell: Eastern England. *Geomorphology*, 179: 168-185.

Moreno-Casasola, P. & Rojas, E. (2005). Manejo integral de la zona costera. INECOL, Ciudad de México. 30 pp.

Mulder, J.; Hommes, S. & Horstman, E. (2011). Implementation of coastal erosion management in the Netherlands. *Ocean & Coastal Management*, 54: 888-897.

Murali, R.; Ankita, M.; Amrita, S. & Vethamony, P. (2013). Coastal vulnerability assessment of Puducherry coast, India, using the analytical hierarchical process. *Natural hazards and earth system sciences*, 13: 3291-3311.

Narayan, S.; Beck, M.; Reguero, B.; Losada, I.; Van Wesenbeeck, B.; Pontee, N. & Burks-Copes, K. (2016). The effectiveness, costs and coastal protection benefits of natural and nature-based defences. *PloS one*, 11(5).

National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA (2017). El Niño/Southern Oscillation (ENSO) diagnostic discussion. Consultado en: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_mar2017/ensodisc.pdf

Orford, J.; Forbes, D. & Jennings, S. (2002). Organisational controls, typologies and time scales of paraglacial gravel-dominated coastal systems. *Geomorphology*, 48(1-3), 51-85.

Paskoff, R. (2010). Geomorfología de la costa de Chile. En J. Díaz-Naveas y J. Frutos (Eds.), *Geología marina de Chile* (pp. 76-79). Valparaíso: Comité Oceanográfico Nacional de Chile, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile.

Paneque, R. & Finkl, C. (2020). Erosion of Carbonate Beaches on the Northeastern Coast of Cuba. *Journal of Coastal Research*, 36(2), 339-352.

Poate, T.; Masselink, G.; Davidson, M.; McCall, R.; Russell, P. & Turner, I. (2013). High frequency in-situ field measurements of morphological response on a fine gravel beach during energetic wave conditions. *Marine Geology*, 342, 1–13. <http://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.05.009>

Portal, B. (2012). Efectos del Impacto Ambiental Causado por el Turismo Social en el Borde Costero. Cartagena. V Región-Chile.

Pranzini, E.; Anfuso, G. & Botero, C. (2018). Nourishing tourist beaches. In *Beach Management Tools-Concepts, Methodologies and Case Studies* (pp. 293-317). Springer, Cham.

Quezada, M. (2007). Estudio de erosión costera y regeneración de Espacios litorales. Una aplicación en playa el Papagayo, Quintero. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Oceánico, Universidad de Valparaíso.

Rangel, N. & Anfuso, G. (2011). Coastal storm characterization and morphological impacts on sandy coasts. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2011, 36(15).

Rangel, N.; Anfuso, G. & Williams, A. (2015). Coastal erosion along the Caribbean coast of Colombia: Magnitudes, causes and management. *Ocean & Coastal Management*, 114: 129-144.

Rangel, N.; Williams, A.; Ergin, A.; Anfuso, G.; Micallef, A. & Pranzini, E. (2019). Coastal Research Library Coastal Scenery. DOI: 10.1007/978-3-319-78878-4_7

Robertson, W.; Zhang, K. & Whitman, D. (2007). Hurricane-induced beach change derived from airborne laser measurements near Panama City, Florida. *Marine Geology*, 237(3-4), 191-205.

Roelvink, D.; Reniers, A.; Van Dongeren, A.; De Vries, J.; McCall, R. & Lescinski, J. (2009). Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal engineering*, 56(11-12), 1133-1152.

Schnack, E.; Pousa, J. & Isla, F. (1998). Erosive processes on the sandy coastline of Argentina. *Vechtaer Studien zur Angewandten Geographie und Regionalwissenschaft*, 20, 133-136.

Sepúlveda, S.; Astroza, M.; Kausel, E.; Campos, J.; Casasi, A.; Rebolledo, S. & Verdugo, R. (2008). New Findings on the 1958 Las Melosas Earthquake Sequence, Central Chile: Implications for Seismic Hazard Related to Shallow Crustal Earthquakes in Subduction Zones. *Journal of Earthquake Engineering*, v. 12, pp. 432–455.

Servicio Nacional de Turismo-SERNATUR. (2018). Noticias, comunicados de prensa: Dan a conocer movimiento turístico interno de la Región de Valparaíso, temporada alta 2016.

- Shepard, F. (1963). *Submarine Geology*. Second Edition. Harper and Row, New York. 557 pp.
- Short, A. & Hogan, C. (1994). Rip currents and beach hazards: their impact on public safety and implications for coastal management. *Journal of Coastal Research*, 12: 197-209.
- Short, A. (1999). *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. John Wiley & Sons, Chichester. 379 pp.
- Short, A. & Woodroffe, C. (2009). *The coast of Australia*. Cambridge University Press.
- Silva, R.; Martínez, M.; Hesp, P.; Catalan, P.; Osorio, A.; Martell, R.; Fossati, M.; Miot da Silva, G.; Mariño-Tapia, I.; Pereira, P.; Cienfuegos, R.; Klein, A. & Govaere, G. (2014). Present and future challenges of coastal erosion in Latin America. In: Silva, R., and Strusińska-Correia, A. (eds.), *Coastal Erosion and Management along Developing Coasts: Selected Cases*. *Journal of Coastal Research*, Special Issue, No. 71, pp. 1–16. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.
- Soto, M. (2003). Análisis de los cambios asociados al oleaje en una ensenada de la zona central de Chile. *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*, 38: 135-144.
- Soto, M. (2005). Aspectos morfodinámicos de ensenadas desalineadas del litoral de Chile central. Pichilemu y Caleta Los Piures. *Revista Geografía Norte Grande*, 33: 73-87.
- Soto, M. & Arriagada, J. (2007). Características dinámicas de ensenadas estructurales de Chile central, Maitencillo, Cachagua y Papudo, Región de Valparaíso. *Revista de Geografía Norte Grande*, 38: 99-112.
- Strahler, A. & Strahler A. (1989). *Geografía Física*. Tercera Edición. Ediciones Omega, Barcelona. 550 pp.
- Tarback, E. & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra: una introducción a la Geología Física*. Octava Edición. Pearson, Madrid. 736 pp.
- Thieler E. & Danforth W. (1994): “Historical shoreline mapping (1): improving techniques and reducing positioning errors“. *J. Coastal Research*, 10 (3), pp. 549-563.

- Thieler, E.; Himmelstoss, E.; Zichichi, J. & Ayhan, E. (2009). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.
- Trask, P. (1932). Origin and environment of source sediments of petroleum. Gulf Publishing Company, Houston, Texas.
- Trenberth, K. (2001). El Niño Southern Oscillation (ENSO). En J. Steele, S. Thorpe, & K. K. Turekian, *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 815-827.
- Turki, I.; Medina, R.; Gonzalez, M.; & Coco, G. (2013). Natural variability of shoreline position: Observations at three pocket beaches. *Marine Geology*, 338: 76–89.
- Vicuña, P. (1987). *Indicadores geomorfológicos de la degradación antrópica en los campos de dunas antiguas de Chile central*. (Tesis de grado inédita). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Ugalde, D. (2018). Efecto de la expansión urbana sobre el estado de conservación de las dunas costeras de la Bahía de Cartagena, Región de Valparaíso. *Boletín electrónico de Geografía (BeGEO)*. Editorial: Instituto de Geografía UC, N° 6: 37 – 50.
- Wentworth, C. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30: 377-392.
- Werner, B. & Fink, T. (1993). Beach cusps as self-organized patterns. *Science* (New York, N.Y.), 260(5110), 968–971. <http://doi.org/10.1126/science.260.5110.968>
- Wesson, R.; Melnick, D.; Cisternas, M.; Moreno, M. & Ely, L. (2015). Vertical deformation through a complete seismic cycle at Isla Santa Maria, Chile. *Nature Geoscience*, 8(7), 547-551.
- Williams, A.; Leatherman, S. & Simmons, S. (1993). Beach Aesthetic Values; the South West Peninsula, UK. *Interdisciplinary discussions of costal research and coastal management issues and problems*, 240-250.

Williams, A. (2011). Definitions and typologies of coastal tourism destinations, *Disappearing Destinations: Climate change and future challenges for coastal tourism*, (eds.), Andrew Jones and Mike Phillips, 47-66, CABI, UK.

Williams, A.; Rangel, N.; Anfuso, G.; Cervantes, O. & Botero, C. (2016). Litter impacts on scenery and tourism on the Colombian north Caribbean coast. *Tourism Management*, 55, 209-224.

Winckler, P.; Contreras-López, M.; Campos-Caba, R.; Beyá, J. & Molina, M. (2017). El temporal del 8 de agosto de 2015 en las regiones de Valparaíso y Coquimbo, Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research (LAJAR)*, 45(4): 622 – 648. DOI: 10.3856/vol45-issue4-fulltext-1.

Winckler, P.; Contreras-López, M.; Vicuña, S.; Larraguibel, C.; Mora, J.; Esparza, C., ... Marinkovic, C. (2019a). *Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile. Informe de avance 2. Preparado para el Ministerio del Medio Ambiente*. (Vol. 2). Disponible en: <http://basedigitaldelclima.mma.gob.cl/study/risk>

Winckler, P.; Contreras-López, M. y Castilla, J. (2019b). El cambio climático en el océano y en la zona costera y el océano de Chile. En “El cambio climático en Chile”. Eds. Vicuña et al. Ediciones UC.

Woodroffe, C. (2003). *Coasts: form process and evolution*. Cambridge University Press.

Wright, L.; Thorn, B. & Chappell, J. (1978). Morphodynamic variability of high energy beaches. *Coastal Engineering*, 68: 1180-1194.

Wright, L. & Short, A. (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine geology*, 56(1-4), 93-118.

Yasso, W. (1965). Plan geometry of hedland-bay beaches. *Journal Geology*, 73: 702-714.

Zhang, K.; Huang, W.; Douglas, B. & Leatherman, S. (2002). Shoreline position variability and long-term trend analysis. *Shore and Beach*, 70(2), 31-35.

ANEXOS

1. Esquema de evaluación de playas, certificación Bandera Azul

Comité Pro-BAE Playa _____.			
Para el año _____.			
Aspectos a evaluar	Actividad	Responsable	Nivel de cumplimiento
A. Calidad del Agua de Mar (35%)		SISS	
Este parámetro busca que la calidad del agua del mar sea apta para la natación y cumpla con los criterios que solicita el Programa Bandera Azul Ecológica.	Velar para que la SEREMI de Salud de la región de Valparaíso o la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) realice los análisis necesarios para evaluar la calidad del agua de mar y solicitar los reportes de análisis realizados.		
B. Calidad del Agua para consumo (15%)		ESVAL S.A.	
Este parámetro comprende asegurar que el agua de consumo en la comunidad costera sea de calidad potable.	Coordinar con el ente operador del acueducto para que realice los análisis necesarios para evaluar la calidad de agua para el consumo y procurar que el acueducto participe del Programa Sello de Calidad Sanitaria		
	Solicitar al SEREMI de Salud de la región de		

	Valparaíso los análisis que realiza, para la evaluación de la calidad del agua de consumo		
	Coordinar con los organismos competentes para que brinden charlas sobre la importancia de contar con agua potable en la playa.		
C. Calidad Sanitaria de la Costa (30%)		Municipio	
c 1 Desechos inorgánicos			
Este parámetro busca que la playa (banda arenosa) este libre de desechos no biodegradables (plásticos, vidrios, latas etc..)	Coordinar en la comunidad la realización de campañas de limpieza de los desechos Inorgánicos en la playa.		
	Implementar proyectos de manejo adecuado de los desechos sólidos en la playa		
c 2 Presencia de basureros			
Con este parámetro se pretende dotar de suficientes recipientes para la recolección de los desechos inorgánicos en la playa.	Colocar los suficientes recolectores para los desechos sólidos, necesario para la playa y concientizar a la comunidad costera sobre la importancia de su		

	debido protección y manejo.		
Aspectos a evaluar	Actividad	Responsable	Fecha límite
c 3 Vertidos industriales		MMA y SISS	
Este parámetro procura identificar y controlar la existencia de descarga de aguas residuales, sin tratar de las industrias aledañas a la playa.	Realizar inspecciones a los alrededores de la playa y verificar si existen descargas de agua industriales al mar.		
c 4 Descargas de Aguas Domesticas			
Este parámetro busca controlar que no se realicen descargas de aguas residuales domésticas a la playa, sin previo tratamiento.	Realizar inspecciones alrededor de la playa para verificar si hay descargas de agua domesticas al mar, de existir, solicitar al Laboratorio Nacional de Aguas los análisis para la evaluación de los descargas y si es necesario realizar las denuncia correspondientes.		
	Solicitar colaboración a las instituciones correspondientes para solucionar estos problemas.		

D. Educación Ambiental (10%)		Municipio	
Este parámetro promueve el fortalecimiento de las actividades en Pro de la educación ambiental.	Charlas a los niños de la escuela sobre temas diversos: protección del mar, la costa y su entorno, manejo adecuado de desechos y otros.		
	Charlas a la comunidad sobre importancia de los procesos de reforestación y del eco-turismo.		
	Charlas para dar a conocer el PBAE.		
	Realizar campañas de reforestación		
	Coordinar campañas de lucha contra el dengue		
	Implementar un programa de manejo adecuado de desechos sólidos		
	Charlas sobre la importancia de la vinculación con las otras categorías BAE.		
E. Seguridad y Administración (10%)		Municipio, Armada de Chile y ONGs	
e 1 Seguridad			
Este parámetro pretende garantizar que las playas sean seguras y que cuenten con la información de seguridad	Colocación de rótulos informativos de corrientes peligrosas, zonas rocosas y cuidados en general en la playa		

y de prevención necesarias, para evitar accidente y percances			
	Colocación de rótulos que informen a los visitantes sobre los servicios de emergencia disponibles en la playa.		
Aspectos a evaluar	Actividad	Responsable	Fecha límite
e 2 Administración		Municipio y organizaciones medioambientales	
Este parámetro busca que se de un adecuado cumplimiento de los parámetros de evaluación del programa en la playa.	Colocación de rótulos de temas diversos como mensajes ambientales y protección de la riqueza natural.		
	Presentación del Plan de trabajo anual.		
	Presentación el libro de actas actualizado y completo		
	Presentación del informe final.		
	Acto de iza de bandera.		