

DINÁMICA COSTERA INTRAANUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS Y PATRONES MORFOSEDIMENTARIOS DE LA BAHÍA DE CONCÓN, CHILE CENTRAL

Tesis para optar al título de Geólogo

MAXIMILIANO CRISTÓBAL PARRAO BARRERA

Profesor Guía: Raúl Ugalde

Profesor Co-Guía: Idania Briceño

Estudio financiado por proyecto START UP Espacios Litorales I2018003

Santiago de Chile

2021

RESUMEN

La Bahía de Concón en la Región de Valparaíso, Chile Central, es un lugar de especial interés para comprender la influencia de agentes oceánicos, atmosféricos y antrópicos en la dinámica del borde costero. Si bien se han realizado estudios al respecto, aún no queda esclarecido la evolución morfológica del área costera y cómo esta responde a fenómenos naturales, tales como oleaje, su variación estacional y los principales patrones morfosedimentarios controladores. Se realizaron levantamientos de la línea de costa con GPS diferencial según las fechas de revisita del satélite Landsat 8. Además, se extrajo en forma automática la línea de costa con SHOREX, utilizando imágenes capturadas del mismo satélite donde se procesaron imágenes, desde enero de 2016 a diciembre de 2018. Se colectaron y analizaron muestras sedimentológicas por temporada en perfiles transversales según sub-ambientes, para tamizado y construcción de curvas granulométricas. Asimismo, se recopilaron datos oceanográficos de altura de mareas, oleaje y velocidad de viento para las fechas de revisita del satélite Landsat 8. A partir de estos elementos se calcularon los anchos y tasas de erosión-acreción para la playa. Los resultados muestran que la línea de costa varía a lo largo de la costa influenciado principalmente por el oleaje, a excepción del sector de la desembocadura del Río Aconcagua, el cual obedece un régimen mixto de oleaje y fluvial. Por lo general, la línea de costa avanza hacia el continente en invierno y retrocede hacia el mar en verano y otoño. La playa presenta distintos anchos y tasas de erosión – acreción que difieren a lo largo de la costa, en la zona sur posee valores de ancho entre 15 m a 30 m con tasas de erosión de 3 m a 9 m, la desembocadura tiene anchos de 45 m a 100 m con tasas de acreción entre 0.5 m a 29 m, el sector centro y norte posee valores de ancho de 45 m a 130 m con tasas de acreción variables entre 0.5 m a 29 m. La distribución granulométrica varía por sub-ambiente en el tiempo, en el foreshore pasa de arena fina a arena media en invierno, en cambio, para el backshore y base del médano varían irregularmente entre arena fina y media. Se identifican bancos de gravas distribuidas entre el foreshore y el backshore a 500 m al norte de la desembocadura del Río Aconcagua hasta 2 km. Se propone que, debido a la dirección y sentido NE preferencial del oleaje, traslada y deposita el sedimento de playa desde el sur hacia el norte de esta por transferencia por deriva litoral.

ABSTRACT

The Concón Bay, located in the Valparaíso Region, Central Chile, is a place of special interest to understand the influence of oceanic, atmospheric and anthropic agents in the coastal dynamics. Although studies have been carried out in this regard, the morphological evolution of the coastal area and how it responds to natural phenomena, such as waves, its seasonal variation and the main controlling morphosedimentary patterns, has not yet been clarified. Survey studies were carried out with a differential GPS according to the revisit dates of the Landsat 8 satellite. In addition, the shoreline was automatically extracted with SHOREX, using images captured from the same satellite, considering data from January 2016 to December 2018. Sedimentological samples were collected and analyzed by season in cross-sectional profiles according to sub-environments, for sieving and construction of granulometric curves. In addition, oceanographic data for tidal and wave heights, and wind speeds were collected for the Landsat 8 satellite review dates. From these elements, the widths and erosion-accretion rates for the beach were calculated. The results show that the coastline varies along the coast mainly influenced by the waves, an exception to the sector of the mouth of the Aconcagua River, which obeys a mixed regime of waves and fluvial. Generally, the coastline advances towards the mainland in winter and recedes towards the sea in summer and fall. The beach has different widths and erosion-accretion rates that differ along the coast, in the southern zone it has width values between 15 m to 30 m with erosion rates of 3 m to 9 m, the mouth has widths of 45 m 100 m with accretion rates between 0.5 m to 29 m, the central and northern sectors have width values of 45 m to 130 m with variable accretion rates between 0.5 m to 29 m. The granulometric distribution varies by sub-environment in time, in the foreshore it goes from fine sand to medium sand in winter, on the other hand, for the backshore and base of the dune they vary irregularly between fine and medium sand. Gravel banks distributed between the foreshore and the backshore are identified 500 m north of the mouth of the Aconcagua River up to 2 km. It is proposed that, due to the direction and preferential NE direction of the waves, it moves and deposits the beach sediment from the south to the north of the beach by transfer due to littoral drift.

SOLO USO ACADÉMICO

*Ciudad de estrellas,
¿Brillas sólo para mí?
Ciudad de estrellas,
Hay tanto que no puedo ver,
¿Quién sabe?
¿Será el comienzo de algo nuevo y maravilloso?
O un sueño más...
Que no pueda realizar.
Ciudad de estrellas, La La Land. - 2016*

Índice General

1.	Introducción	1
1.1.	Formulación del Problema	2
1.2.	Hipótesis.....	3
1.3.	Objetivos	4
1.3.1.	Objetivo general	4
1.3.2.	Objetivos específicos.....	4
1.4.	Caracterización del área de estudio	4
1.4.1.	Ubicación del área de estudio y vías de acceso.....	4
1.4.2.	Caracterización climática	6
2.	Marco Geológico.....	8
2.1.	Unidades No Estratificadas	8
2.2.	Unidades Estratificadas	9
2.3.	Unidades no consolidadas	10
2.4.	Geomorfología	12
2.4.1.	Formas marinas	12
2.4.2.	Formas fluviomarinas.....	13
2.4.3.	Formas fluviales	13
2.4.4.	Formas eólicas.....	14
2.4.5.	Formas artificiales	14
3.	Metodologías.....	16
3.1.	Datos oceanográficos	16
3.2.	Levantamiento de línea de costa	16
3.3.	Determinación del ancho de la costa.....	19
3.4.	Análisis de los perfiles de playa.....	19
3.5.	Determinación de zonas de erosión y acreción	21
3.6.	Análisis sedimentológico de playa	21
4.	Resultados	23
4.1.	Variabilidad de la línea de Costa.....	23
4.1.1.	Líneas de Costa con SHOREX.....	23
4.1.2.	Líneas de costa con GPS diferencial	59
4.1.3.	Ancho de la Costa	61
4.1.4.	Perfiles de elevación.....	62

4.1.5. Zonas de erosión y acreción	63
4.2. Granulometría	65
4.3. Agentes dinámicos	95
5. Discusiones	100
5.1. Variabilidad de la Línea de Costa	100
5.2. Influencia de los Agentes Dinámicos	105
5.3. Distribución Granulométrica	107
6. Conclusiones	110
6.1. Recomendaciones	112
7. Bibliografía	113

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación del área de estudio. A (izquierda): Contexto regional, Región de Valparaíso. B: Contexto local, Bahía de Concón (Imagen Landsat 8, fecha: 22/dic./2018). El recuadro rojo marca la playa estudiada.	5
Figura 2. Vías de acceso al área de estudio, desde el sur. Imagen satelital (Landsat 8, fecha: 22/dic./2018).	6
Figura 3. Mapa litológico del área de estudio y sus alrededores, en recuadro rojo se ubica el área de estudio. Los alrededores lo componen principalmente rocas intrusivas y sedimentarias. En cambio, dentro del área de estudio se encuentran depósitos de sedimentos de origen eólico, marino y fluvial. Modificado de Rivano et al. (1993).	11
Figura 4. Mapa geomorfológico del área de estudio. Principales formas: marinas, fluviomarinas, fluviales, eólicas y artificiales. Imagen base: julio de 2019, Landsat 8.	15
Figura 5. Imagen de la zona sur del área de estudio donde se levantó la línea de costa con GPS diferencial (Landsat 8, fecha imagen: 26/07/2019).	17
Figura 6. Diagrama de procesamiento SHOREX modificado de Palomar-Vázquez et al. (2018). A la izquierda con letra A, primera etapa de descarga de imágenes satelitales. En el centro con letra B, segunda etapa de estructuración y georreferenciación. A la derecha con letra C, tercera etapa de procesado y extracción de la línea de costa.	18
Figura 7. Ubicación de perfiles de elevación (P7 y P8) y sedimentológicos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 y P8).	20

Figura 8. Líneas de costa con SHOREX. El área de estudio se subdivide en nueve polígonos para una mejor resolución espacial, escala 1:5.000, zonas A y B (norte), zonas C, D y E (Centro-norte), zonas F, G y H (Centro-sur), zona I (sur).....	24
Figura 9. Figuras 9-A y 9-B. Líneas de costa con SHOREX para el año 2017, sector norte, zonas A y B.....	30
Figura 10. Figuras 10-A y 10-B: Líneas de costa con SHOREX para el año 2018, sector norte, zonas A y B.....	35
Figura 11. Figuras 11-A y 11-B. Líneas de costa con SHOREX de la temporada de verano para los años 2016, 2017 y 2018, sector norte, zonas A y B.....	40
Figura 12. Figuras 12-A y 12-B: Líneas de costa con SHOREX de la temporada de otoño para los años 2016, 2017 y 2018, sector norte, zonas A y B.....	45
Figura 13. Figuras 13-A y 13-B: Líneas de costa con SHOREX de la temporada de invierno para los años 2016, 2017 y 2018, sector norte, zonas A y B.....	50
Figura 14. Figuras 14-A y 14-B: Líneas de costa con SHOREX de la temporada de primavera para los años 2016, 2017 y 2018, sector norte, zonas A y B.....	55
Figura 15. Líneas de costa con GPS diferencial para verano de 2018 a primavera de 2019. El área de estudio correspondiente a la zona sur se subdivide en tres polígonos, zona G (norte), H (centro) e I (sur).....	59
Figura 16. Promedios de los anchos de la Playa de Concón de 2016 a 2019, calculados a partir de las líneas de costas SHOREX y GPS diferencial.....	61
Figura 17. Perfil 7 de elevación con sub-ambientes de playa. El criterio para delimitar los sub-ambientes es por los cambios de pendientes de Arche (2010).....	62
Figura 18. Perfil 7 de elevación, fechas: 28/03/2019, 26/07/2019 y 11/09/2019.....	62
Figura 19. Perfil 8 de elevación, fechas: 28/03/2019, 26/07/2019 y 11/09/2019.....	63
Figura 20. Zonas de erosión y acreción de la Playa de Concón de 2016 a 2019, calculadas a partir de las líneas de costa SHOREX y GPS diferencial.....	64
Figura 21. Curvas de acumulación del perfil 1, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.....	67
Figura 22. Curvas de distribución del perfil 1, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.....	67
Figura 23. Curvas de acumulación del perfil 2, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.....	71
Figura 24. Curvas de distribución del perfil 2, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.....	71

Figura 25. Curvas de acumulación del perfil 3, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.	74
Figura 26. Curvas de distribución del perfil 3, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.	75
Figura 27. Curvas de acumulación del perfil 4, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.	78
Figura 28. Curvas de acumulación del perfil 4, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.	79
Figura 29. Curvas de acumulación del perfil 5, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.	82
Figura 30. Curvas de distribución del perfil 5, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.	83
Figura 31. Curvas de acumulación del perfil 6, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.	86
Figura 32. Curvas de distribución del perfil 6, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.	87
Figura 33. Curvas de acumulación del perfil 7, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.	90
Figura 34. Curvas de distribución del perfil 7, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.	90
Figura 35. Curvas de acumulación del perfil 8, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.	92
Figura 36. Curvas de distribución del perfil 8, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.	93
Figura 37. Avance de línea de costa hacia el continente (C) y retroceso hacia el mar (M) vs altura de oleaje, marea y velocidad de viento entre los años 2016 a 2019. El valor pico de la altura del oleaje ocurre en julio de 2017 (C) y valor mínimo en mayo de 2016 (M). En cambio, el valor pico de la altura de la marea ocurre en junio de 2016 (C) y el valor mínimo en septiembre de 2017 (C). Para la velocidad del viento, el valor pico ocurre en enero (M), noviembre (C) de 2017 y julio, octubre de 2018 (C), el valor mínimo en mayo de 2016 (M).	97
Figura 38. Avance de línea de costa hacia el continente (C) y retroceso hacia el mar (M) subdividida por estaciones del año vs altura de oleaje, marea y velocidad de viento entre los años 2016 a 2019. La línea de costa tiende avanzar al continente (C) en invierno (excepto el 8/sept./2018), retrocede hacia el mar en otoño (excepto el 19/may./2018) y la línea de costa avanza y retrocede irregularmente tanto en verano como primavera.	98
Figura 39. Avance de línea de costa hacia el continente (C) y retroceso hacia el mar (M) subdividida por estaciones del año vs altura de oleaje, marea y velocidad de viento subdividida por estaciones del año, entre los años 2016 a 2019. La línea de costa generalmente avanza hacia el continente cuando la altura del oleaje es mayor o igual a 3m y retrocede hacia el mar cuando la altura del oleaje es menor o igual a 2m. Altura del oleaje entre 2 a 3m la línea de costa puede tanto avanzar como retroceder. Aparentemente, el avance y retroceso de la línea de costa no guarda relación con la altura de la marea y la velocidad del viento.....	99

Índice de Tablas

Tabla 1. Granulometría del perfil 1, desde diciembre de 2018 a julio 2019.	68
Tabla 2. Granulometría del perfil 2, desde diciembre de 2018 a julio 2019.	72
Tabla 3. Granulometría del perfil 3, desde diciembre de 2018 a julio 2019.	76
Tabla 4. Granulometría del perfil 4, desde diciembre de 2018 a julio 2019.	80
Tabla 5. Granulometría del perfil 5, desde diciembre de 2018 a julio 2019.	84
Tabla 6. Granulometría del perfil 6, desde diciembre de 2018 a julio 2019.	88
Tabla 7. Granulometría del perfil 7, desde diciembre de 2018 a julio 2019.	91
Tabla 8. Granulometría del perfil 8, desde diciembre de 2018 a julio 2019.	94

1. Introducción

El análisis de la dinámica costera ha tomado gran importancia en los últimos años debido a la evidencia del aumento en el nivel del mar y el aumento de la intensidad de las marejadas (Harley et al., 2006). Numerosos estudios (Al Hatrushi, 2013; Umar et al., 2013; Jiang et al., 2016; Sutikno et al., 2017; Alhuin & Niemeyer, 2019) proponen metodologías para el monitoreo del cambio de la línea de costa mediante teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Algunos de los métodos de extracción de líneas de costa más utilizados son las técnicas de clasificación no supervisada (Guariglia et al., 2006), el índice de diferencia de agua normalizado (NDWI) (Zheng et al., 2011), las técnicas de filtrado morfológico (Pardo-Pascual et al., 2012), la transformación Wavelet (Yu et al., 2011), el método de contorno activo (Schmitt et al., 2015), los métodos basados en algoritmos genéticos (Yousef & Iftekharuddin, 2014) y los métodos de clasificación difusa orientada a objeto (Bayram et al., 2008; Bayram et al., 2013; Bayram et al., 2015). Todos estos métodos ofrecen buenos resultados, demostrando la capacidad de la información satelital en el análisis de la dinámica litoral. Una vez extraídas y digitalizadas las líneas de costa, diferentes autores (Cabezas-Rabadán et al., 2017; Martínez et al., 2018; Esmail et al., 2019) utilizan la aplicación Digital Shoreline Analysis System (DSAS) desarrollada por el United States Geological Survey (USGS) para calcular las estadísticas de la tasa de cambio de la línea de costa.

Las playas son un recurso esencial de cualquier país costero. En primer lugar, juegan un papel importante en la defensa de las costas, debido a que su estructura morfológica actúa como disipador de la energía del oleaje (Carter, 2013). En segundo lugar, posee un interés medioambiental, ya que, su condición de frontera entre el mundo continental y el oceánico define hábitats singulares y específicos en los que se desarrollan ecosistemas únicos (Brown & McLachlan, 2010). El tercer factor que otorga interés a las playas es su condición clara de recurso social y económico, ya que se trata de entornos sumamente apreciados por la sociedad que son explotados con un uso turístico que en muchos casos conforma el motor económico de la zona (Alexandrakis et al., 2015). Estos entornos son muy dinámicos o cambiantes debido al constante embate del oleaje y los cambios en el nivel del mar asociados a la marea

y a los efectos del cambio climático (Brown & McLachlan, 2002; Feagin et al., 2005; Schlacher et al., 2008; Defeo et al., 2009).

Las áreas costeras son dinámicas a través del tiempo, la retroalimentación entre la morfología costera y la atenuación de las olas determina el estado de equilibrio a largo plazo (Trenhaile, 1999, 2010). Las costas rocosas y arenosas han experimentado variaciones en el clima junto al nivel del mar durante los últimos millones de años que han alterado la extensión de los dominios de erosión marina y subaérea con cambios conducidos en las alturas de las mareas, frecuencia e intensidad de las tormentas, regímenes de ondas, el tipo y la eficacia de los procesos de meteorización y la actividad bioerosiva (Dickson et al., 2013).

La importancia de analizar la sedimentología de las playas radica en que, según Abdulla et al. (2015), dependiendo de la condición de las olas, la pendiente de la playa y el grado de exposición a las olas, el material litoral se somete a una clasificación continua. La clasificación se realiza de tal manera que los sedimentos gruesos se encuentran generalmente en zonas donde se disipa la energía máxima de las olas y los materiales finos encuentran su lugar en áreas protegidas por estos sedimentos.

Abdulla et al. (2015) afirma que el tamaño de los sedimentos de la playa varía a lo largo de la costa y también según las condiciones climáticas y de oleaje presentes. Las tormentas y oleaje causan cambios en la pendiente de la playa, las olas de mayor altura provocan aumentos en las pendientes, lo que implica un aumento en el tamaño de los sedimentos costeros.

1.1. Formulación del Problema

En Chile no existe un monitoreo continuo a escala semanal de los cambios que ocurren en la línea de costa producto de eventos meteorológicos y/o intervenciones antrópicas en el borde costero. Los estudios existentes (Martínez, 2007; Villagrán, 2007; Martínez & Salinas, 2009; Martínez et al., 2018) sólo han desarrollado análisis locales en diferentes playas ocupando imágenes satelitales de Google Earth y fotografías aéreas históricas para estudiar la evolución de línea de costa en relación con eventos meteorológicos extremos. Estos estudios se han

realizado en escala temporal de décadas, con buenos resultados, pero no replicables a escala regional.

Actualmente, se necesita información continua que permita el análisis de la variabilidad de la posición de la línea de costa en diferentes escalas temporales, que contribuya en el análisis de la dinámica, los cambios cíclicos y cómo varía el borde costero ante eventos puntuales como marejadas, tormentas, tsunamis, la acción antrópica, entre otros. Esta información servirá de base para la generación de políticas de uso de la costa, así como para la gestión local de los recursos costeros.

Surge entonces, la necesidad de estudiar la costa de la Bahía de Concón con herramientas de teledetección y datos de campo. Estos resultados pueden contribuir a los conocimientos geológicos, morfodinámicos y morfosedimentarios del área de estudio, requeridos para la resolución de problemas de ordenamiento costero como la presión demográfica que está presentando el litoral de Concón.

1.2. Hipótesis

La hipótesis principal del estudio toma en consideración el estado actual de los conocimientos morfodinámicos y morfosedimentarios de la playa de la Bahía de Concón, la cual corresponde a:

La morfodinámica de la playa de la Bahía de Concón no ha sido acabadamente descrita en Chile y las interpretaciones realizadas previamente no serían suficientemente integradoras de los elementos dinámicos que interactúan en el litoral.

De lo anterior se desprende la siguiente hipótesis secundaria:

La playa de la Bahía de Concón presenta variaciones en las tasas de erosión-acreción, afectando directamente la morfología y sedimentación de esta playa.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar la dinámica costera de la Bahía de Concón con imágenes satelitales y datos de campo, para establecer los cambios en su morfología entre los años 2016-2019.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Identificar los principales agentes dinámicos que actúan en el litoral de la Bahía de Concón.
- b) Determinar procesos y factores que intervienen en el desarrollo y evolución del perfil litoral en la Bahía de Concón.
- c) Analizar los cambios en la posición de la línea de costa.
- d) Calcular las tasas de cambio de la línea de costa, estimando la erosión y acreción.

1.4. Caracterización del área de estudio

1.4.1. Ubicación del área de estudio y vías de acceso

El área de estudio se ubica en el litoral de la Región de Valparaíso. Específicamente, en la bahía de la ciudad de Concón, que está al norte de dicha ciudad y al sur de la localidad de Punta Ritoque (Figura 1). Dicha bahía contiene una playa de longitud cercana a los 10 km, también conocida como playa La Boca para el sector sur y playa Ritoque para el sector centro y norte. El sector sur se encuentra disectada por la desembocadura del Río Aconcagua, el cual pertenece a la cuenca del mismo nombre, el sector centro posee al oeste una isla arrecifal conocida como Isla de Concón, al este un humedal conocido por Humedal de Mantagua y hacia el noreste un campo dunar también conocido como dunas de Ritoque.

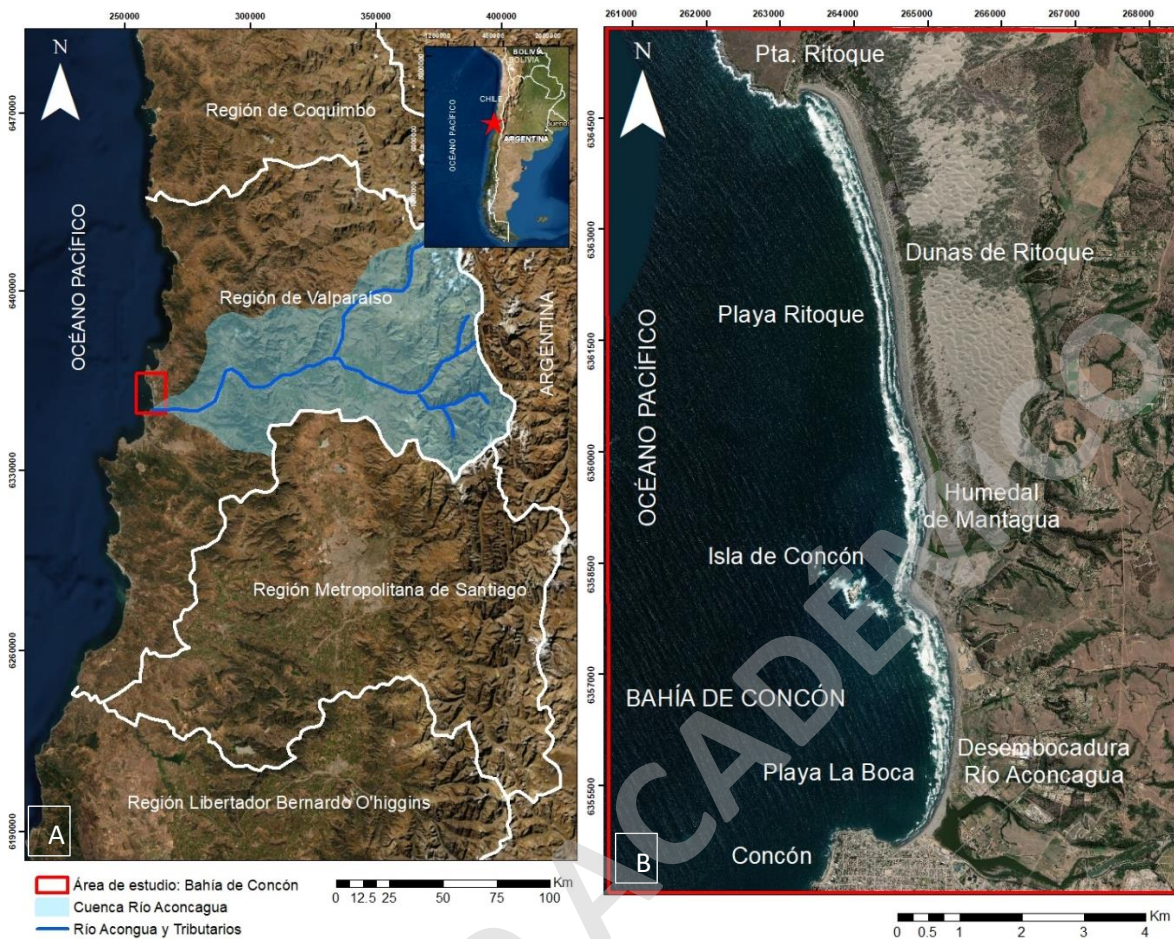


Figura 1. Ubicación del área de estudio. A (izquierda): Contexto regional, Región de Valparaíso. B: Contexto local, Bahía de Concón (Imagen Landsat 8, fecha: 22/dic./2018). El recuadro rojo marca la playa estudiada.

Se accede al área de estudio desde Santiago por la Ruta 68 hacia Valparaíso y posteriormente por la Ruta 64, a través de la rotonda de Concón, se debe dirigir hacia la costa antes del cruce del antiguo ferrocarril (Figura 2).

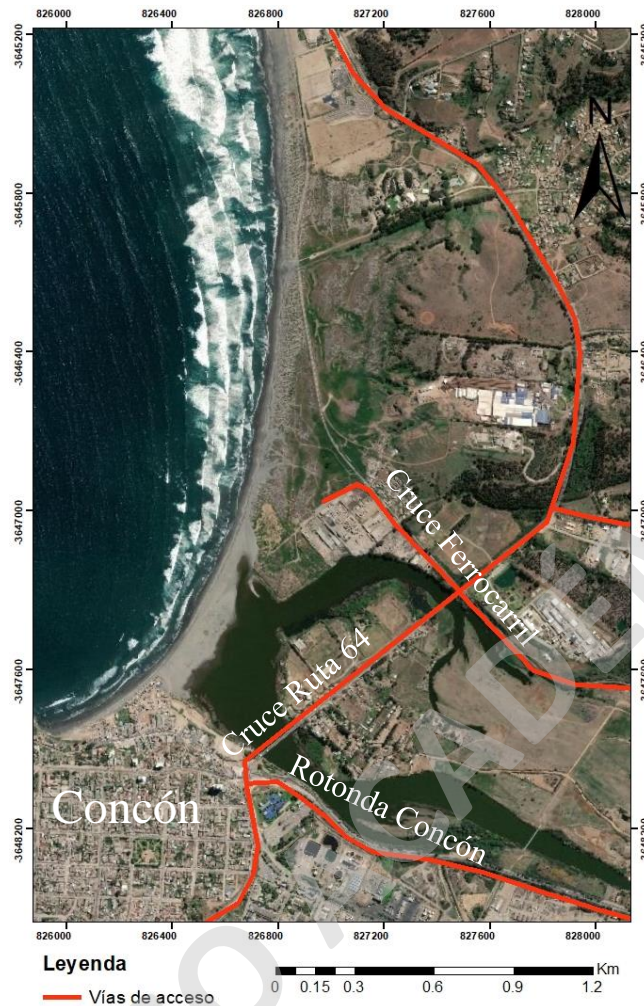


Figura 2. Vías de acceso al área de estudio, desde el sur. Imagen satelital (Landsat 8, fecha: 22/dic./2018).

1.4.2. Caracterización climática

Desde el punto de vista climático, la región de Valparaíso posee un clima templado mediterráneo, presentando preferentemente condiciones semiáridas (Béya et al., 2016). Tanto el Océano Pacífico como la corriente oceánica de Humboldt, condicionan en gran medida las direcciones predominantes de los vientos (NE y SE), todas de componente oceánico y portadoras de humedad (Martínez & Cortez, 2007). El carácter frío de la corriente de Humboldt determina la existencia permanente de bajas temperaturas cercanas a la costa, contribuyendo al descenso de las temperaturas continentales (ONEMI, 2008).

A nivel comunal, el clima de Concón corresponde a un clima templado cálido con lluvias invernales, estación seca prolongada y gran nubosidad presente en la costa e internándose a través de los valles. La temperatura media anual es de 14° C. Los registros de precipitaciones anuales son de 380 mm. La humedad relativa promedio anual del aire figura en torno al 80% (Gómez, 2017).

El régimen de olas en la Región de Valparaíso está influenciado por el Anticiclón del Pacífico, que genera vientos predominantes de S-SO durante el año (Beyá et al., 2016). En invierno, el desplazamiento hacia el norte del Anticiclón del Pacífico propicia el crecimiento de los sistemas de baja presión, lo que desencadena fuertes tormentas estacionales. La zona también se ve afectada por el casi continuo impacto de oleadas generadas de forma distante del SO-OSO, que constituyen una fuente permanente de energía para la dinámica costera (Beyá et al., 2016). Martínez (2001) clasifica el oleaje de la Bahía de Concón como de alta energía, debido a la frecuencia del oleaje que corresponde entre 8 a 12 segundos, con direcciones y sentidos preferenciales hacia el NE y E. Se clasifica como un entorno micromareal que presenta amplitud media de marea en torno a 1,7 m (SHOA, 1994). La altura máxima de las olas se registra entre las 8 y 12 horas, presentando un rango entre 0,5 a 2,5 m (Martínez, 2001).

En cuanto a la hidrología del área de estudio, el Río Aconcagua posee un caudal promedio variable que se estima en 40 m³/s (Martínez, 2001). Según Waylen & Caviedes (1990) el régimen hidrológico se caracteriza como nivo-pluvial que se ve incrementado bajo influencia de eventos ENSO (El Niño Oscilación del Sur). El caudal promedio histórico en el curso inferior del río (periodo 1939 - 2002, Estación Chacabuquito) es de 32,8 m³/s y para la estación pluviométrica más cercana (periodo 1939 - 2002, Estación Romeral) el caudal medio es de 50,7 m³/s (Fierro, 2004).

2. Marco Geológico

En el siguiente capítulo se describirán las principales formaciones y unidades geológicas presentes en el área de estudio y alrededores (Figura 3). A modo de ordenar la descripción se dividió en unidades no estratificadas, unidades estratificadas y unidades no consolidadas, que abarcan edades desde el Paleozoico al Holoceno.

2.1. Unidades No Estratificadas

Paleozoico - Jurásico Medio

- **Intrusivos:**

El área está formada por la Súper Unidad Mincha, compuesta de granodioritas, monzodioritas, sienogranitos y tonalitas (Rivano et al., 1985; Gana et al., 1996) que se extiende desde la desembocadura del Río Aconcagua hasta el punto Curaumilla en el sur, aflorando en franjas N-S en Concón (Muñoz-Cristi, 1971). Por lo tanto, los sedimentos de la mayoría de las playas están formados por arenas con minerales de feldespato y cuarzo (Vergara & Hickmann, 1982). Se detallan los intrusivos presentes en el área de estudio y sus alrededores.

Unidad Cochoa (Pzc): De edad paleozoica (320 Ma), aflora al sur del Río Aconcagua (Rivano et al., 1993). Se compone de tonalitas, granodioritas, monzogranitos y granitos de anfíbola y biotita, granitos, sienogranitos y pegmatitas de microclina, con inclusiones dioríticas a diorítico-cuarcíferas (Gana et al., 1996).

Unidad Puerto Oscuro (Jmi 4): De edad Jurásico Medio, corresponde a un cuerpo batolítico que se extiende desde Huentelauquén a Illapel y que en el área de estudio aflora al sur del Río Aconcagua y en Punta Ritoque (Rivano et al., 1985). Esta unidad se distingue por su color gris-verdoso y por la abundancia de minerales máficos (Rivano et al., 1985). Petrográficamente son dioritas cuarcíferas de piroxeno y/o anfíbol, monzodioritas cuarcíferas de biotita y gabros de piroxeno y olivino (Rivano & Sepúlveda, 1991).

Unidad Tranquila (Jmi 3): De edad Jurásico Medio, corresponde a plutones que afloran al este del área de estudio, específicamente al norte del Río Aconcagua (Rivano & Sepúlveda, 1991). Las rocas de esta unidad corresponden a sienogranitos y sienitas cuarcíferas (Rivano et al., 1985).

2.2. Unidades Estratificadas

Neógeno

- **Formación Horcón (Th):**

Thomas (1958) define esta formación como un conjunto de estratos compuestos por areniscas finas, limolitas y arcillolitas de colores claros. En el área de estudio se encuentra al sur del Río Aconcagua. El espesor estimado para la sucesión estratigráfica de la Formación Horcón es de 45 metros, el cual va desde sus estratos basales en contacto discordante con el basamento plutónico-metamórfico (Thomas, 1958; Álvarez, 1964), cuyos estratos superiores se encuentran en discordancia con las paleodunas suprayacentes. La Formación Horcón se le asigna una edad pliocena tardía, la cual se originó y depositó en un ambiente marino de plataforma, por ensambles faunísticos de vertebrados e invertebrados (Carrillo-Briceño et al., 2013).

- **Formación Confluencia (Tc):**

Rivano & Sepúlveda (1991) definen esta formación como una secuencia de estratos compuestos por gravas, arenas y limos semi-consolidados sin intercalaciones calcáreas, se encuentra al este del área de estudio, específicamente al norte del Río Aconcagua. Se ubican de manera discordante sobre rocas intrusivas paleozoicas, mesozoicas y volcánicas mesozoicas. Su espesor oscila entre los 50 y 100 metros. Subyacen a sedimentos eólicos y aluviales.

2.3. Unidades no consolidadas

Pleistoceno – Holoceno

- **Paleodunas (PQd):**

Se encuentran distribuidas principalmente en los alrededores del área de estudio, tanto al norte y al sur del Río Aconcagua. Según Thomas (1958) las paleodunas sobreyacen en contacto discordante a la Formación Horcón. Son sedimentos de origen eólico compuestos por arenas muy poco consolidadas y bien seleccionadas (Castro & Andrade, 1990; Paskoff et al., 2002). Su emplazamiento sugiere que han sido acumuladas bajo un régimen de vientos muy similar a la última década, con una componente predominante desde el suroeste (Giménez, 2012).

- **Depósitos litorales y eólicos (Qel):**

Sedimentos de playa compuestos por arena y grava bien redondeados, con estratificación cruzada predominante, incluye láminas arenosas conformadas por concentración de minerales férricos (Rivano et al., 1993). Las dunas activas están compuestas por arenas grises superficiales de buena selección con estratificación cruzada y ondulitas de viento. Presentan morfología de dunas transversales, que indican dirección del viento predominantemente en sentido NNE (Gana, 1996).

- **Depósitos fluviales y aluviales (Qac):**

Los sedimentos de fondo del curso fluvial del Río Aconcagua se identifican por zonas. En la ribera norte se encuentra un predominio de sedimentos tamaño arenas gruesas a finas e intercaladas con sedimento tamaño limo-arcilla, en la zona medio del estuario del Río Aconcagua predominan sedimentos tamaño arena media y arena fina. En la zona sur del estuario se identifican sedimentos tamaño arena fina intercalados con arena muy fina y limo-arcilla. En la zona de rompiente y de anteplaya se identifican sedimentos con rangos texturales de arena muy finas a arena media (Martínez y Cortez, 2007). El Río Aconcagua presenta un amplio desarrollo de terrazas fluviales, con hasta cuatro niveles de 80 metros de altitud, las cuales son coalescentes con las terrazas marinas hasta 9 kilómetros al interior desde la desembocadura (Gómez et al., 2017).

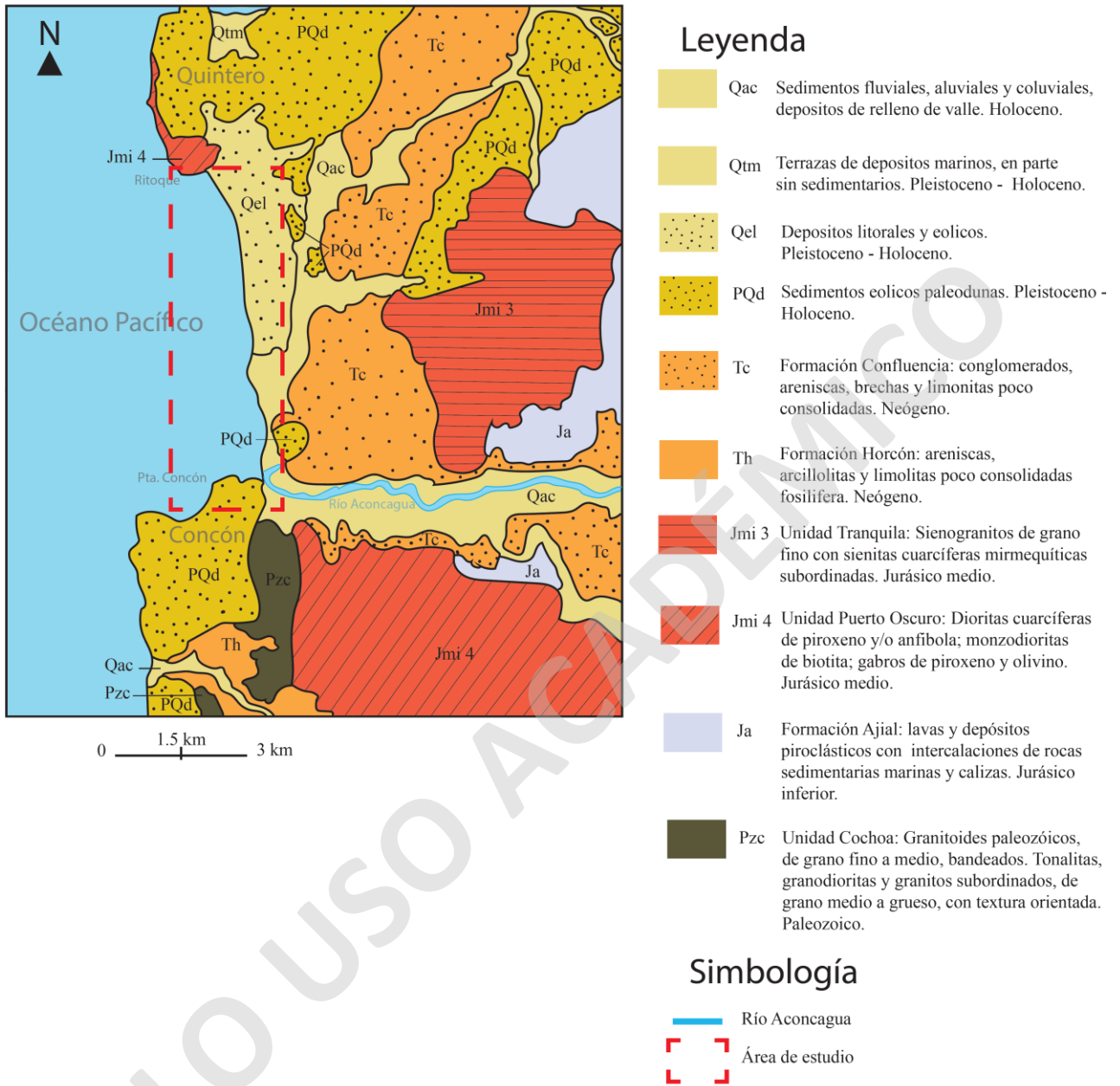


Figura 3. Mapa litológico del área de estudio y sus alrededores, en recuadro rojo se ubica el área de estudio. Los alrededores lo componen principalmente rocas intrusivas y sedimentarias. En cambio, dentro del área de estudio se encuentran depósitos de sedimentos de origen eólico, marino y fluvial. Modificado de Rivano et al. (1993).

2.4. Geomorfología

El área de estudio corresponde a una playa que se localiza sobre una topografía irregular, limitada hacia el sur por la Ciudad de Concón. Esta se encuentra situada sobre terrazas litorales recortadas por quebradas cubiertas de dunas y disectadas al sur por el Río Aconcagua. Hacia el este, está delimitada por cordones pertenecientes a la Cordillera de la Costa, al norte por acantilados rocosos costeros y al oeste por el Océano Pacífico (Giménez, 2012).

A continuación, se resumen las unidades geomorfológicas presentes (Figura 4):

2.4.1. Formas marinas

- **Costa rocosa:** Ubicada en los extremos norte y sur del área de estudio. Al norte marca el límite entre el mar y la plataforma litoral rocosa, al sur marca el límite entre el mar y las dunas urbanizadas.
- **Costa arenosa:** Ubicada a lo largo del área de estudio, con una longitud cercana a los 10 km, marca el límite entre el mar y la playa arenosa.
- **Plataforma litoral rocosa:** Ubicada al extremo norte del área de estudio, limitada al oeste en forma de acantilado por el mar y al este por paleodunas. El acantilado que bordea el mar presenta un perfil irregular con una plataforma litoral rocosa. Esta plataforma es lo suficientemente ancha y elevada (50 m.s.n.m) para que el acantilado contiguo pueda ser definido como estabilizado, presenta en su base evidencias de remoción de materiales asociado al embiste de las olas (Giménez, 2012).
- **Isla arrecifal:** Ubicada a 1 km de distancia perpendicular desde la costa hacia el mar. Corresponde a una punta rocosa de 4 km² de superficie, el cual es constantemente afectada por la erosión del oleaje (Giménez, 2012).

2.4.2. Formas fluviomarinas

- **Playa arenosa:** Corresponde a una franja de playa con orientación preferencial norte-sur, de longitud cercana a los 10 km. Limitada al norte por la plataforma litoral rocosa, al sur por dunas urbanizadas, al oeste por el mar y al este por paleodunas. La playa, al sur, se encuentra disectada de forma perpendicular por la desembocadura del Río Aconcagua. Según Martínez & Cortez (2007) esta playa se conforma de sedimentos tamaño grava y arena media a muy fina de origen marino y fluvial, presenta marcadas variaciones estacionales a su perfil, debido a la alternancia de marejadas invernales que las erosionan con períodos de sedimentación en primavera/verano. En ciclos prolongados de mayor intensidad del oleaje pierden sedimentos que son arrastrados hacia la playa submarina. La playa presenta bancos de gravas distribuidas irregularmente a lo largo de 1,5 km hacia el norte del estero del Río Aconcagua. Soto et al. (2011) identifica estas gravas como detritos y rodados originalmente transportados hacia el mar por el Río Aconcagua, que forman bancos de gravas en la playa por la tracción del oleaje.
- **Humedal:** Cuerpo de agua que se ubica en la zona central del área de estudio entre las paleodunas, con orientación norte-sur. Este humedal es alimentado por el Estero Mantagua que, durante los meses de invierno y en periodos lluviosos, se conecta con el mar (Iturriaga, 2013).
- **Terrazas fluviomarinas:** Ubicadas al este del área de estudio, limitadas al oeste por paleodunas y al sur por planicies urbanizadas. Corresponden a terrazas afectadas por abrasión marina y actualmente erosionadas por los esteros de Mantagua y Río Aconcagua (Cuevas, 2017).

2.4.3. Formas fluviales

- **Estuario meándrico:** Corresponden al Estero de Mantagua y Río Aconcagua, ubicados en la zona central y sur del área de estudio respectivamente. Disectan en

forma de meandro a las paleodunas presentes. En cuanto al sustrato son canales mixtos, que combina canales rocosos con aluviales (DGA, 2004).

- **Terrazas fluviales:** Ubicadas contiguas a los estuarios meándricos, Corresponden a terrazas agradacionales, construidas sobre el relleno del cauce (DGA, 2004).

2.4.4. Formas eólicas

- **Dunas:** Relacionadas con grandes depósitos eólicos de sedimentos finos tipo arena que provienen de la descomposición de rocas cristalinas, fueron transportadas por el viento desde la playa al sector continuo a ésta (Castro & Brignardello, 1997). Actualmente están estabilizadas o semiestabilizadas por la vegetación y las urbanizaciones (Giménez, 2012). Se encuentran sobre una terraza marina entre los 25 y 80 m.s.n.m. El campo dunario está influenciado principalmente por el viento, el cual está remodelando las arenas juntos con lluvias esporádicas, creando formas de erosión lineal (Cuevas, 2017). Los sectores de dunas que no han sido ocupados por urbanizaciones se encuentran en parte fijados por una cubierta de gramíneas o por un matorral bajo costero (Gómez, 2017).

2.4.5. Formas artificiales

- **Planicies urbanizadas:** Ubicadas entre el Estero de Mantagua y el Río Aconcagua, al este de la playa de la Bahía de Concón. Corresponden a suelos que han sido afectados por intervención antrópica, principalmente remodelados por obras públicas y privadas (Sánchez, 2019).
- **Dunas urbanizadas:** Ubicadas al extremo sur del área de estudio. Corresponden a paleodunas que subyacen bajo la intervención de obras públicas y privadas, limitadas al oeste por un acantilado costero a 80 m.s.n.m (Sánchez, 2019).

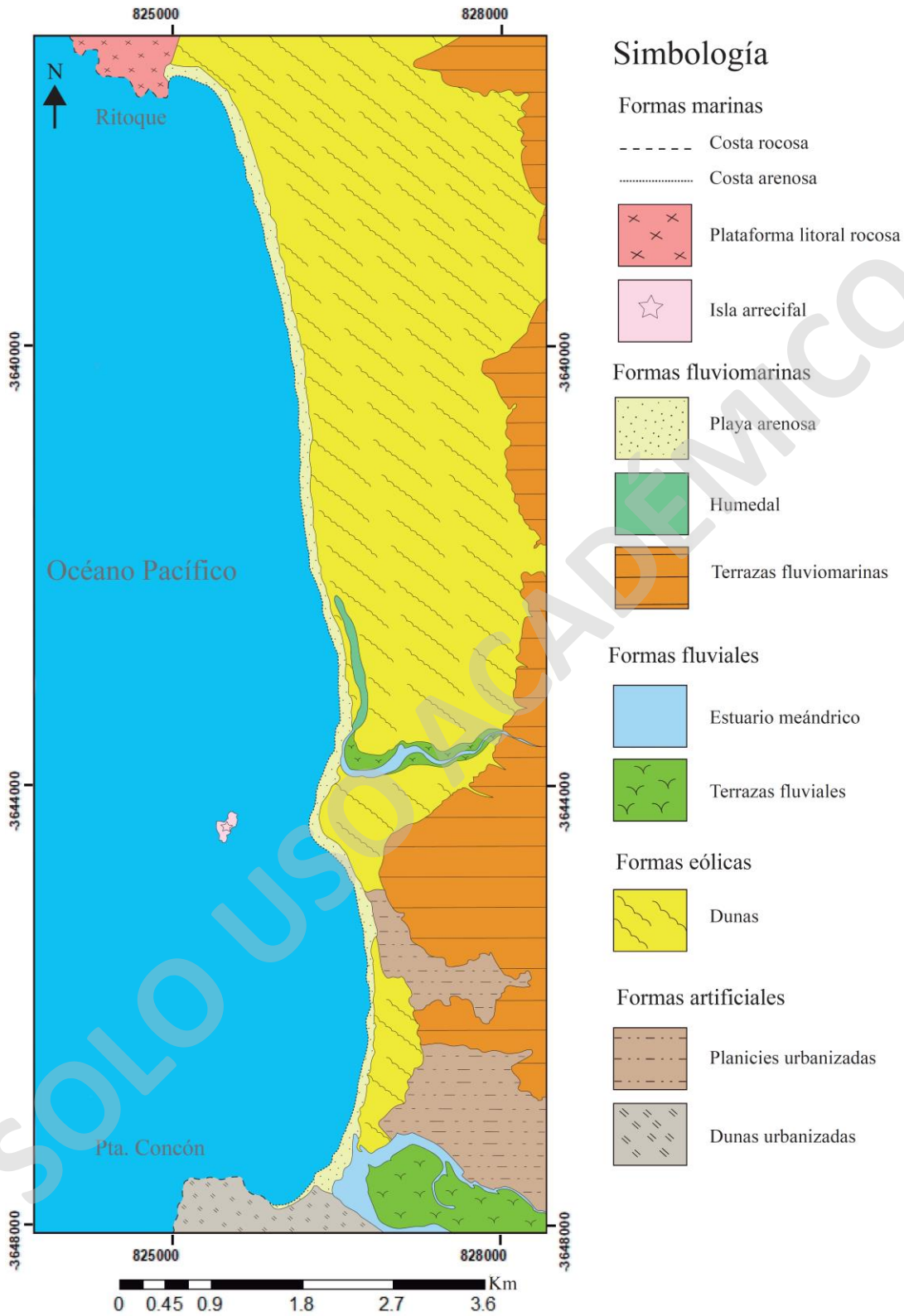


Figura 4. Mapa geomorfológico del área de estudio. Principales formas: marinas, fluvio-marinas, fluviales, eólicas y artificiales. Imagen base: julio de 2019, Landsat 8.

3. Metodologías

En el siguiente capítulo se describirán las metodologías usadas para el análisis de la dinámica costera de la playa de la Bahía de Concón, entre los años 2016 a 2019, las cuales son: Obtención de datos oceanográficos, levantamiento de la línea de costa, determinación del ancho de la costa, análisis de los perfiles de playa, determinación de zonas de erosión - acreción y análisis sedimentológico de playa.

3.1. Datos oceanográficos

El nivel del mar actual y altura promedio de olas se obtuvieron de los registros que contiene la base de datos del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), que se complementaron con los registros de velocidades de viento obtenidos por la base de datos de la Dirección Meteorológica de Chile para los años 2016 a 2019, periodos definidos debido a la coincidencia en el funcionamiento entre los satélites Landsat 8, lanzado al espacio a principios de 2013 y Sentinel 2, lanzado al espacio a mediados del 2015. Los datos de altura de marea-oleaje y velocidad del viento se recopilieron en los periodos de revisita y hora de captura de imagen (11 hrs) del satélite Landsat 8 sobre la playa de la Bahía de Concón.

3.2. Levantamiento de línea de costa

El levantamiento de la línea de costas se realizó con dos métodos: El primero a partir del GPS RTK diferencial EMLID, el cual consiste en un GPS base que se coloca en un trípode a una altura de 105 cm. Una vez instalado el GPS base, se calibra utilizando la aplicación ReachView en una tablet o celular. A continuación, se usa un GPS móvil, el cual se coloca sobre un jalón a una altura de 170 cm. Una vez instalado se debe calibrar en la aplicación ReachView, con el sistema de referencia geográfica WGS-84. Luego, con el GPS móvil se procede a recorrer la línea de costa de sur a norte. Bajo criterios geomorfológicos se considera la última marca de humedad de la marea a lo largo de la playa, definido por la pleamar, es decir, la línea observada que separa en las playas arena seca de húmeda. Se realizaron estas

líneas de GPS en la zona sur del área de estudio (Figura 5), con la finalidad de controlar y validar las líneas de costas obtenidas con el segundo método que se presenta a continuación.



Figura 5. Imagen de la zona sur del área de estudio donde se levantó la línea de costa con GPS diferencial (Landsat 8, fecha imagen: 26/07/2019).

El segundo método es la extracción automática de la línea de costa. Para ello se utilizó el algoritmo de extracción de costas Shoreline Extraction (SHOREX) desarrollado en lenguaje Python por el Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección – Universitat Politècnica de València (CGAT-UPV) acorde a la metodología de Palomar-Vázquez et al., (2018).

El procesamiento con SHOREX permite la obtención automática de la línea de costa con precisión subpíxel. Este método detecta el borde agua-tierra gracias a la elevada diferencia en la respuesta radiométrica de ambos medios en las bandas azul, verde, rojo e infrarrojo de onda corta (SWIR-1) (Palomar-Vázquez et al., 2018). El procesamiento se divide en tres etapas (Figura 6):

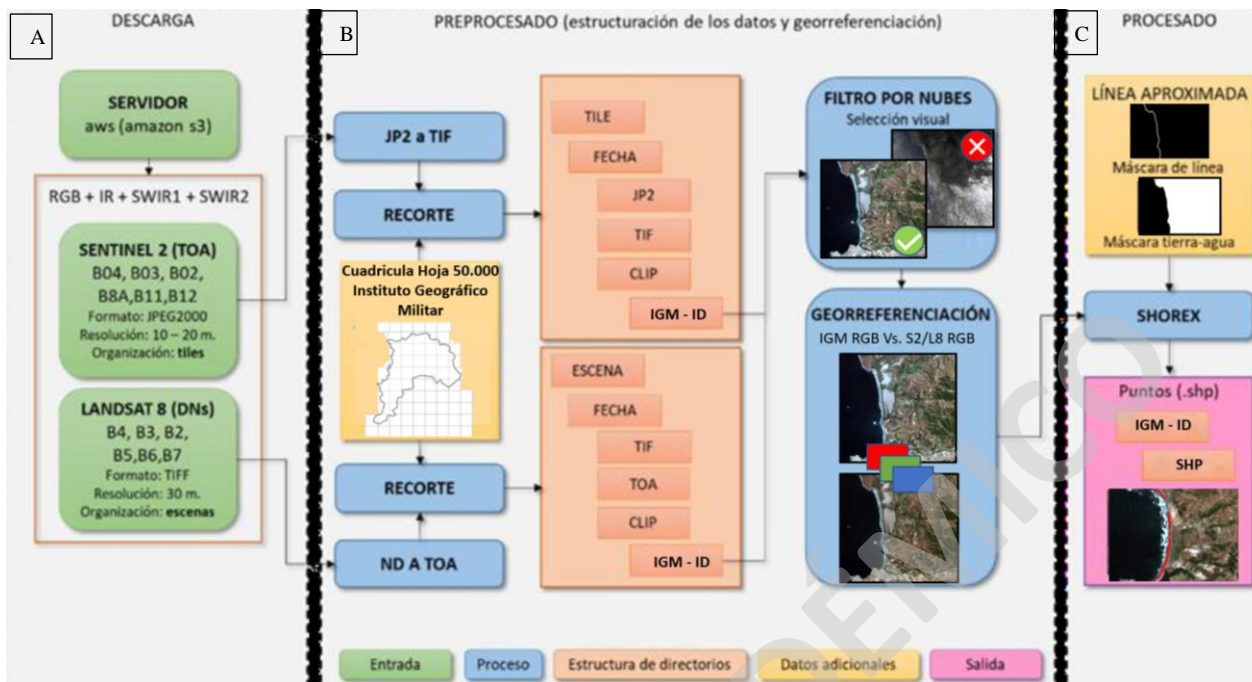


Figura 6. Diagrama de procesamiento SHOREX modificado de Palomar-Vázquez et al. (2018). A la izquierda con letra A, primera etapa de descarga de imágenes satelitales. En el centro con letra B, segunda etapa de estructuración y georreferenciación. A la derecha con letra C, tercera etapa de procesado y extracción de la línea de costa.

Según Palomar-Vázquez et al. (2018) la primera etapa corresponde a la descarga de imágenes satelitales y bandas de cualquier tesela Sentinel 2 o escena Landsat 8 que se necesite. En este estudio se usaron imágenes registradas en el sensor OLI del satélite Landsat 8 que poseen una resolución de 30 metros. La segunda etapa es la de preprocesado, el cual consiste en la conversión entre distintos tipos de formato de imagen usando las hojas 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar (IGM), recorte, conversión de niveles digitales a reflectancia nivel de la Atmósfera (TOA), filtrado de nubes y georreferenciación a nivel subpíxel. El tercer paso es el procesado, el cual, mediante el algoritmo de extracción, tiene como resultado una serie de ficheros de puntos en formato shapefile (.shp) con la posición de la línea de costa y campos con información estadística.

Además, se aplicó un proceso de georreferenciación, también a escala subpíxel, mediante la correlación cruzada en el espectro de Fourier, alcanzando una precisión de 5 m. Para facilitar la gestión, una vez extraídos y georreferenciados los puntos de la línea de costa, se realizó su paso a líneas.

El cálculo de los errores cuadráticos medios se realizó con la herramienta NEXT de ArcGis 10.7. Esta permite cuantificar los errores entre los valores observados con el GPS y los estimados con SHOREX. Para este análisis se ocupan la media (\bar{X}) de las observaciones y desviación estándar (σ^2). El error cuadrático medio (RMSE) se obtiene de la Ecuación 1:

(Ecuación 1)
$$\text{RMSE} = \sqrt{x^2 + \sigma^2}$$

Donde x^2 es la media y σ^2 es la desviación estandar.

Se usaron las bandas 2 (Azul), 3 (Verde), 4 (Rojo) y 6 (SWIR 1) porque son las más útiles para delimitar costas y contrastar áreas correspondientes a suelo de vegetación (Palomar-Vázquez et al., 2018). La combinación de las bandas 2, 3 y 4 muestran el color natural del área de estudio. La banda 6 es usada para una mayor discriminación de suelos y agua (Pardo-Pascual et al., 2012; 2018).

3.3. Determinación del ancho de la costa

El cálculo del ancho de la costa para la Bahía de Concón se realizó utilizando las líneas de costas obtenidas con SHOREX y GPS diferencial entre el periodo de 2016 a 2019. Desde el software Matlab Starter Application se seleccionan las líneas de costas y se calcula las distancias de referencias entre ellas. Luego, se creó una carpeta de salida donde se guardan las líneas obtenidas y se visualizan los resultados del ancho de costa en ArcGis 10.7.

3.4. Análisis de los perfiles de playa

El método consiste en la utilización de dos varas de 1.5 m de altura conectadas con cinta métrica de 3 m, lo que requiere de al menos dos personas. Esta longitud establece el intervalo de medición para cada punto a lo largo del perfil de playa. Las mediciones con este método requieren tener visibilidad del horizonte, el observador identifica el horizonte a través de la parte superior de la estaca localizada más cerca del mar con ayuda de una brújula geológica Brunton. Se determina la altura o desnivel del perfil desde la parte superior de la estaca localizada más cercana al punto inicial del perfil. El método requiere definir un punto de

referencia para el control de los perfiles y que permita en un futuro determinar cambios estacionales en el tiempo.

Se levantaron un total de 6 perfiles de elevación en transectas perpendiculares a la línea de costa, asociadas a los perfiles 7 y 8 (Figura 7), a modo de control periódico de la zona proximal de la desembocadura del Río Aconcagua, para conocer como varía la topografía y ancho de la playa de Concón por estación. Los perfiles se encuentran distanciados 300 m aproximadamente. Se realizaron dos perfiles el 29 de marzo de 2019, dos perfiles el 26 de julio de 2019 y dos perfiles el 11 de septiembre de 2019 para P7 y P8.

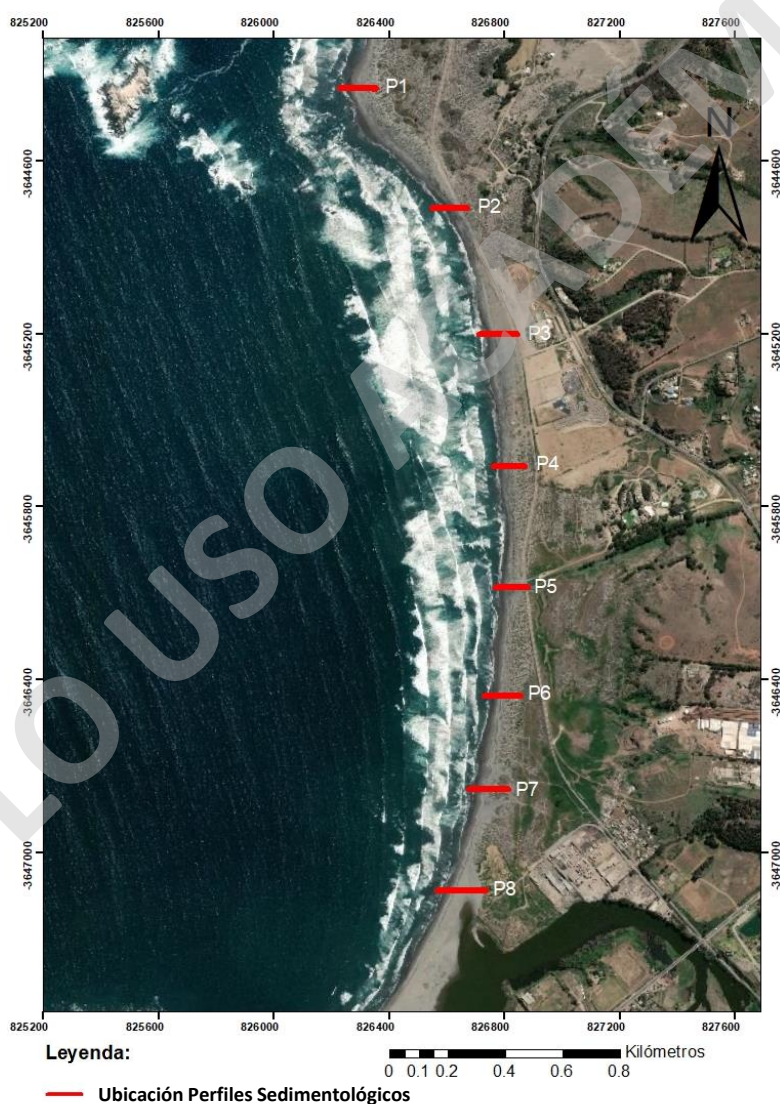


Figura 7. Ubicación de perfiles de elevación (P7 y P8) y sedimentológicos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 y P8).

3.5. Determinación de zonas de erosión y acreción

Las tasas y zonas de erosión - acreción se obtuvieron mediante la utilización del Sistema Digital de Análisis de Costa (DSAS), el cual está basado en el Sistema de Información Geográfica (SIG) desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). El DSAS calcula la estadística de una serie de datos temporales vectoriales de la costa (Himmelstoss et al., 2018), midiendo las distancias entre las líneas de costas en un periodo definido. En este caso se usaron las líneas de costa obtenidas con SHOREX y GPS diferencial, en el periodo de 2016 a 2019. Para ello se instala la extensión DSAS v5.0 en el software Arcgis y agrupar en una base de datos las líneas de costas para que compartan los mismos atributos definidos en la guía el usuario DSAS v5.0 (Himmelstoss et al., 2018). Posteriormente se define una línea base correspondiente al área de estudio, única y estática, originada bajo criterios geomorfológicos como el límite de la playa en la base de las dunas. A continuación, el DSAS discretiza transectas perpendiculares a las líneas de costa y la línea de base en rangos definidos cada 50 metros. Finalmente, calcula una serie de parámetros estadísticos, de los cuales se usó la Tasa de Punto Final (TPF), que consiste en el cociente entre las distancias de las líneas de costa más antiguas con las líneas de costa más recientes en un periodo determinado. En este caso, el rango fue entre 2016 y 2019, por lo que un TPF negativo es señal de erosión y positivo es señal de acreción. Finalmente se representan numérica y visualmente las tasas de erosión y acreción para la playa de la Bahía de Concón.

3.6. Análisis sedimentológico de playa

La caracterización sedimentológica de las playas se realizó mediante el análisis granulométrico de los sedimentos superficiales tomados sobre la traza de los perfiles topográficos levantados en terreno (Figura 7).

Cada muestra de aproximadamente 300 g posee su propio código, el cual tiene la siguiente nomenclatura: Año – Mes – Día - N° de la muestra.

Una vez recolectadas todas las muestras, el procedimiento en el laboratorio consistió en el secado en los hornos del laboratorio Centro de Propagación y Conservación Vegetal

(CEPROVEG) en el Campus Huechuraba de la Universidad Mayor, a 80 °C durante 72 hrs. A continuación, las muestras se llevaron al Laboratorio de Geología ubicado en el Campus Manuel Montt de la Universidad Mayor. Se utilizó un equipo tamizador modelo Ro-Tap, el cual mediante vibraciones logra tamizar el sedimento. Se utilizaron tamices que parten de 2000 micras, continuando por los tamaños de 1000, 500, 250, 125 y 63 micras, debido a que los sedimentos tratados son arenas y así poder clasificarlos según las categorías granulométricas desde arena muy gruesa a limo-arcilla. Las muestras de sedimentos antes de tamizarse son cuarteadas, esto quiere decir que se dividió en cuatro partes semejantes para evitar sesgos ante posibles desproporciones a favor de alguna categoría granulométrica, por lo que se trabajó y tamizó solo un cuarto de la muestra. Luego se colocaron en el tamizador, durante 5 min.

Una vez tamizado, se procedió a pesar el contenido de sedimento que dejó cada tamiz en una balanza digital de precisión. Cada peso se registró en una tabla Excel. Se calcularon los porcentajes en peso de las clases granulométricas para luego realizar los histogramas de frecuencia porcentual y analizar la distribución granulométrica de cada muestra de sedimentos. Para el análisis estadístico se utilizó la macro de Excel Gradistat, versión 4.0 (Blott & Pye, 2001), donde se calcularon los porcentajes de las categorías granulométricas de cada muestra, obteniendo los parámetros de medio de transporte, grado de selección, asimetría y curtosis, en base al método propuesto por Folk & Ward (1957).

4. Resultados

4.1. Variabilidad de la línea de Costa

4.1.1. Líneas de Costa con SHOREX

Se obtuvieron un total de 58 líneas de costas entre las fechas de 2016 a 2018, las cuales fueron promediadas por cada estación del año, donde se logran apreciar las variaciones a escala intra-anual.

Para una mejor visualización espacial de las líneas de costa por estaciones del año, el área de estudio se subdividió en nueve polígonos, con escala 1:5.000 (Figura 8), empezando por la zona norte con la letra A y terminando en la zona sur con la letra I.

Para el año 2016 en las Figuras 8-A, 8-C y 8-D se observa que en otoño la línea de costa se encuentra más cercana hacia el mar. En cambio, durante el invierno la línea de costa se encuentra más cercana hacia el continente. Las estaciones de primavera y verano corresponden a periodos intermedios en el avance de la línea de costa hacia el continente y retroceso hacia el mar.

En las Figuras 8-E, 8-H y 8-I, se observa para otoño, en general, la línea de costa se encuentra más cercana hacia el mar, sin embargo, existen zonas donde se entrecruza con los periodos de verano y/o primavera. En cambio, durante el invierno en general la línea de costa se encuentra más hacia el continente, sin embargo, se aprecian zonas de entrecruzamiento con los periodos de verano y/o primavera.

En las Figuras 8-B, 8-F, 8-G, se observa que no existe una clara tendencia sobre qué periodo la línea de costa se encuentra más cercana al mar debido a entrecruzamientos entre otoño, verano y primavera. Durante el invierno, por lo general, la línea de costa se encuentra más cercana al continente, sin embargo, existen zonas de entrecruzamiento con los periodos de verano y/o primavera.

Con respecto a la desembocadura del Río Aconcagua (Figura 8-I), se distingue que el mar conecta con el río.

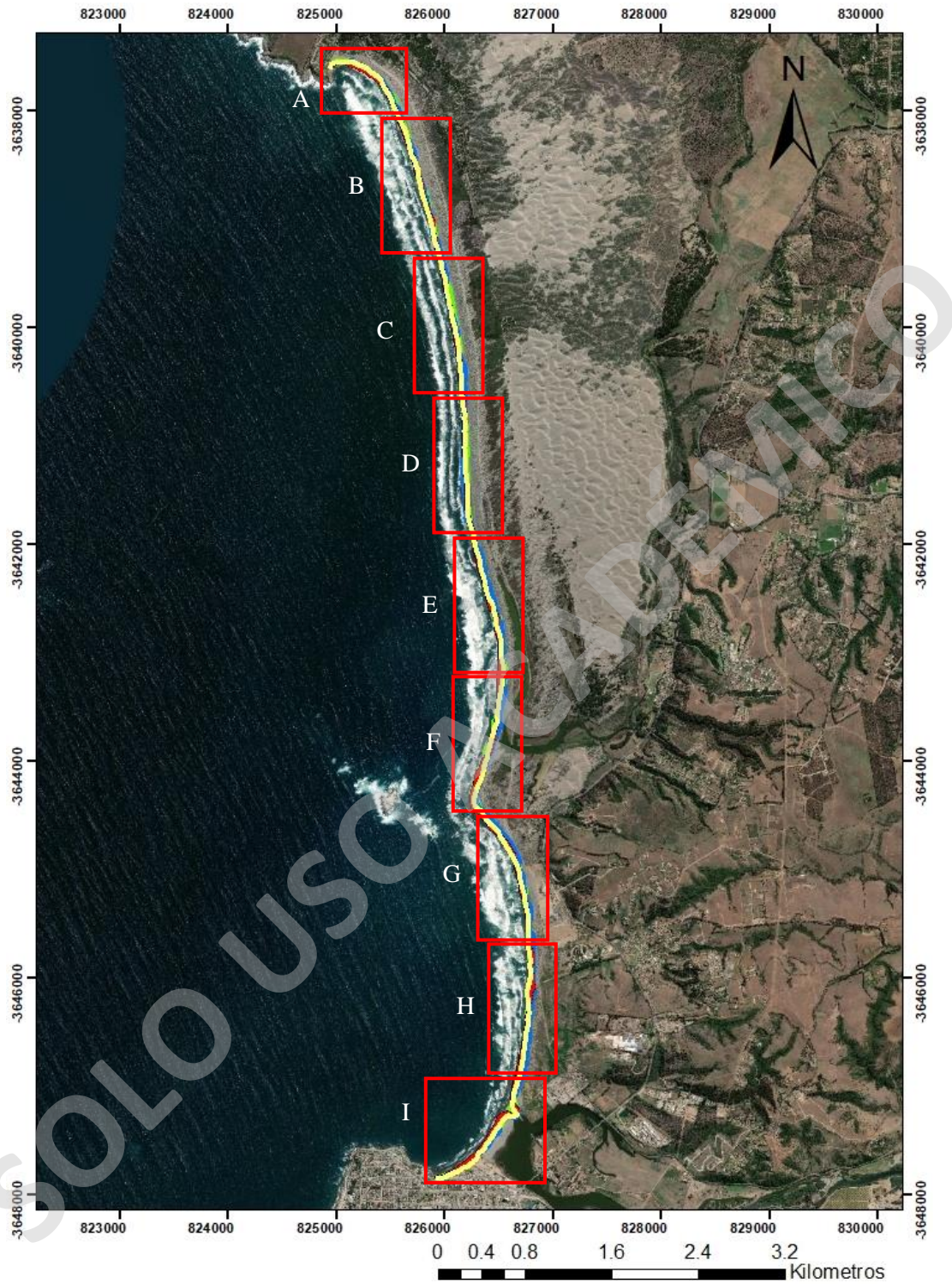
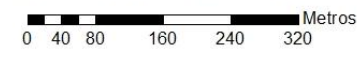
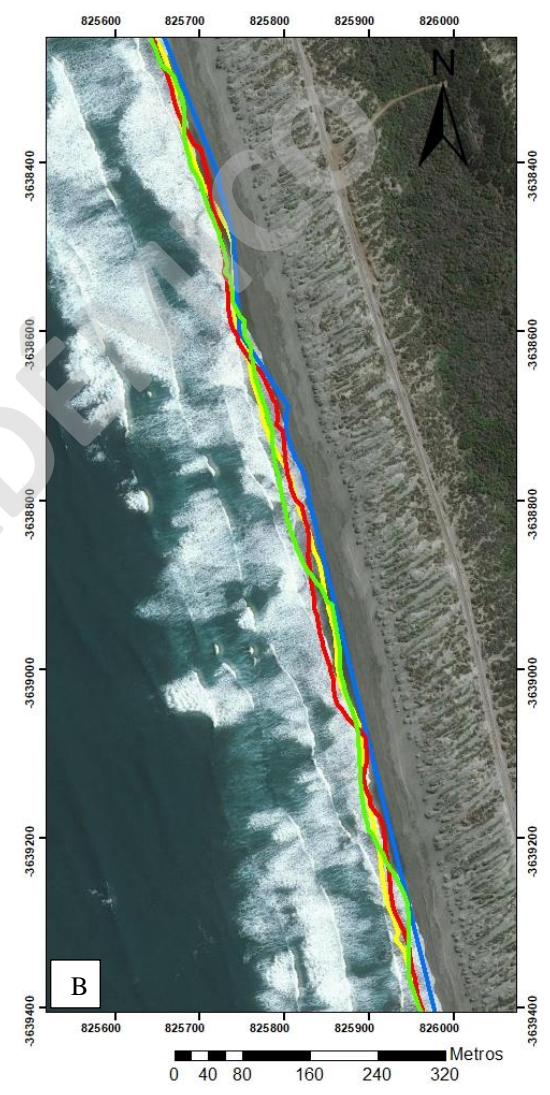
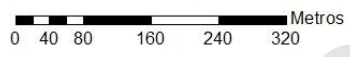
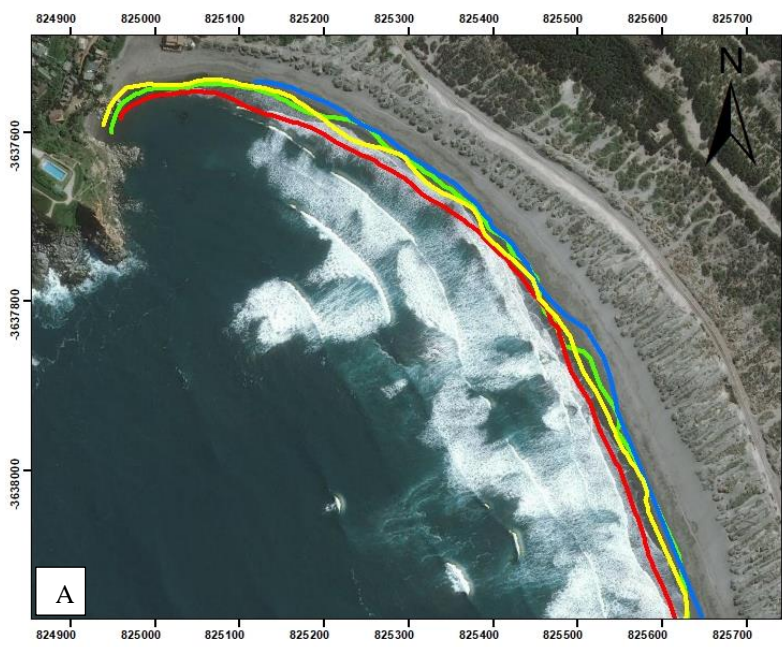
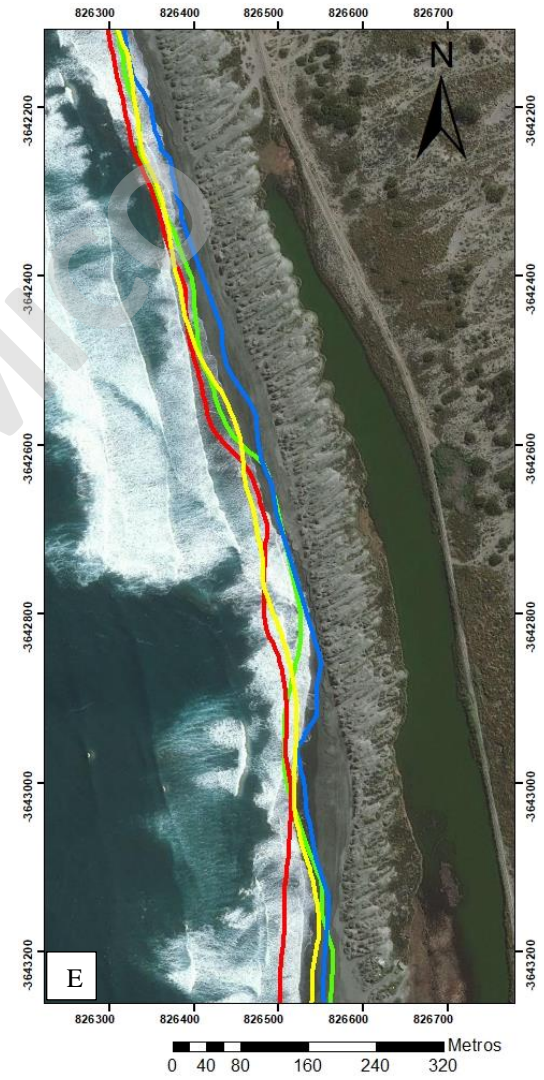
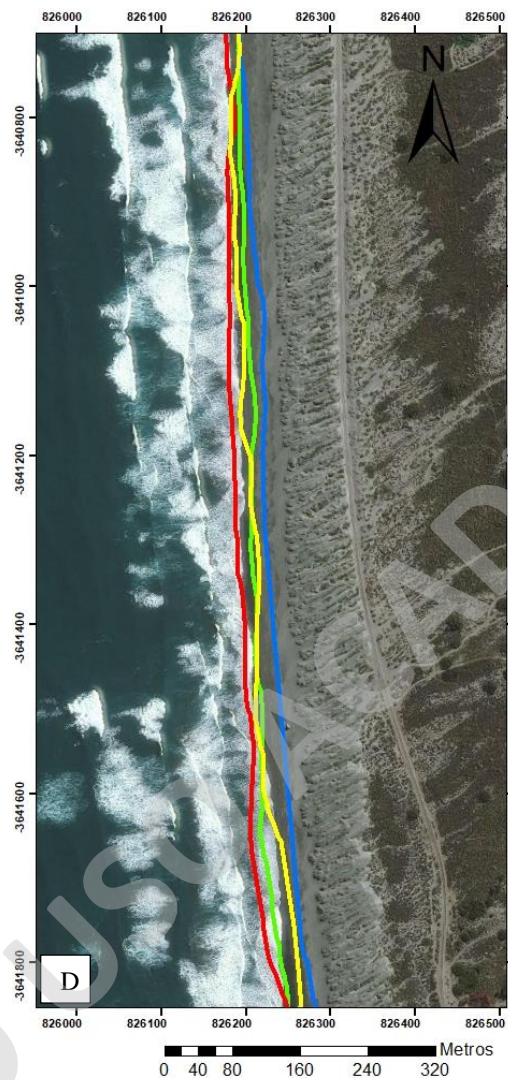
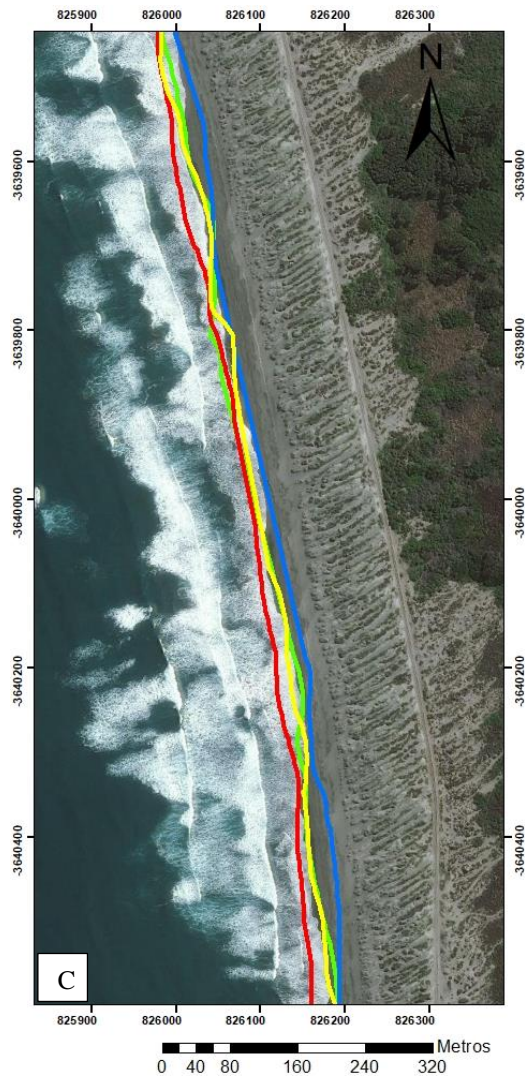


Figura 8. Líneas de costa con SHOREX. El área de estudio se subdivide en nueve polígonos para una mejor resolución espacial, escala 1:5.000, zonas A y B (norte), zonas C, D y E (Centro-norte), zonas F, G y H (Centro-sur), zona I (sur).



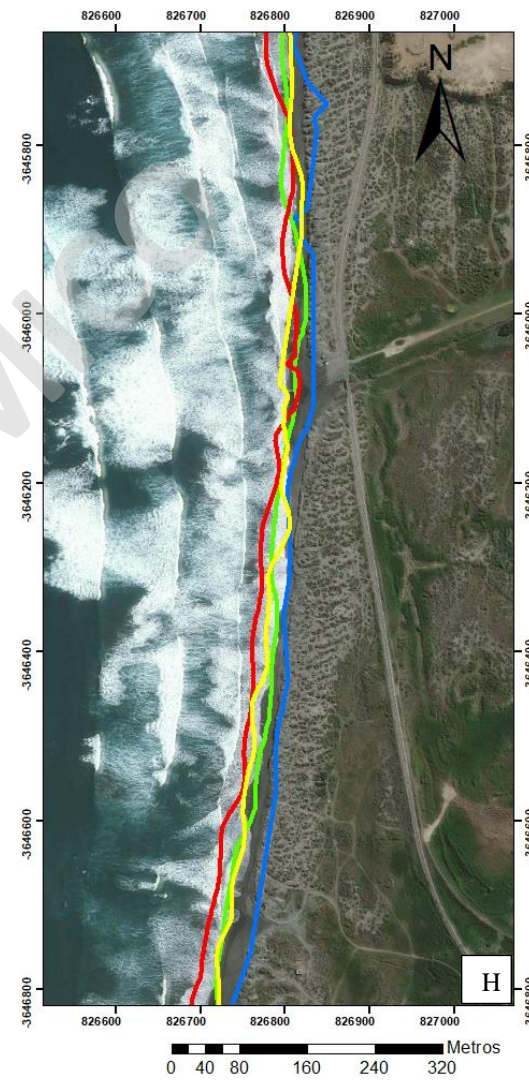
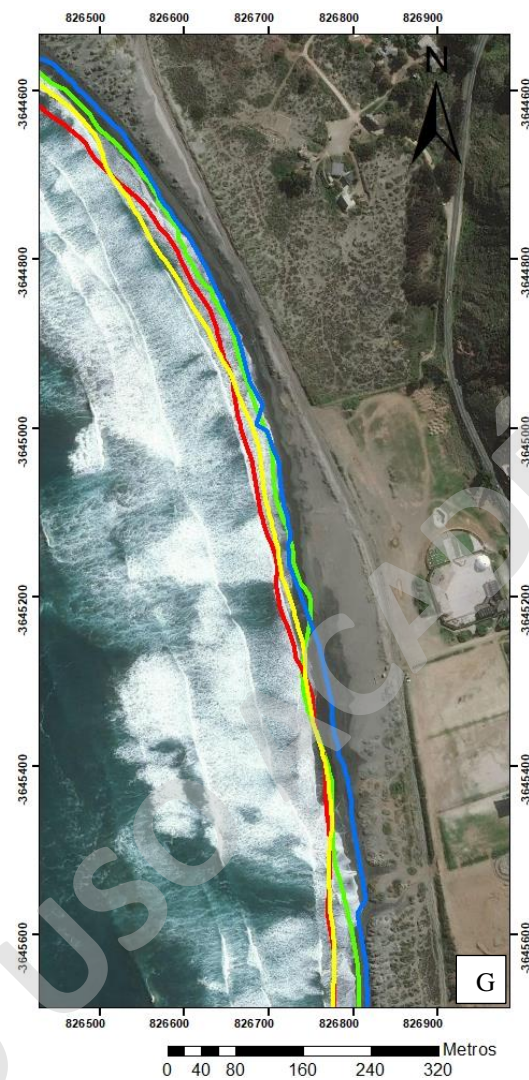
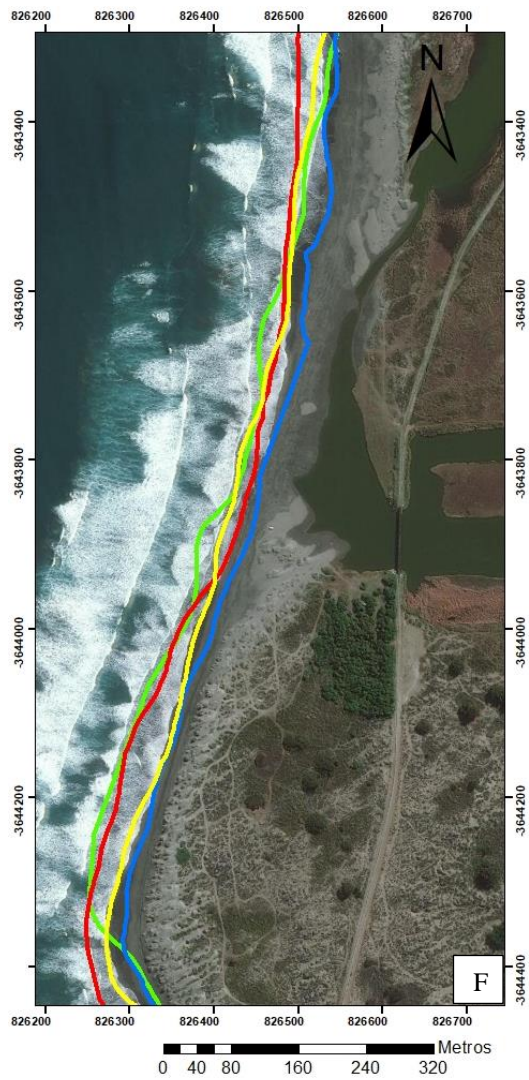
Figuras 8-A y 8-B. Líneas de costa con SHOREX para el año 2016, sector norte, zonas A y B.



Leyenda:

— Verano: 2016-01-22
 — Otoño: 2016-06-14
 — Invierno: 2016-08-01
 — Primavera: 2016-10-20

Figuras 8-C, 8-D y 8-E. Líneas de costa con SHOREX para el año 2016, sector centro-norte, zonas C, D y E.



Leyenda:

— Verano: 2016-01-22
 — Otoño: 2016-06-14
 — Invierno: 2016-08-01
 — Primavera: 2016-10-20

Figuras 8-F, 8-G y 8-H. Líneas de costa con SHOREX para el año 2016, sector centro-sur, zonas F, G y H.

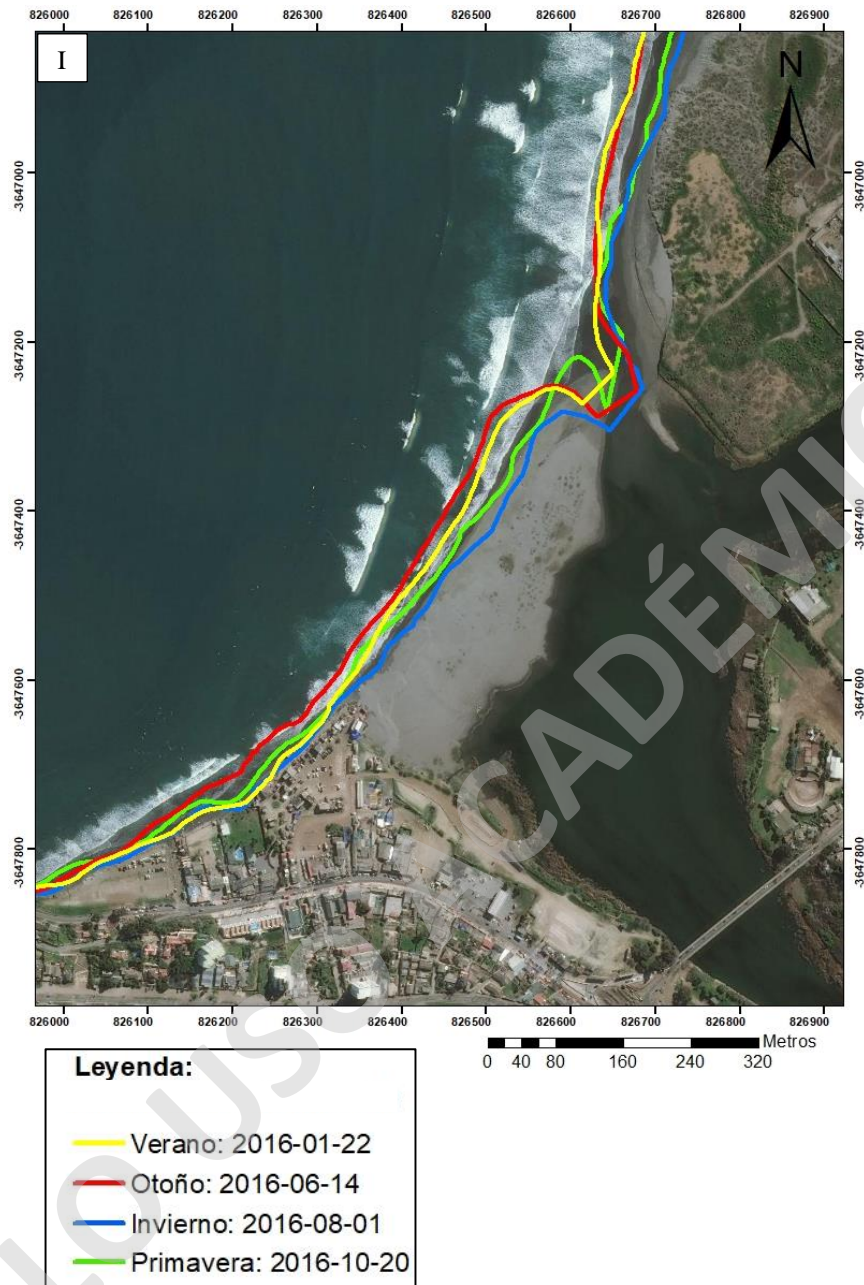


Figura 8-I. Líneas de costa con SHOREX para el año 2016, sector sur, zona I.

En el año 2017, en las Figuras 9-A, 9-B y 9-I, se observa que en general, no existe patrón sobre qué temporada la línea de costa está más cercana al mar o al continente debido al cruzamiento y cercanía espacial entre las líneas, sin embargo, en la Figura 9-B la costa en invierno está más cercana al continente.

En las Figuras 9-C, 9-E, 9-F y 9-G, se observan patrones que en otoño la línea de costa está más cercana al mar, aunque existen zonas de entrecruzamiento con las temporadas de verano y/o primavera. En cambio, en invierno por lo general la línea de costa se encuentra más cercana al continente, existiendo zonas de entrecruzamiento con las temporadas de primavera y verano.

En la Figura 9-D, se observa que en otoño por lo general la línea de costa está más cercana al mar, sin embargo, existen zonas de entrecruzamiento con la línea del verano principalmente. Por otra parte, no se observa un patrón sobre qué temporada la línea de costa está más hacia el continente, debido a cruzamientos entre las líneas correspondiente a invierno y primavera principalmente y en menor grado del verano.

En la Figura 9-H, a diferencia de las figuras anteriores, se observa que en verano por lo general la línea de costa está más cercana al mar, existiendo zonas de entrecruzamiento con las temporadas de primavera y verano. En contraparte, en invierno la línea de costa se encuentra más cercano al continente.

A diferencia del año anterior, en la desembocadura del río Aconcagua se distingue la formación de la barra frontal para invierno y primavera (Figura 9-I).

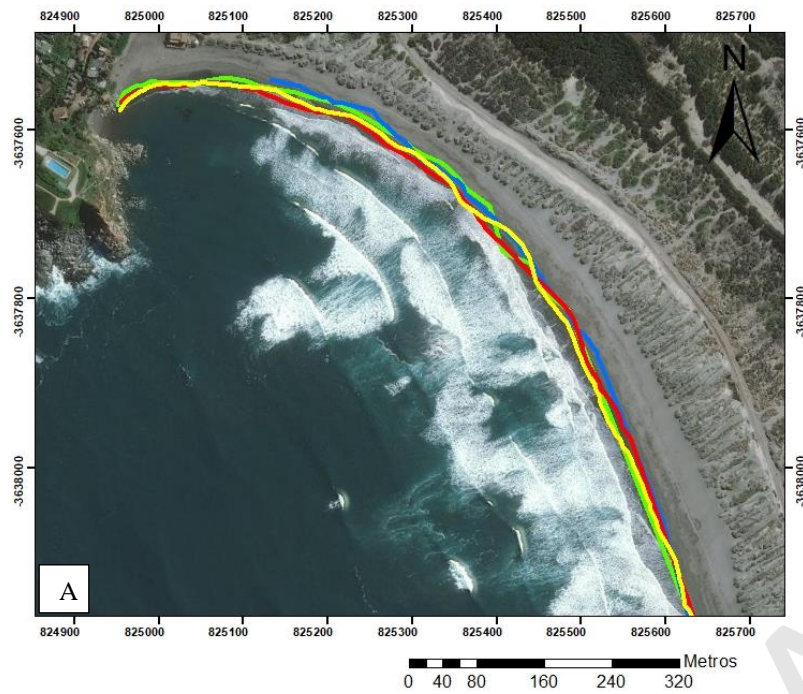
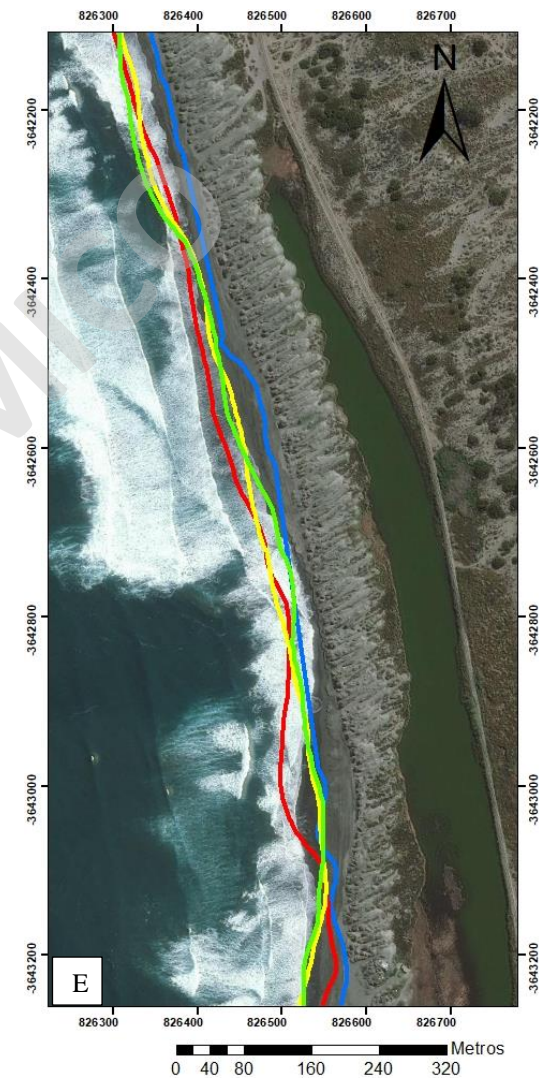
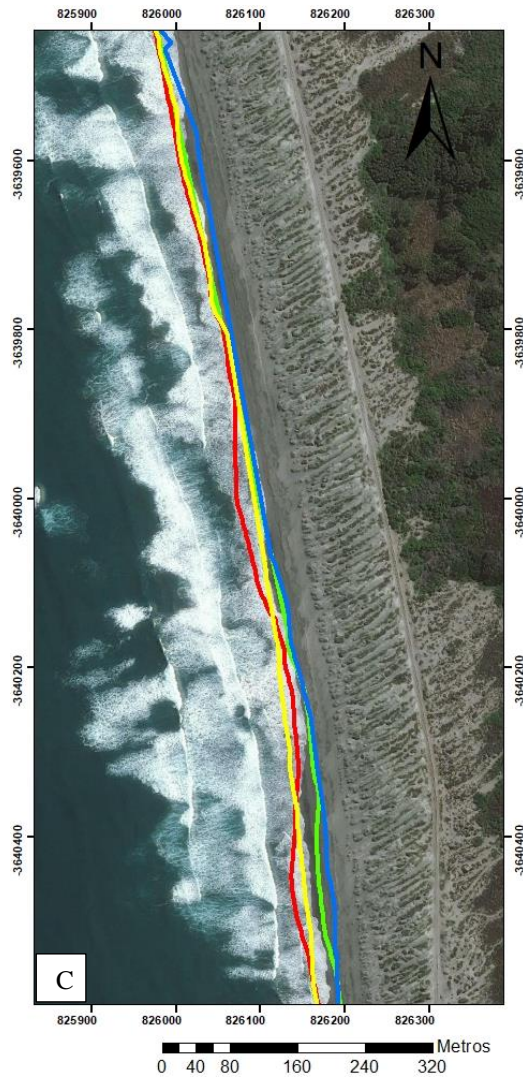


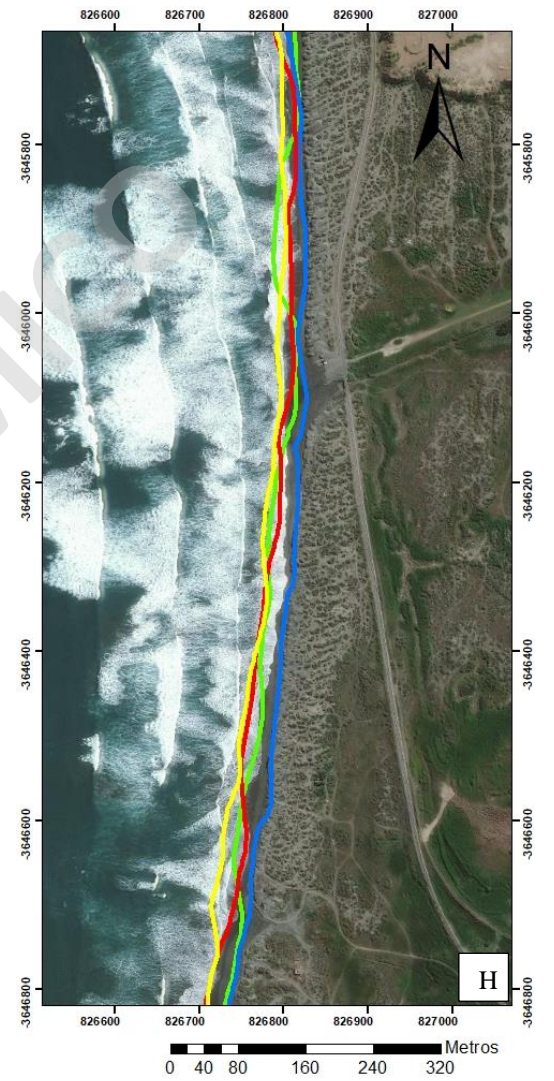
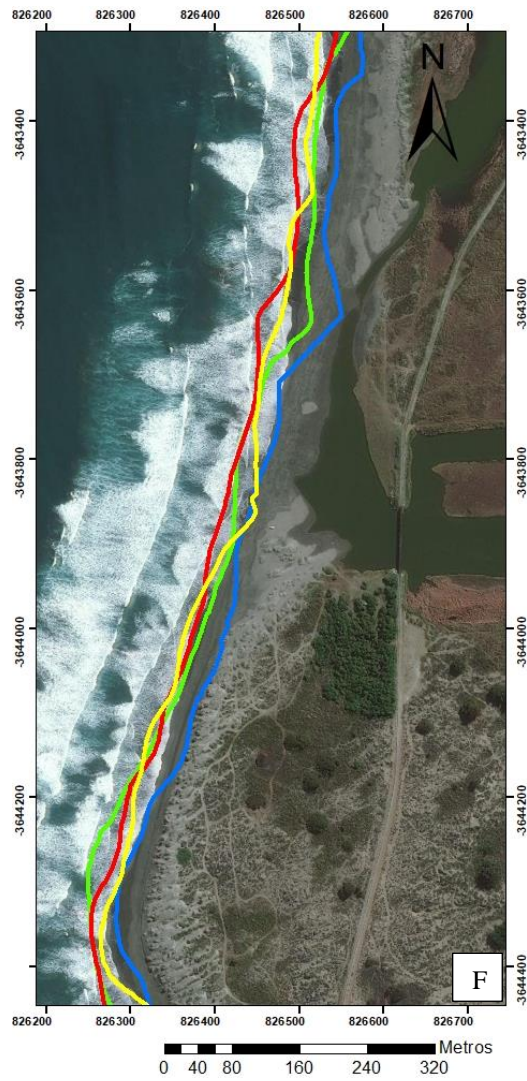
Figura 9. Figuras 9-A y 9-B. Líneas de costa con SHOREX para el año 2017, sector norte, zonas A y B.



Leyenda:

— Verano: 2017-02-09
 — Otoño: 2017-06-01
 — Invierno: 2017-08-20
 — Primavera: 2017-10-23

Figuras 9-C, 9-D y 9-E. Líneas de costa con SHOREX para el año 2017, sector centro-norte, zonas C, D y E.



Leyenda:

— Verano: 2017-02-09
 — Otoño: 2017-06-01
 — Invierno: 2017-08-20
 — Primavera: 2017-10-23

Figuras 9-F, 9-G y 9-H. Líneas de costa con SHOREX para el año 2017, sector centro-sur, zonas F, G y H.

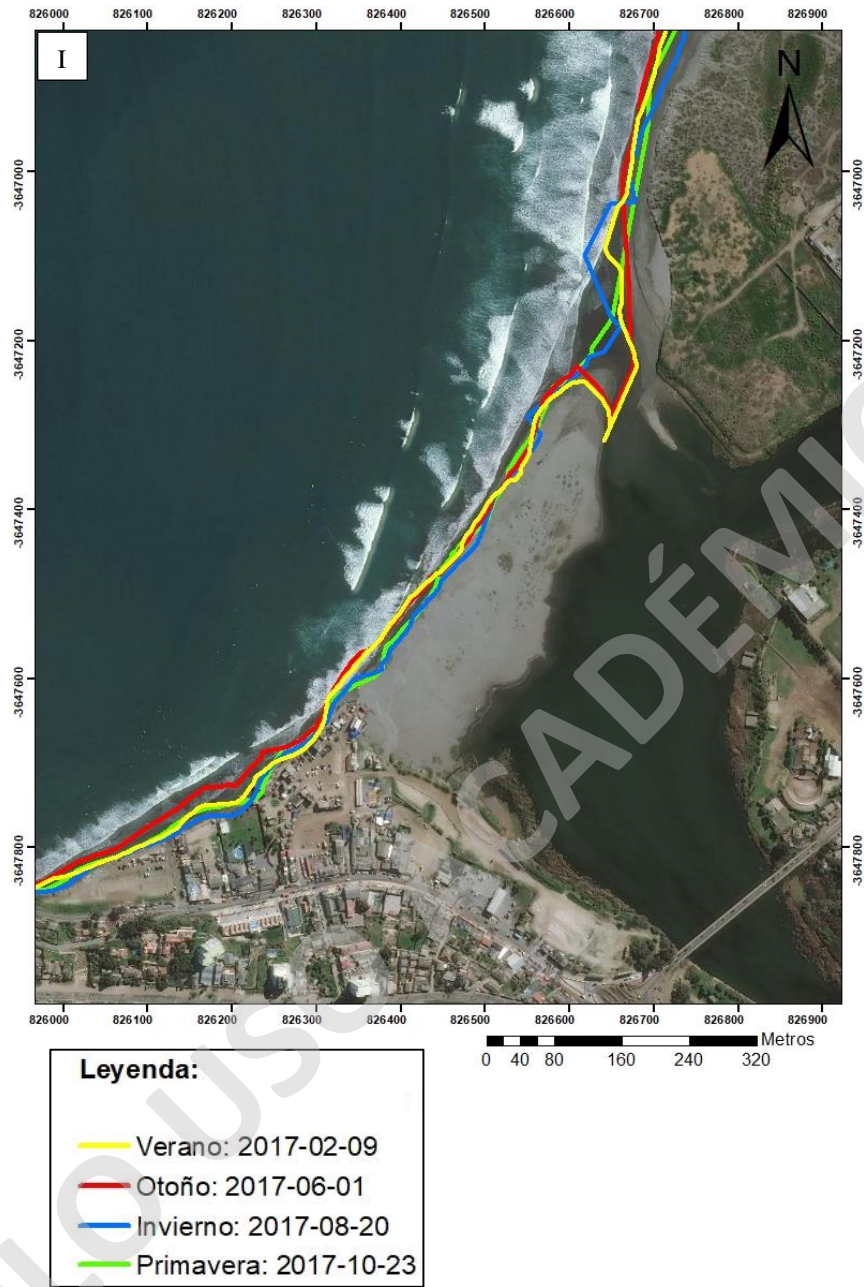


Figura 9-I. Líneas de costa con SHOREX para el año 2017, sector sur, zona I.

Con respecto al año 2018, en las Figuras 10-A, 10-B, 10-G y 10-I se observa que no existe predominancia en las temporadas sobre cual línea de costa está más cerca del mar o del continente, debido a que tanto verano, otoño, invierno y primavera presentan similar posición espacial y cruzamiento entre ellos.

En las Figuras 10-C, 10-D y 10-F se observa que, en verano por lo general, la línea de costa está más hacia el mar, sin embargo, existen zonas donde verano se entrecruza con las estaciones de otoño y primavera principalmente. En cambio, en invierno la línea de costa está más cerca del continente.

En la Figura 10-E se observa, que en otoño por lo general la línea de costa se encuentra más cerca del mar, a excepción de la zona sur que la línea avanza al continente. Por otra parte, en invierno por lo general la línea de costa se encuentra más hacia el continente, excepto en la zona sur donde se entrecruza con otoño.

En la Figura 10-H se observa que no existe una estación preferencial sobre cual está más cerca del mar, debido a que tanto verano, otoño y primavera se entrecruzan regularmente. Por otra parte, en invierno la línea de costa se encuentra más cercana al continente, sin embargo, en la zona centro-norte se entrecruza con verano, otoño y primavera.

A diferencia de los años anteriores años, en 2018 (Figura 10-I) la desembocadura del Río Aconcagua recupera la barra frontal en todas las temporadas.

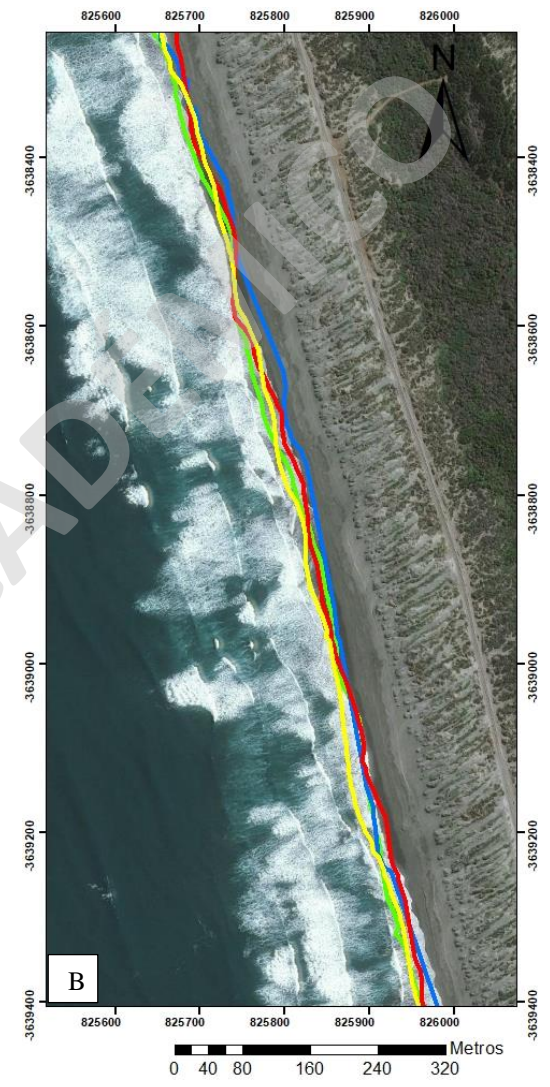
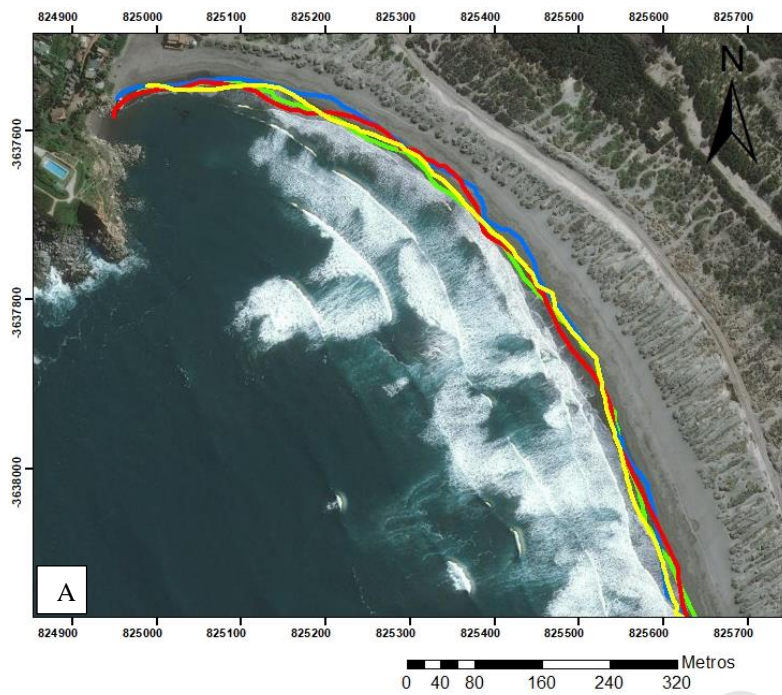
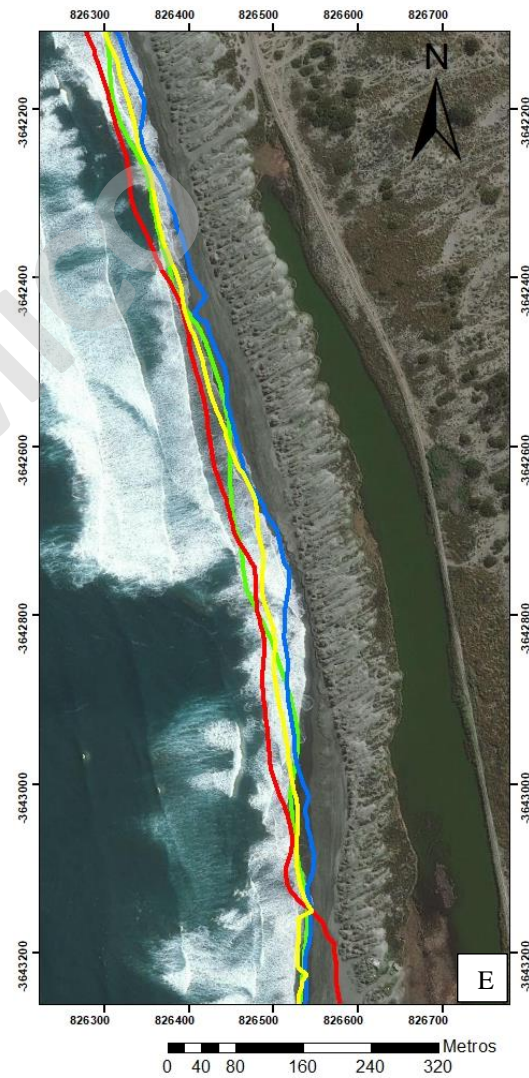
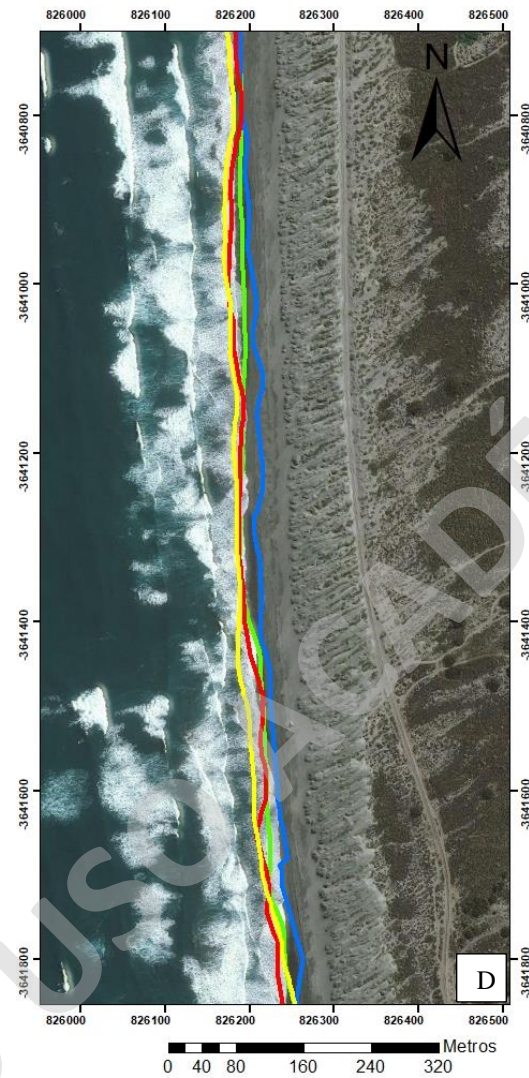
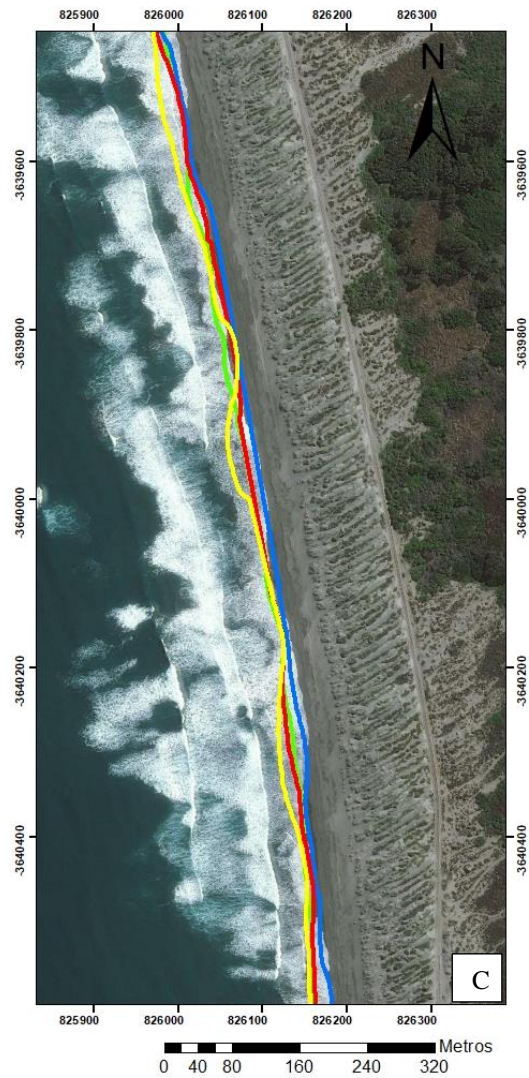


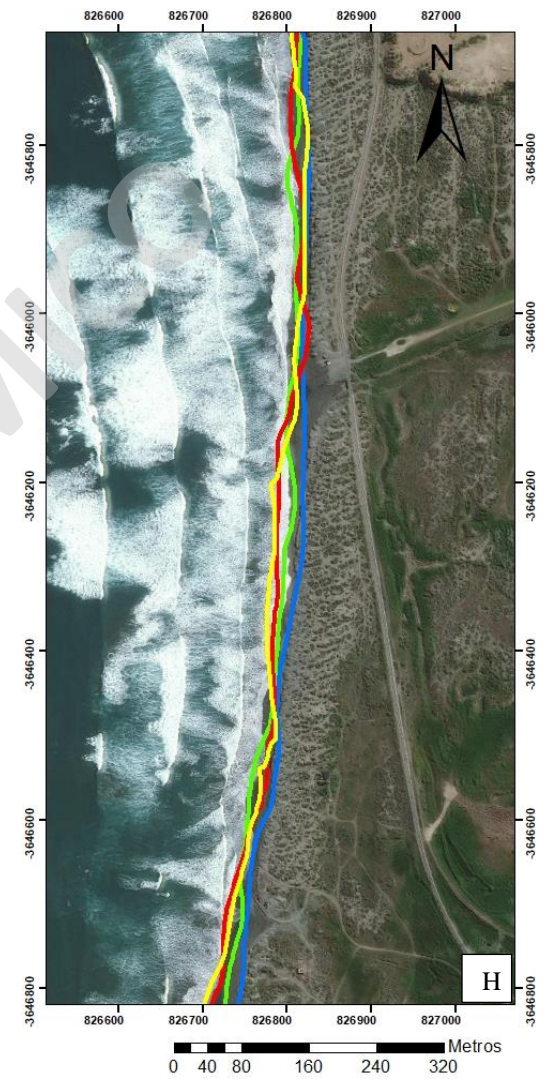
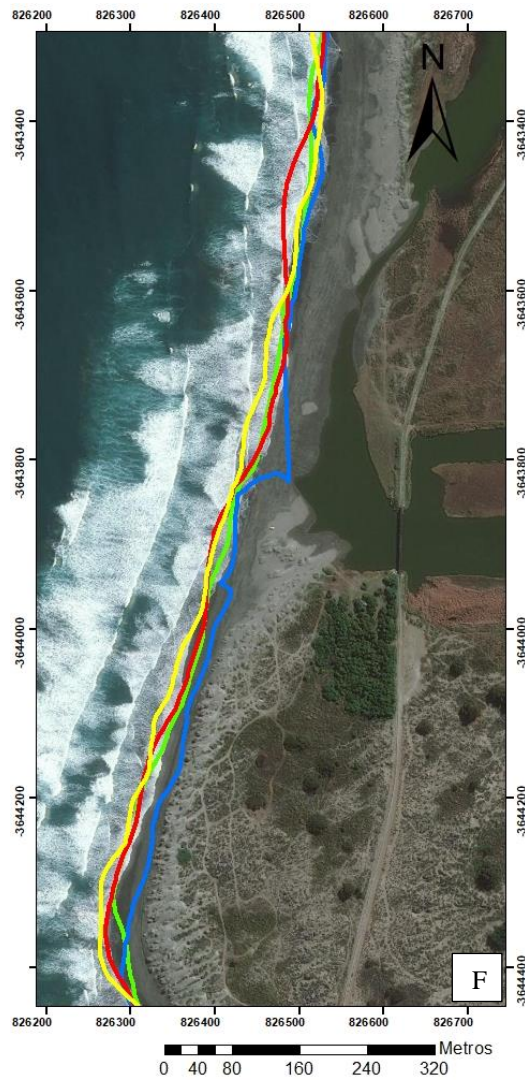
Figura 10. Figuras 10-A y 10-B: Líneas de costa con SHOREX para el año 2018, sector norte, zonas A y B.



Leyenda:

— Verano: 2018-02-12
 — Otoño: 2018-05-19
 — Invierno: 2018-08-07
 — Primavera: 2018-10-26

Figuras 10-C, 10-D y 10-E. Líneas de costa con SHOREX para el año 2018, sector centro-norte, zonas C, D y E.



Leyenda:

— Verano: 2018-02-12
 — Otoño: 2018-05-19
 — Invierno: 2018-08-07
 — Primavera: 2018-10-26

Figuras 10-F, 10-G y 10-H. Líneas de costa con SHOREX para el año 2018, sector centro-sur, zonas F, G, H.

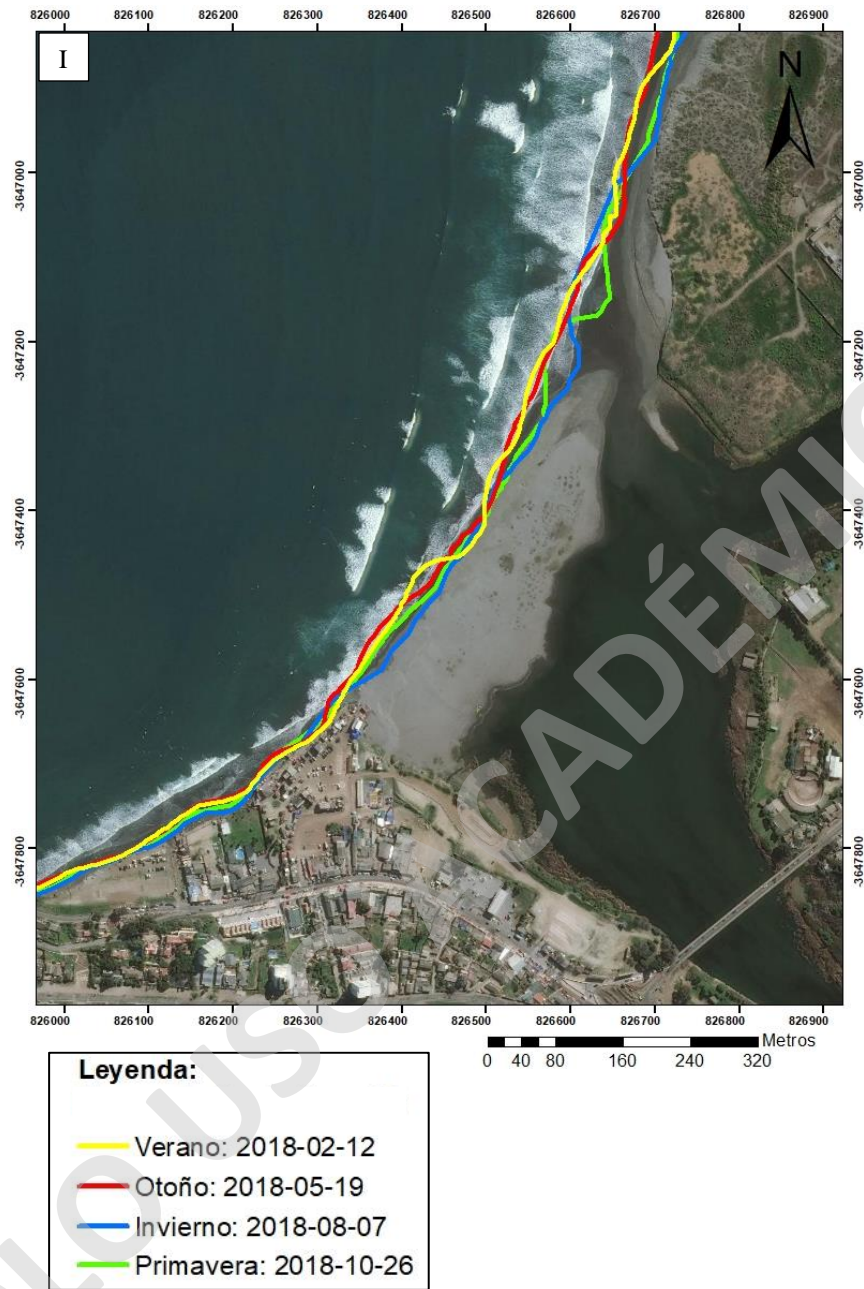


Figura 10-I. Líneas de costa con SHOREX para el año 2018, sector sur, zona I.

Del mismo modo se puede observar la variabilidad de la línea de costa para una misma temporada (verano, otoño, invierno y primavera) entre los años 2016 y 2018.

Para la estación de verano, tanto en las Figuras 11-A y 11-I, ubicadas en los extremos norte y sur del área de estudio respectivamente, se observa que no existe una tendencia de avance de la línea de costa hacia el continente o retroceso hacia el mar para el periodo entre 2016 y 2018, debido a que la línea de costa se encuentra en semejante posición.

En la Figura 11-B, se observa que no existe una fecha única de retroceso hacia el mar de la línea de costa, debido a entrecruzamiento de los años 2016 y 2018. Por otra parte, en el año 2017 la línea de costa por lo general avanza hacia el continente.

En las Figuras 11-C, 11-D y 11-E, se observan zonas donde la línea de costa está más cerca del mar en el año 2016 y más cerca del continente en el año 2018. A la vez, se aprecian zonas donde no se distingue retroceso o avance de la línea de costa por semejanzas en la posición y entrecruzamientos entre 2016 a 2018.

En cambio, en las Figuras 11-F, 11-G y 11-H, se observa que en 2016 por lo general la línea de costa está más cerca del mar, la cual avanza hacia el continente de forma regular hasta 2018, sin embargo, existen zonas locales donde se entrecruzan las líneas de costa entre 2016 a 2018. Pero por lo general, excepto por zonas locales, existe una tendencia de avance de la línea de costa desde 2016 a 2018.

Con respecto a la desembocadura del Río Aconcagua, se distingue que la barra frontal se recupera en 2018 (Figura 11-I).

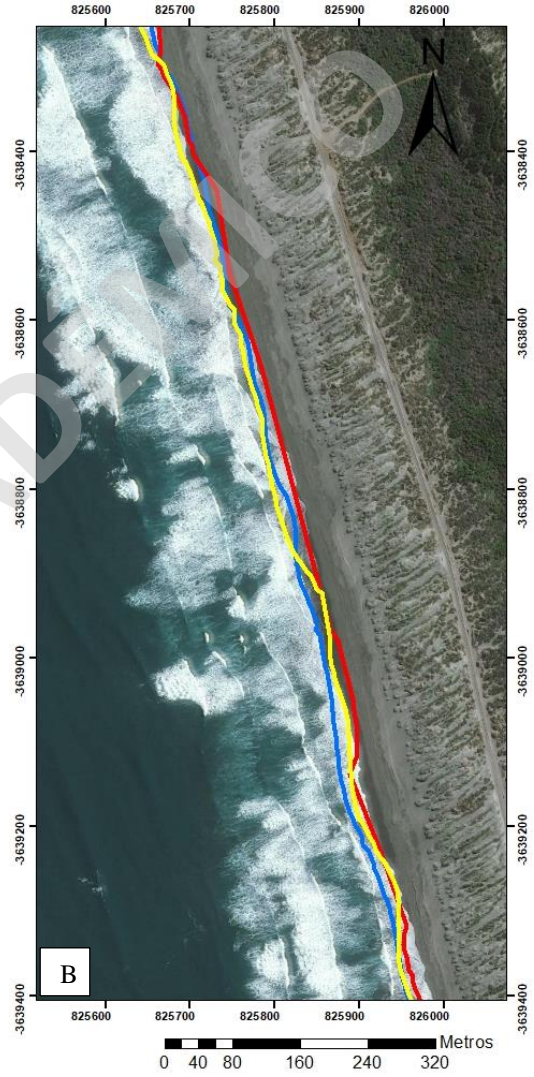
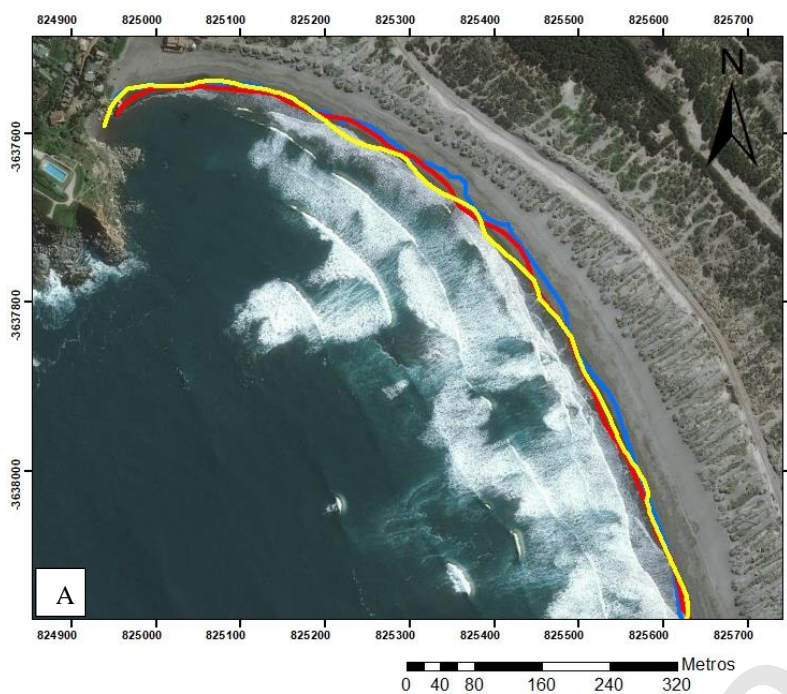
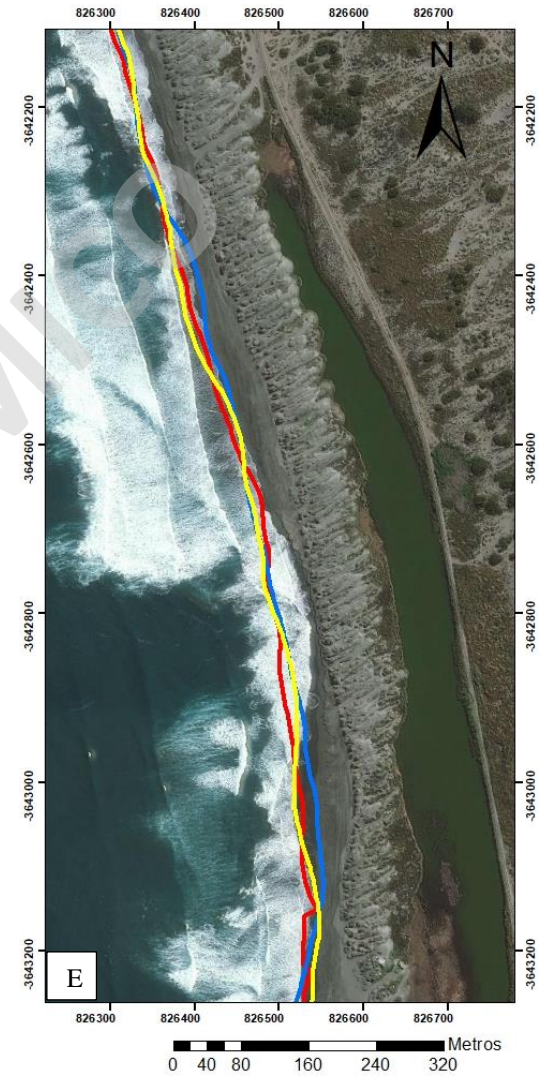
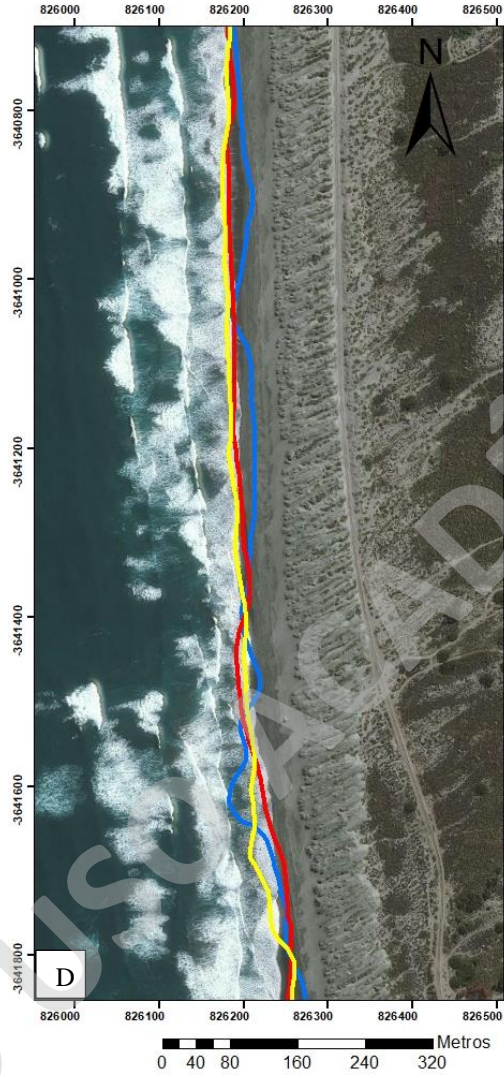


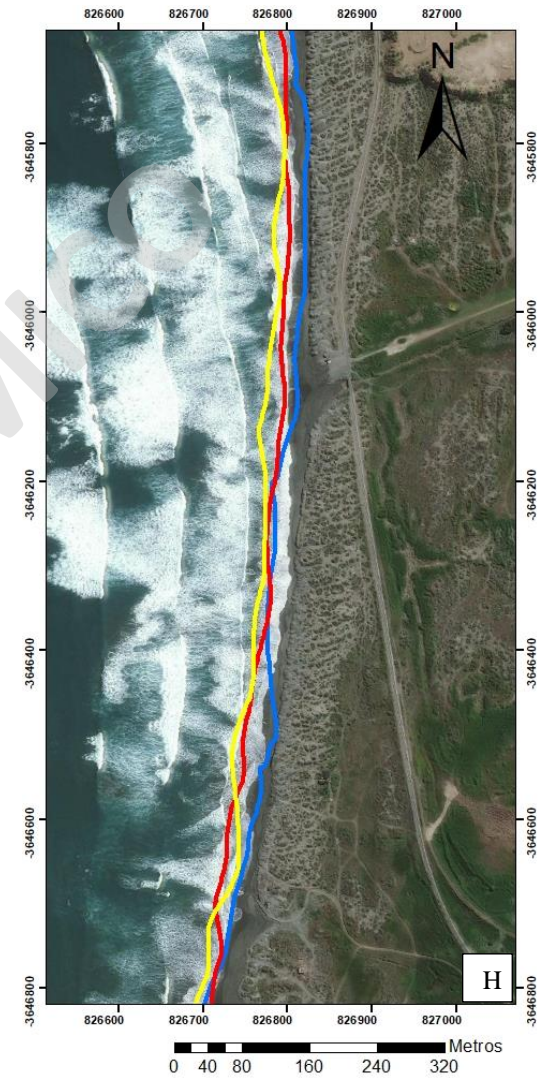
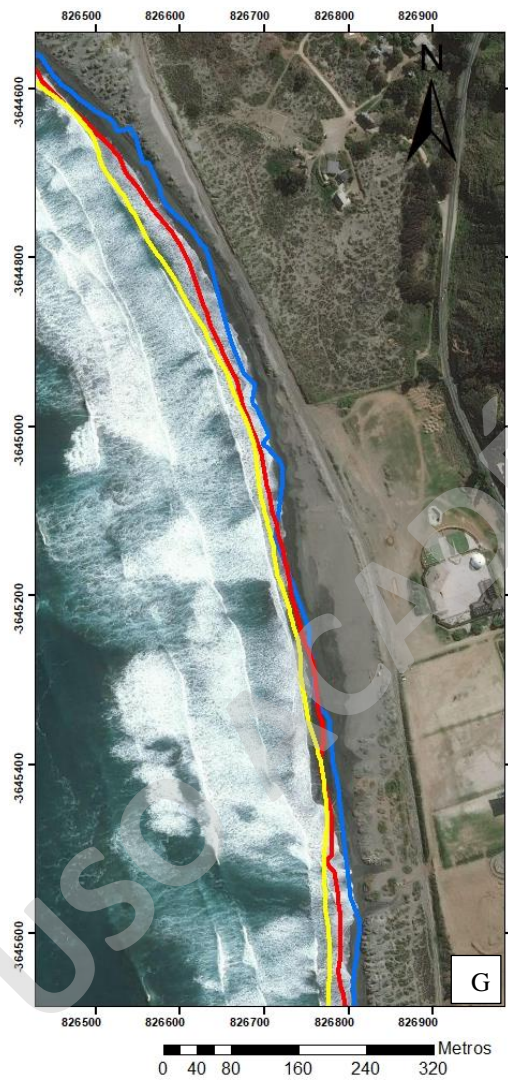
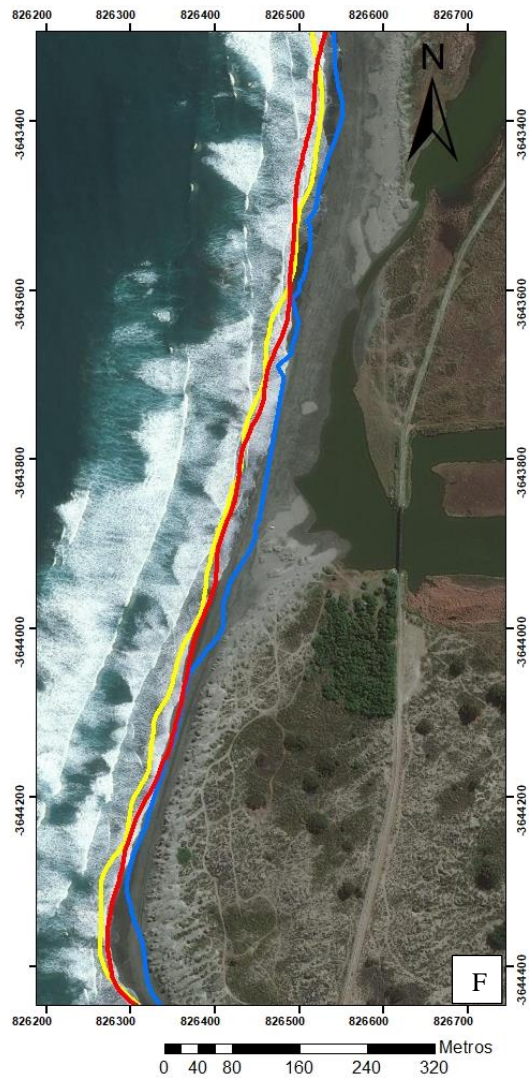
Figura 11. Figuras 11-A y 11-B. Líneas de costa con SHOREX de la temporada de verano para los años 2016, 2017 y 2018, sector norte, zonas A y B.



Leyenda:

— Verano: 2016-01-22
 — Verano: 2017-02-09
 — Verano: 2018-02-12

Figuras 11-C, 11-D y 11-E. Líneas de costa con SHOREX de la temporada de verano para los años 2016, 2017 y 2018, sector centro-norte, zonas C, D y E.



Leyenda:

— Verano: 2016-01-22
 — Verano: 2017-02-09
 — Verano: 2018-02-12

Figuras 11-F, 11-G y 11-H. Líneas de costa con SHOREX de la temporada de verano para los años 2016, 2017 y 2018, sector centro-sur, zonas F, G y H.

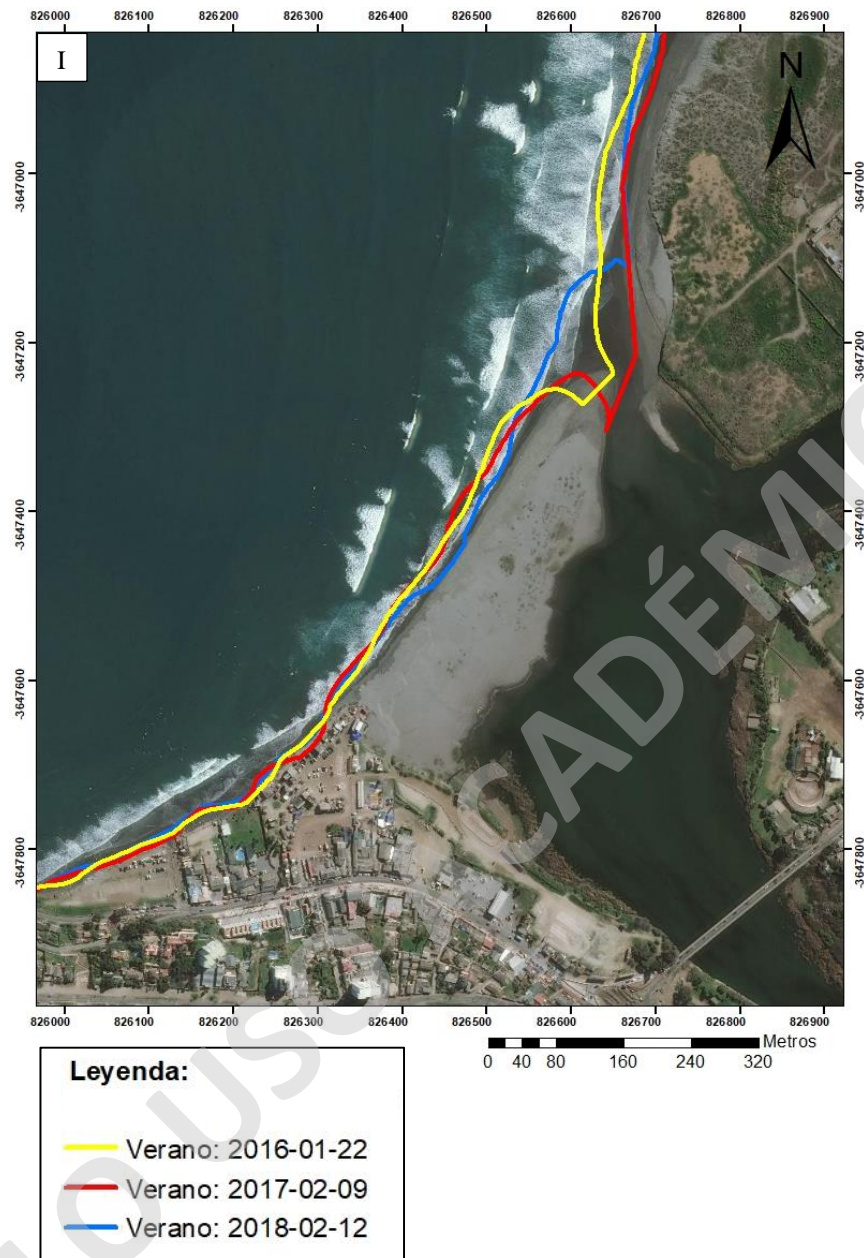


Figura 11-I. Líneas de costa con SHOREX de la temporada de verano para los años 2016, 2017 y 2018, sector sur, zona I.

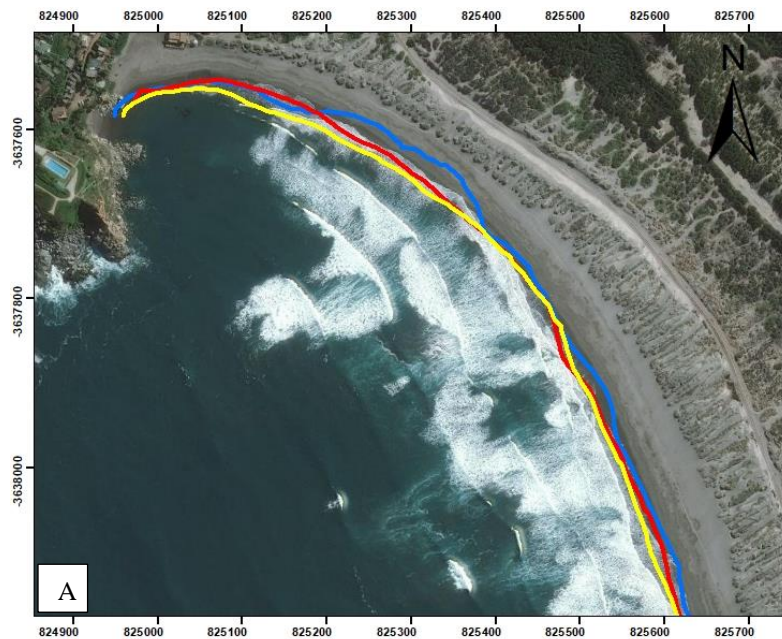
Continuando con otoño entre los años 2016 a 2018, en las Figuras 12-B, 12-C, 12-D, se observa que la línea de costa no muestra tendencia de avance hacia el continente o retroceso hacia el mar entre los periodos para 2016 a 2018, debido a que las líneas de costa presentan posiciones espaciales y geometría similares.

En las Figuras 12-E y 12-F, se observa que la línea de costa tampoco muestra tendencia de avance o retroceso, pero a diferencia de las figuras anteriores las líneas de costa no presentan similitud en la posición, sino que son más dispersas espacialmente entre sí y de geometría irregular que se entrecruzan. Cabe destacar que al sur de la Figura 12-F, muestra de forma constante que la línea de costa avanza hacia el continente desde 2016 a 2018.

En la Figura 12-G, se observa por lo general que la línea de costa avanza hacia el continente desde 2016 a 2018, sin embargo, se aprecian zonas de entrecruzamiento principalmente entre los años 2016 y 2017.

En la Figura 12-I, se observa que, a excepción de la zona de desembocadura del Río Aconcagua, las líneas de costa se encuentran espacialmente más cercanas entre sí en comparación con la figura que la precede al norte (Figura 12-H). La línea de costa avanza hacia el continente desde 2016 a 2018, presentando semejanzas en la posición espacial y traslape entre 2017 y 2018.

Con respecto a la desembocadura del Río Aconcagua, se distingue al igual que en verano que la barra frontal se recupera en 2018.



0 40 80 160 240 320 Metros

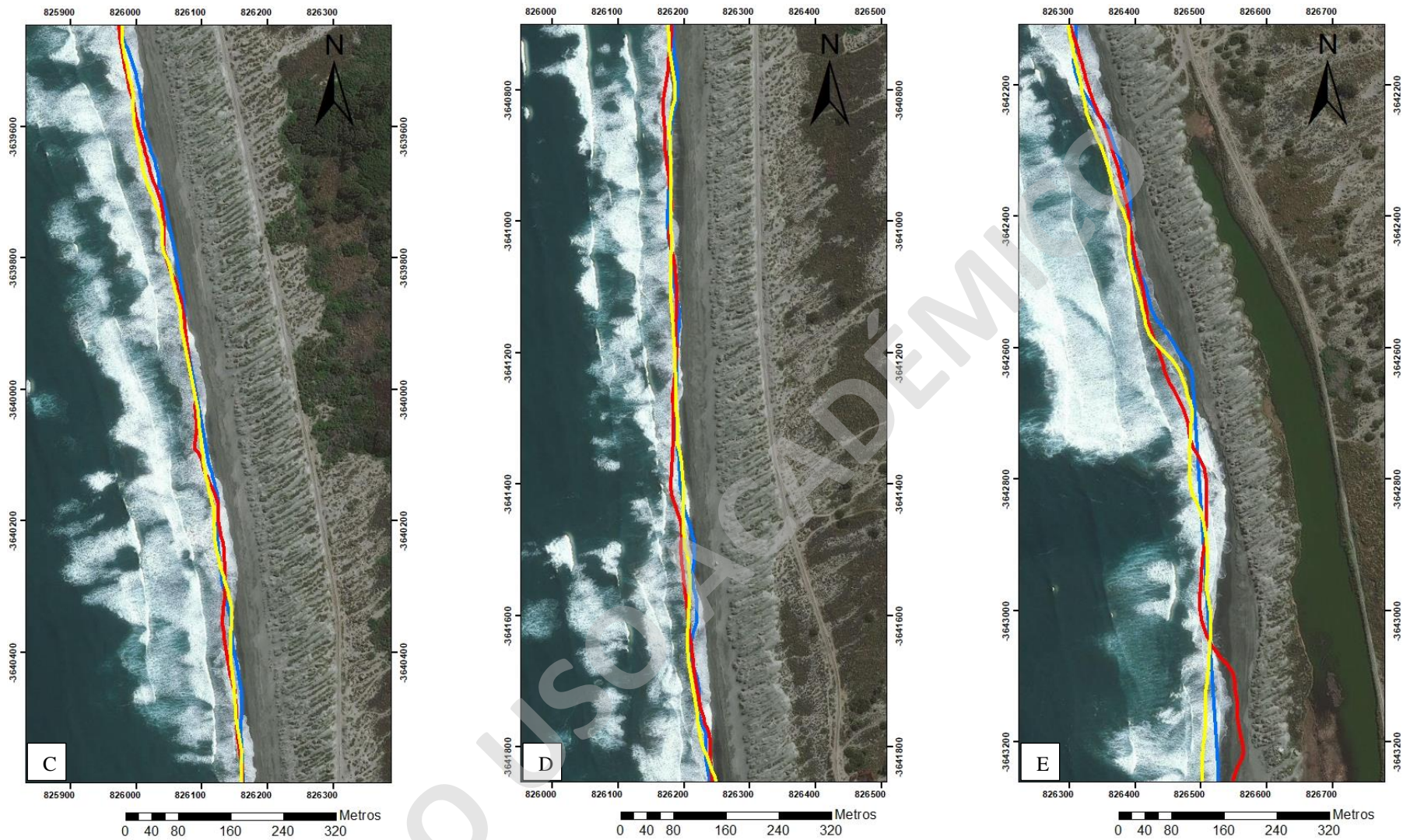
Leyenda:

- Otoño: 2016-06-14
- Otoño: 2017-06-01
- Otoño: 2018-05-19



0 40 80 160 240 320 Metros

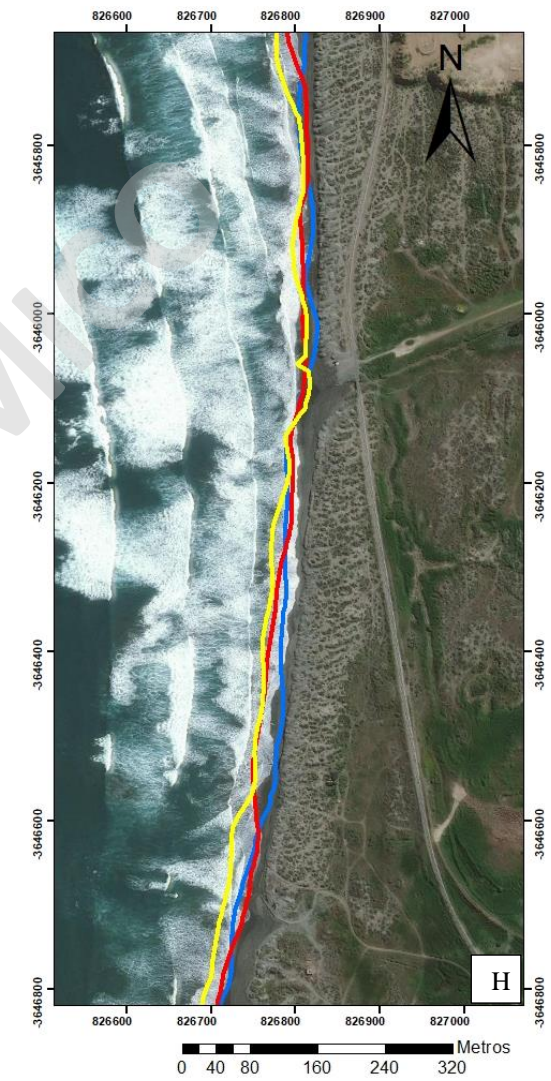
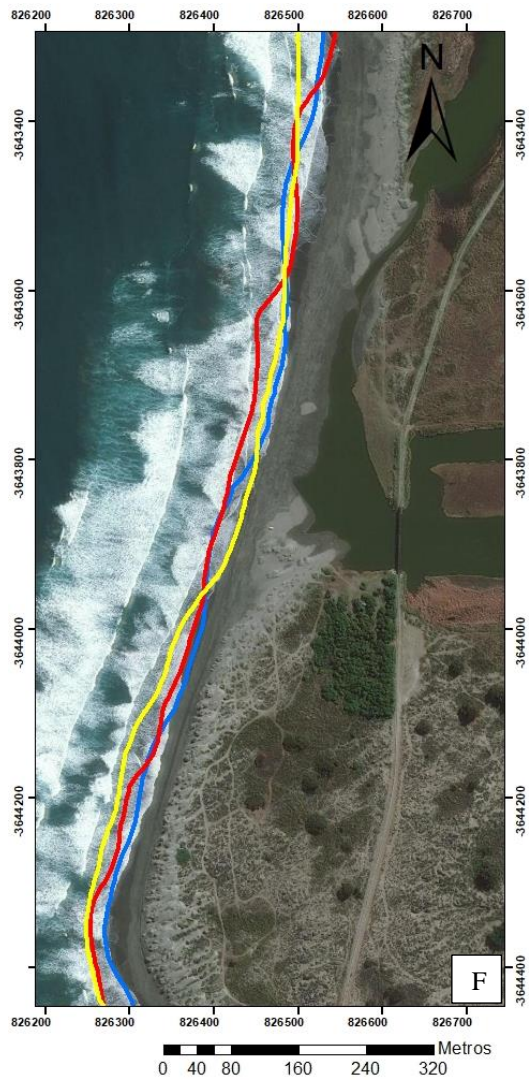
Figura 12. Figuras 12-A y 12-B: Líneas de costa con SHOREX de la temporada de otoño para los años 2016, 2017 y 2018, sector norte, zonas A y B.



Leyenda:

— Otoño: 2016-06-14
 — Otoño: 2017-06-01
 — Otoño: 2018-05-19

Figuras 12-C, 12-D y 12-E. Líneas de costa con SHOREX de la temporada de otoño para los años 2016, 2017 y 2018, sector centro-norte, zonas C, D y E.



Leyenda:

— Otoño: 2016-06-14
 — Otoño: 2017-06-01
 — Otoño: 2018-05-19

Figuras 12-F, 12-G y 12-H. Líneas de costa con SHOREX de la temporada de otoño para los años 2016, 2017 y 2018, sector centro-sur, zonas F, G y H.

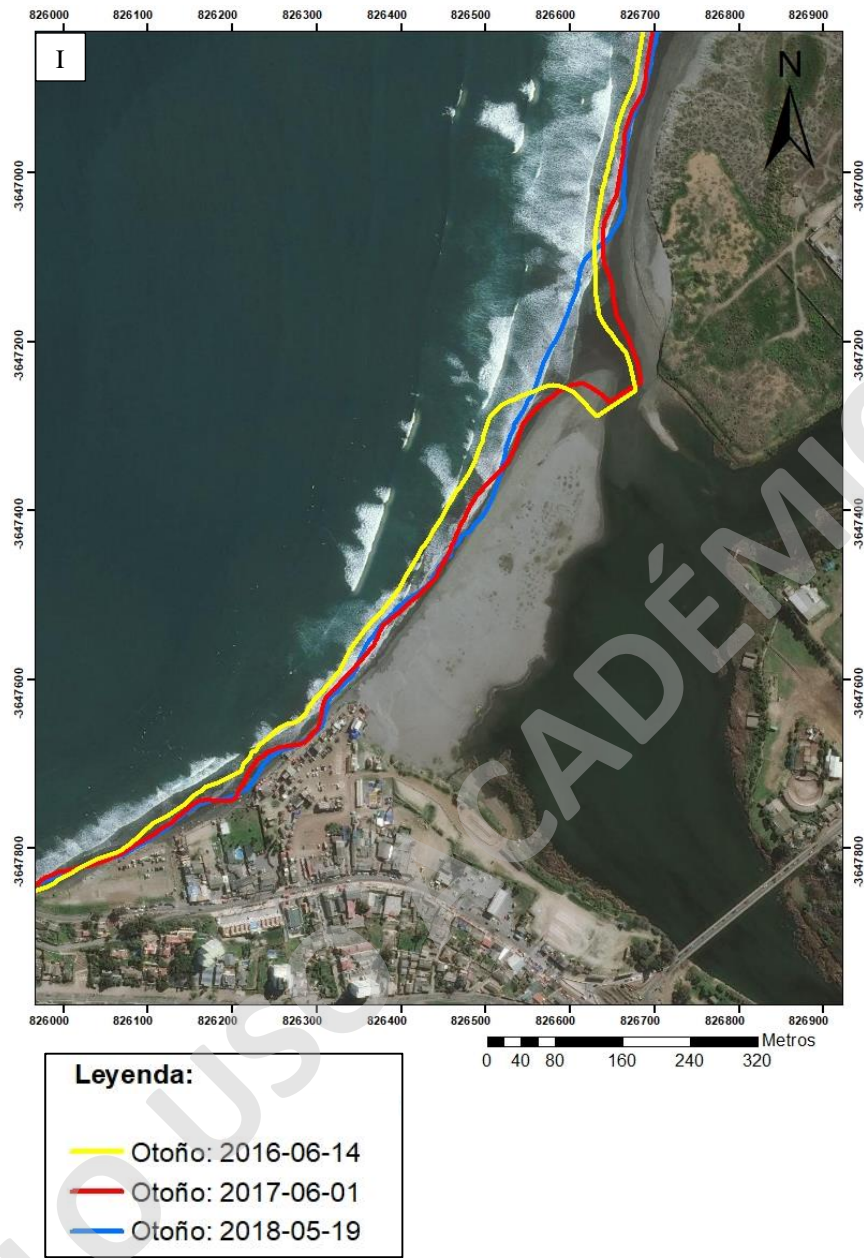


Figura 12-I. Líneas de costa con SHOREX de la temporada de otoño para los años 2016, 2017 y 2018, sector sur, zona I.

Con respecto a invierno para los años 2016 a 2018, en las Figuras 13-A, 13-G y 13-I no se observan tendencias de que la línea de costa avance hacia el continente o retroceda hacia al mar para 2016 a 2018, debido a que las líneas muestran similitud en el posicionamiento espacial, presentando traslapes de forma regular.

En las Figuras 13-B y 13-F tampoco se observan tendencias de que línea de costa avance o retroceda entre 2016 a 2018 pero a diferencia de las figuras anteriores (Figuras 13-A, 13-G y 13-I), las líneas de costa presentan mayor variabilidad en la posición espacial y entrecruzamiento entre ellas.

En cambio, en las Figuras 13-C, 13-D y 13-E, se observa que por lo general la línea de costa avanza constantemente hacia el continente desde 2016 a 2018. Sin embargo, existen zonas acotadas donde se entrecruzan las líneas de costa.

En la Figura 13-H, también se observa que la línea de costa avanza hacia el continente al menos desde 2016 a 2017, a diferencia de las figuras anteriores (Figuras 13-C, 13-D y 13-E), espacialmente las líneas de costa se ubican más cercanas entre sí, cabe destacar que las líneas de costa de 2017 y 2018 se encuentran generalmente en semejante posición, excepto en la zona centro donde la línea de 2018 está más cerca del continente en comparación con el año 2017.

Con respecto a la desembocadura del Río Aconcagua, a diferencia de las temporadas anteriores, en invierno la barra frontal se recupera tanto en 2017 y 2018.

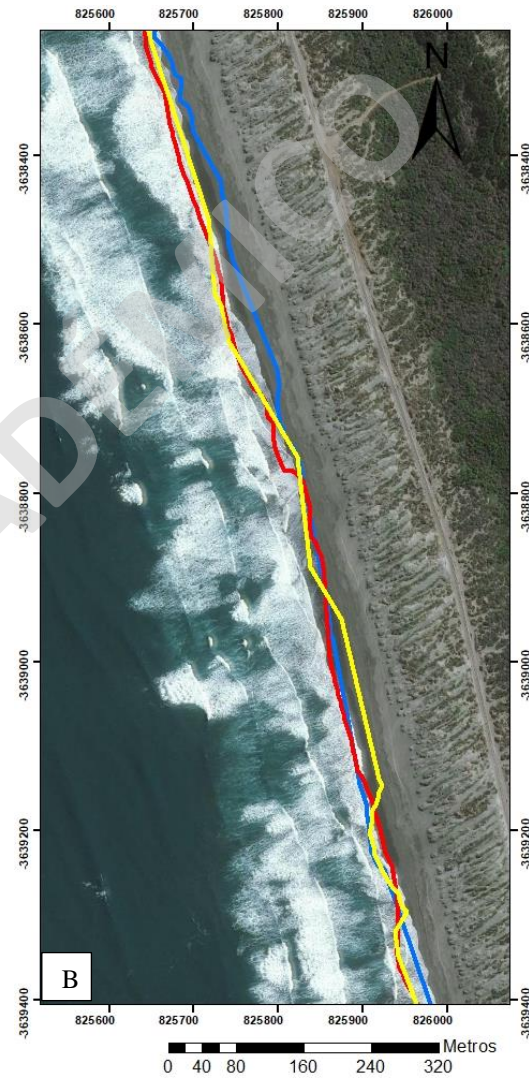
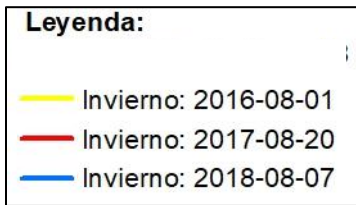
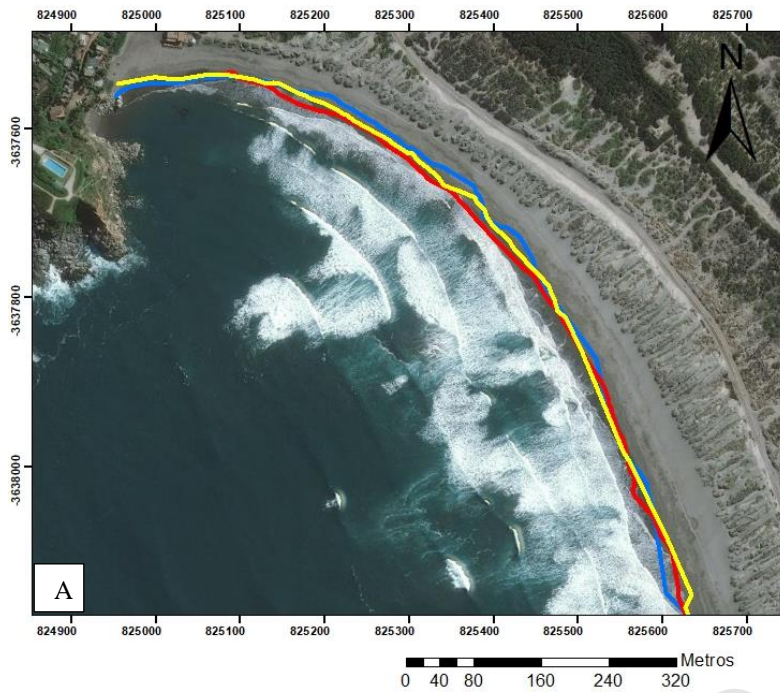
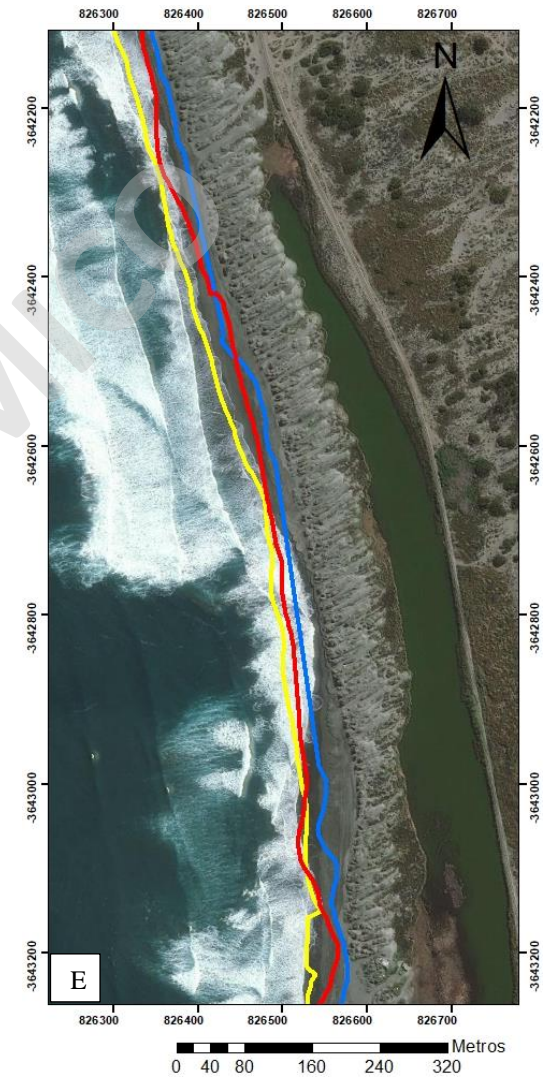
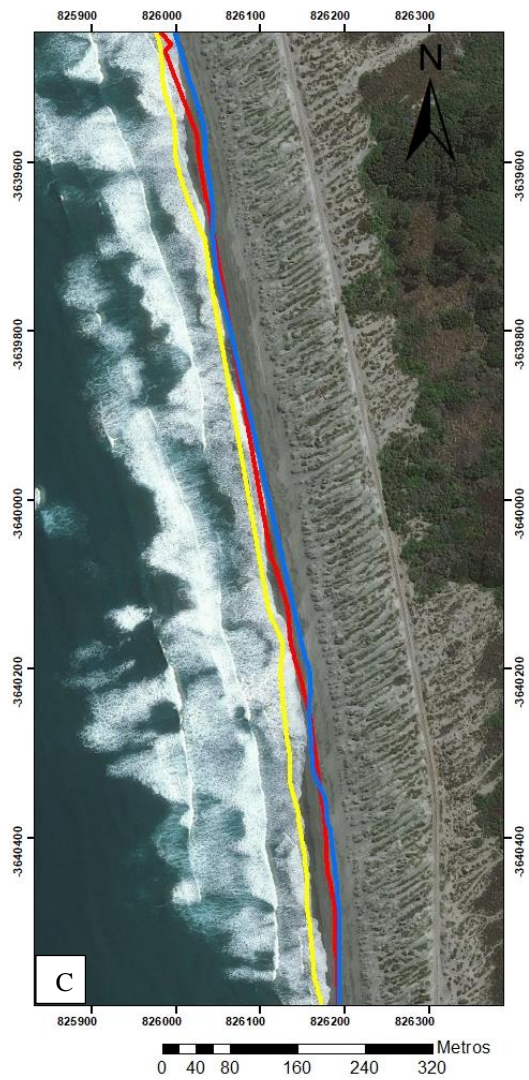


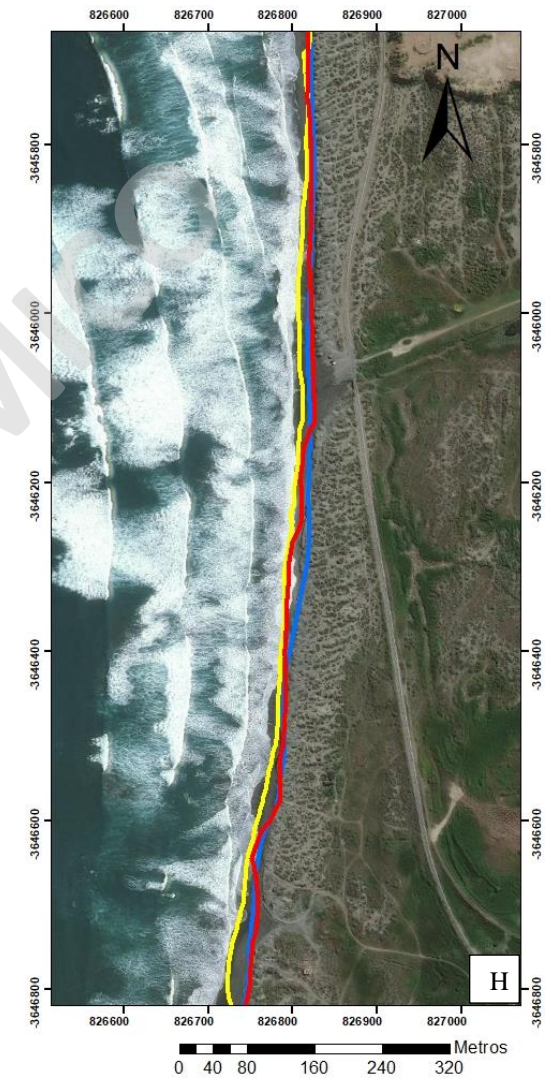
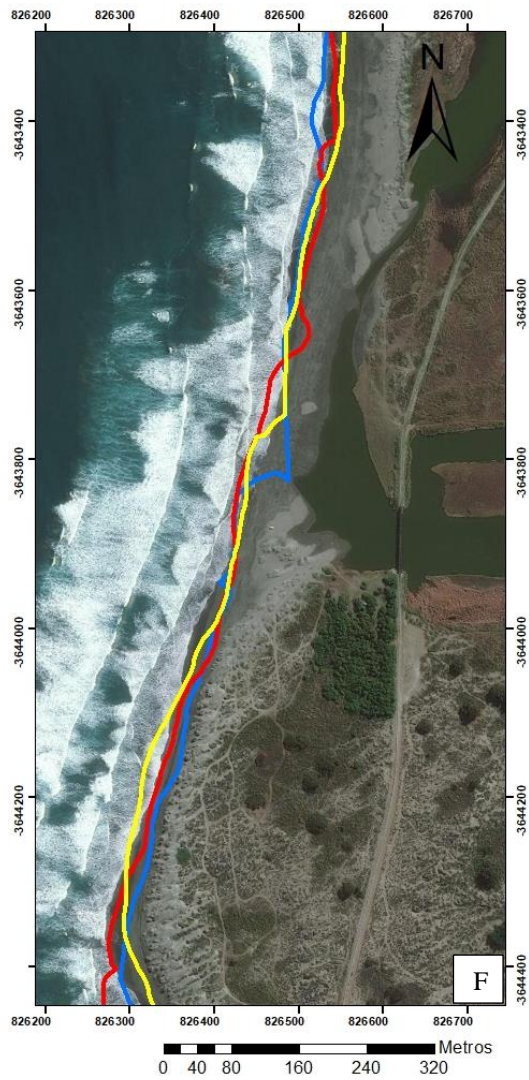
Figura 13. Figuras 13-A y 13-B: Líneas de costa con SHOREX de la temporada de invierno para los años 2016, 2017 y 2018, sector norte, zonas A y B.



Leyenda:

— Invierno: 2016-08-01
 — Invierno: 2017-08-20
 — Invierno: 2018-08-07

Figuras 13-C, 13-D y 13-E. Líneas de costa con SHOREX de la temporada de invierno para los años 2016, 2017 y 2018, sector centro-norte, zonas C, D y E.



Leyenda:

— Invierno: 2016-08-01
 — Invierno: 2017-08-20
 — Invierno: 2018-08-07

Figuras 13-F, 13-G y 13-H. Líneas de costa con SHOREX de la temporada de invierno para los años 2016, 2017 y 2018, sector centro-sur, zonas F, G y H.

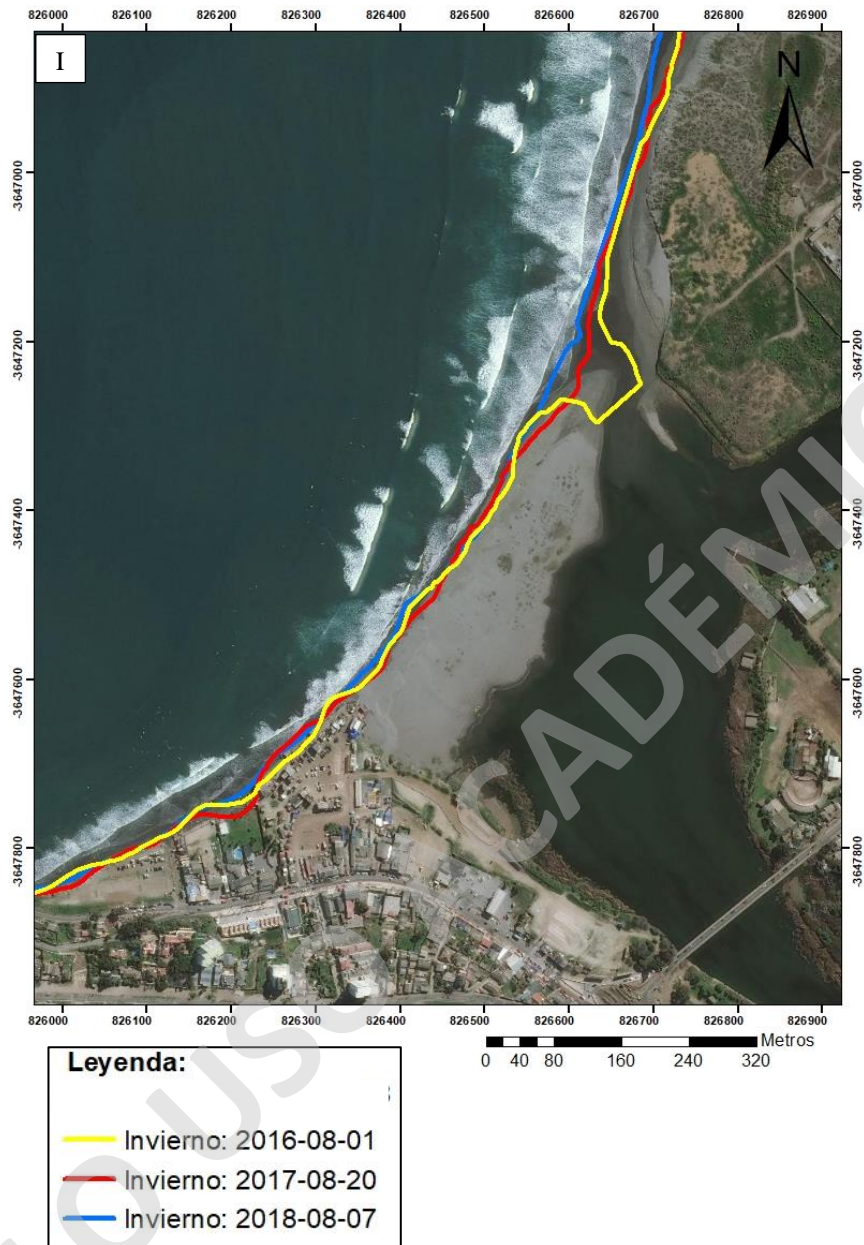


Figura 13-I. Líneas de costa con SHOREX de la temporada de invierno para los años 2016, 2017 y 2018, sector sur, zonas I.

En tanto, primavera para los años 2016 a 2018, en las Figuras 14-A, 14-B, 14-G y 14-I, no se observa que la línea de costa tienda a avanzar hacia el continente o retroceder hacia el mar para el periodo entre 2016 a 2018, debido a que espacialmente las líneas de costa se encuentran en semejante posición, existiendo traslape y entrecruzamiento de las líneas.

En las Figuras 14-C y 14-D, se observa que la línea de costa para el periodo 2016 y 2017 por lo general presenta escasa variabilidad espacial, y que hacia 2018 existen zonas donde la línea de costa avanza hacia el continente, pero en otras zonas presenta traslape con las líneas de 2016 y 2017, por lo que el avance de la línea de costa hacia el continente es irregular.

Por otra parte, en las Figuras 14-E, 14-F y 14-H se observa que la línea de costa presenta mayor variabilidad que con respecto a las otras figuras, mostrando mayor separabilidad espacial e irregularidad geométrica para 2016 a 2018. A su vez, se observa que entre las líneas de costa presentan entrecruzamiento, sin embargo, se aprecian zonas donde la línea avanza hacia el continente desde 2016 a 2018, por lo que se considera que la línea de costa avanza hacia el continente, pero no de forma sostenida y regular.

Con respecto a la desembocadura del Río Aconcagua (Figura 14-I), se distingue que el igual que en invierno, la barra se recupera para los años 2017 y 2018.

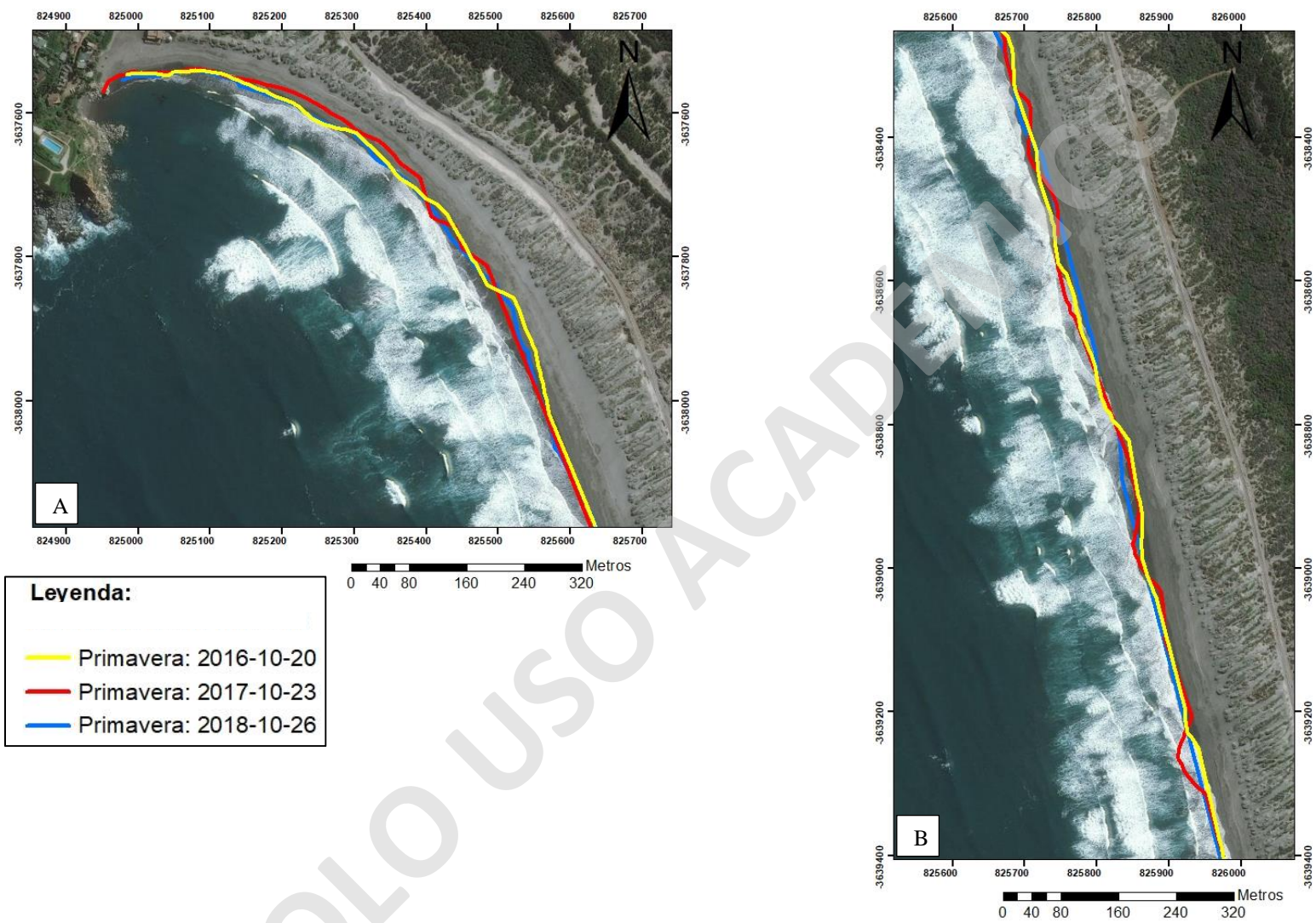
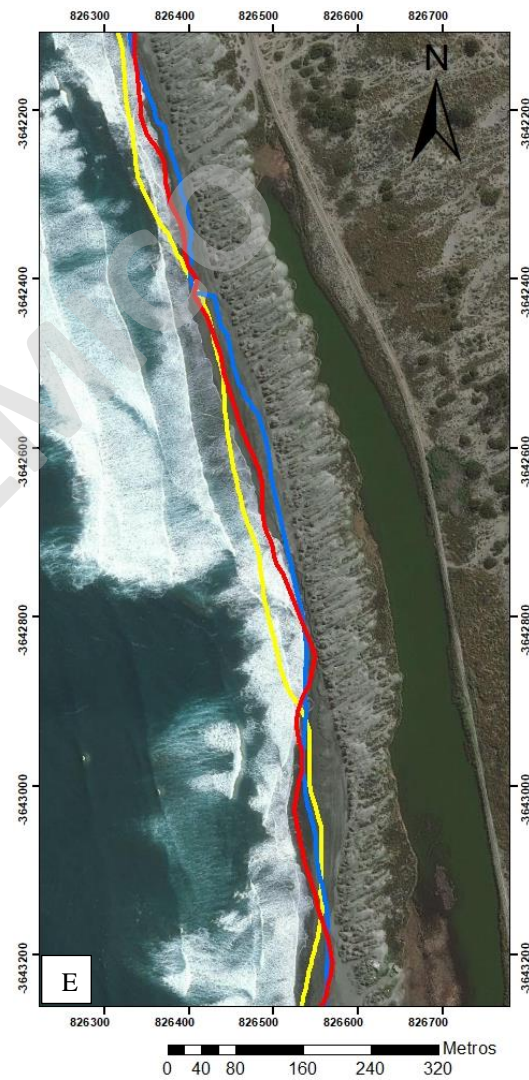
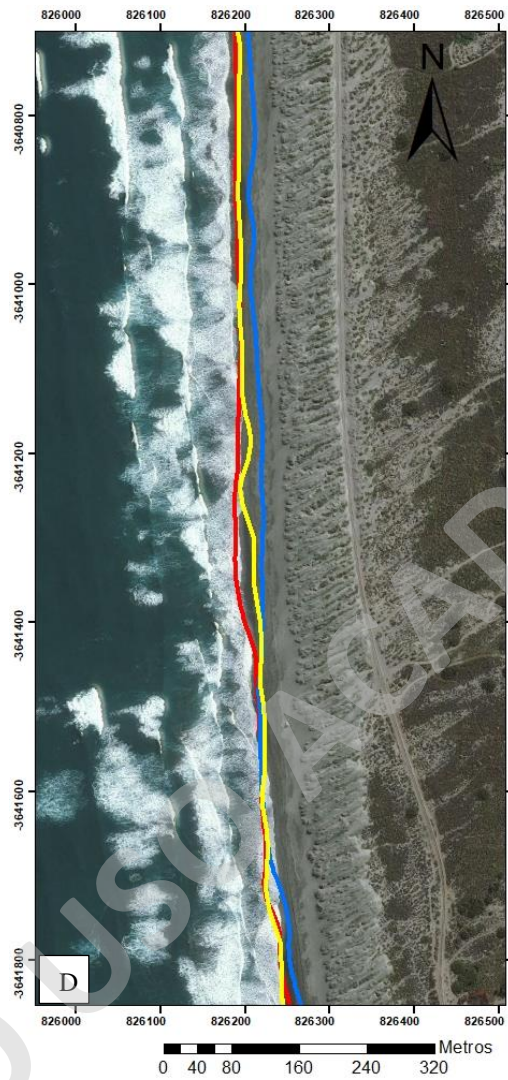
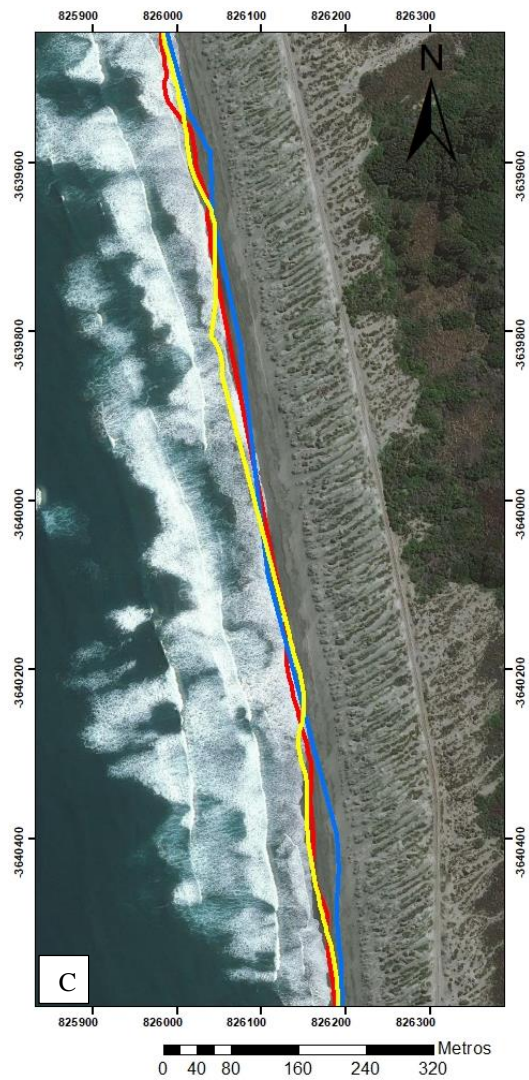


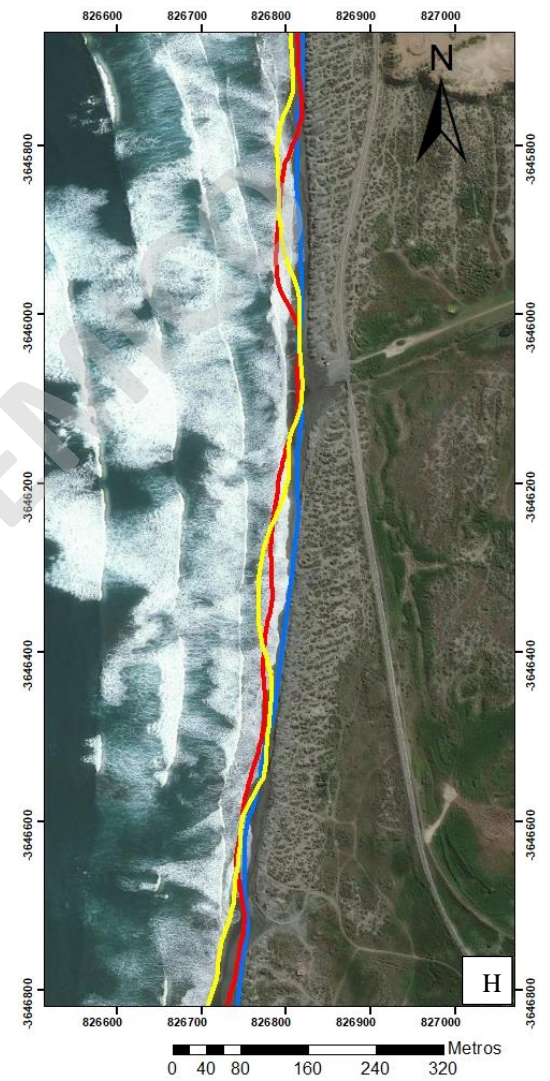
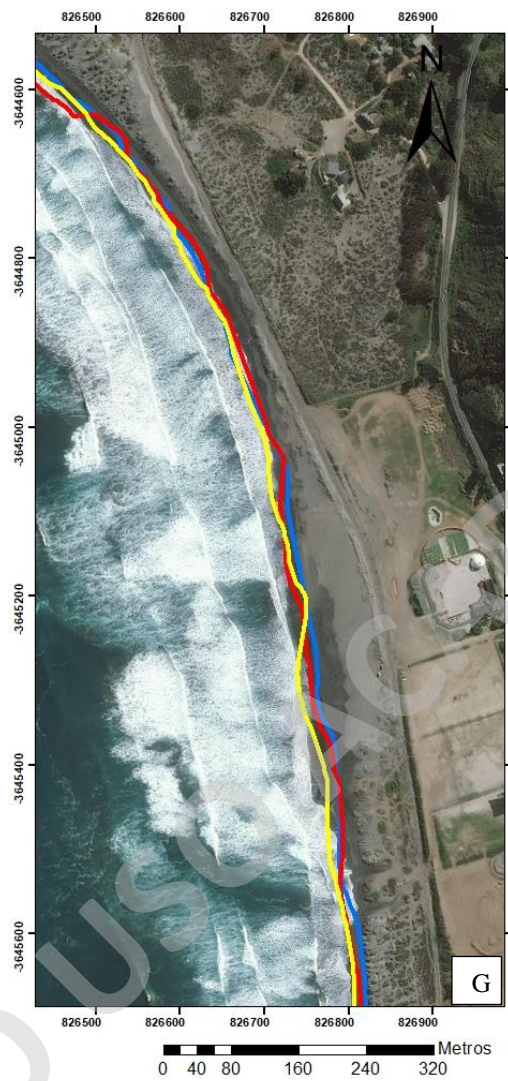
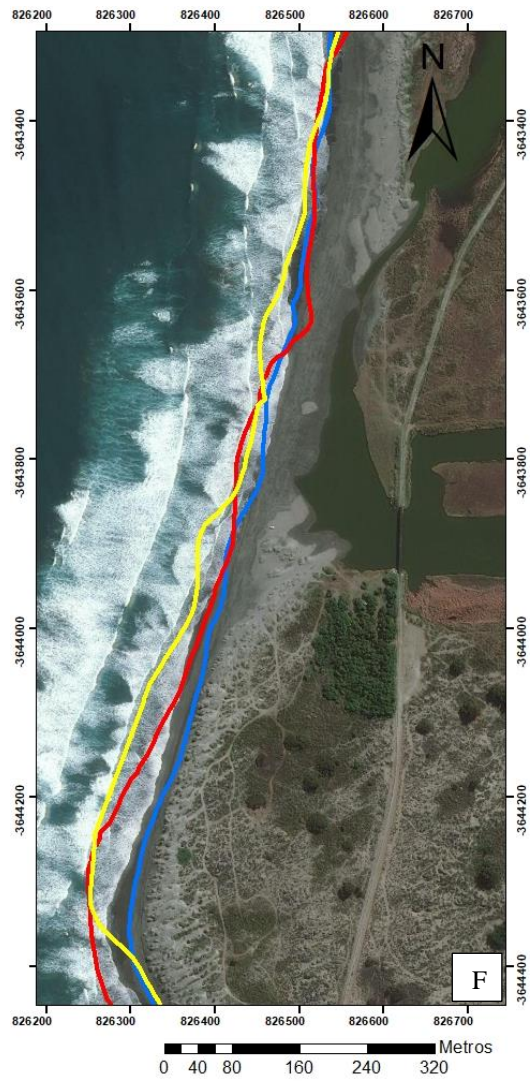
Figura 14. Figuras 14-A y 14-B: Líneas de costa con SHOREX de la temporada de primavera para los años 2016, 2017 y 2018, sector norte, zonas A y B.



Leyenda:

— Primavera: 2016-10-20
 — Primavera: 2017-10-23
 — Primavera: 2018-10-26

Figuras 14-C, 14-D y 14-E. Líneas de costa con SHOREX de la temporada de primavera para los años 2016, 2017 y 2018, sector centro-norte, zonas C, D y E.



Leyenda:

— Primavera: 2016-10-20
 — Primavera: 2017-10-23
 — Primavera: 2018-10-26

Figuras 14-F, 14-G y 14-H. Líneas de costa con SHOREX de la temporada de primavera para los años 2016, 2017 y 2018, sector centro-sur, zonas F, G y H.

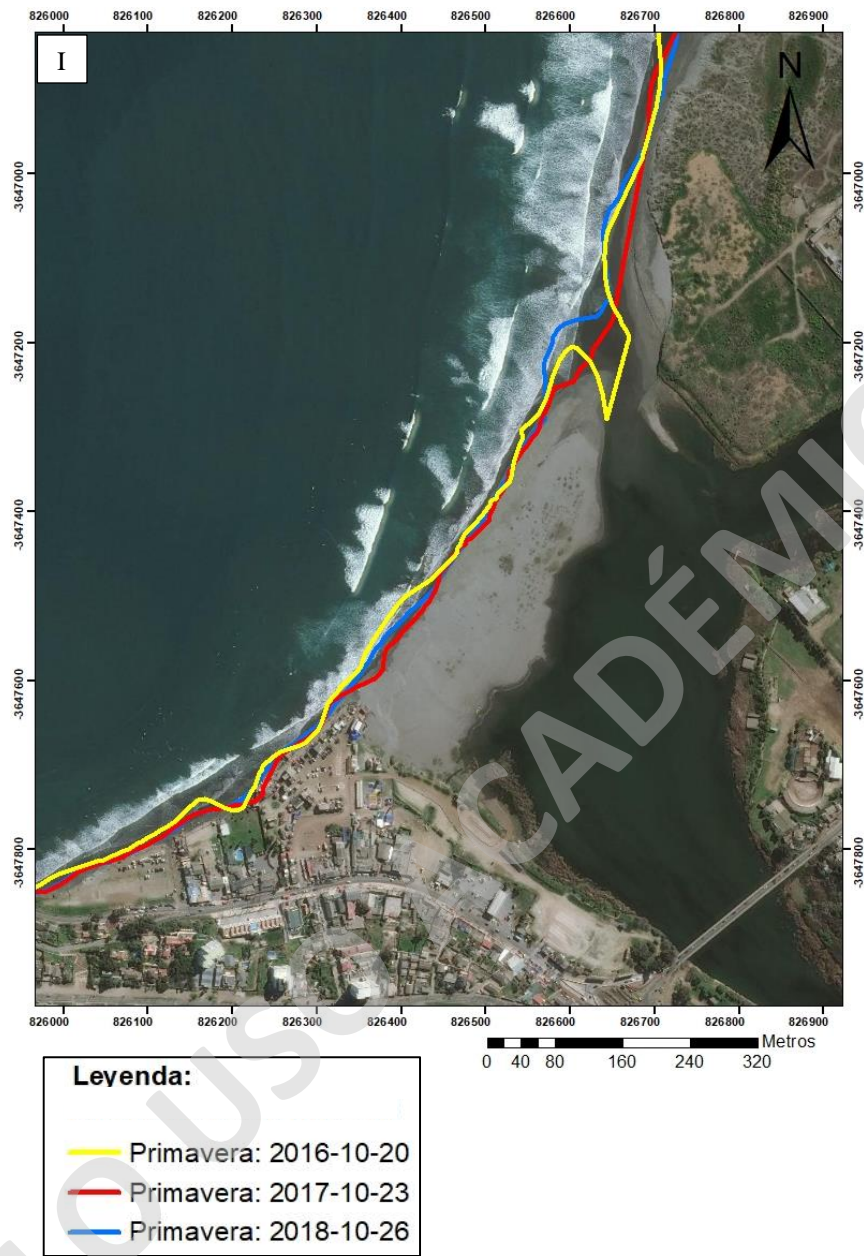


Figura 14-I. Líneas de costa con SHOREX de la temporada de primavera para los años 2016, 2017 y 2018, sector sur, zona I.

4.1.2. Líneas de costa con GPS diferencial

Las líneas de costa obtenidas con GPS diferencial comienzan desde diciembre de 2018 y terminan en octubre de 2019, que al igual que las obtenidas con SHOREX fueron divididas, en este caso, en tres polígonos debido a que corresponde a la zona sur del área de estudio (Figura 15). Correspondiendo el sector norte con la letra G, sector centro con la letra H y sector sur con la letra I. Se puede observar que tanto en las Figuras 15-G, 15-H y 15-I por lo general en otoño la línea de costa está más cerca del mar, en cambio en invierno la línea de costa está más cerca del continente. Mientras que verano y primavera corresponden a posiciones intermedias similares.

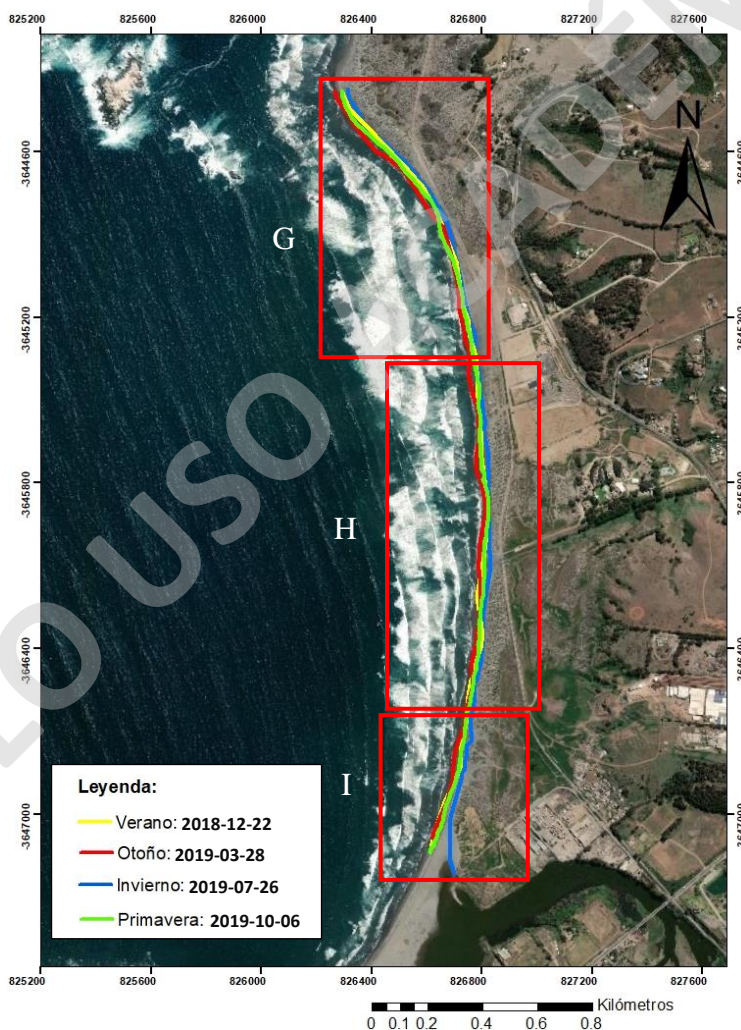
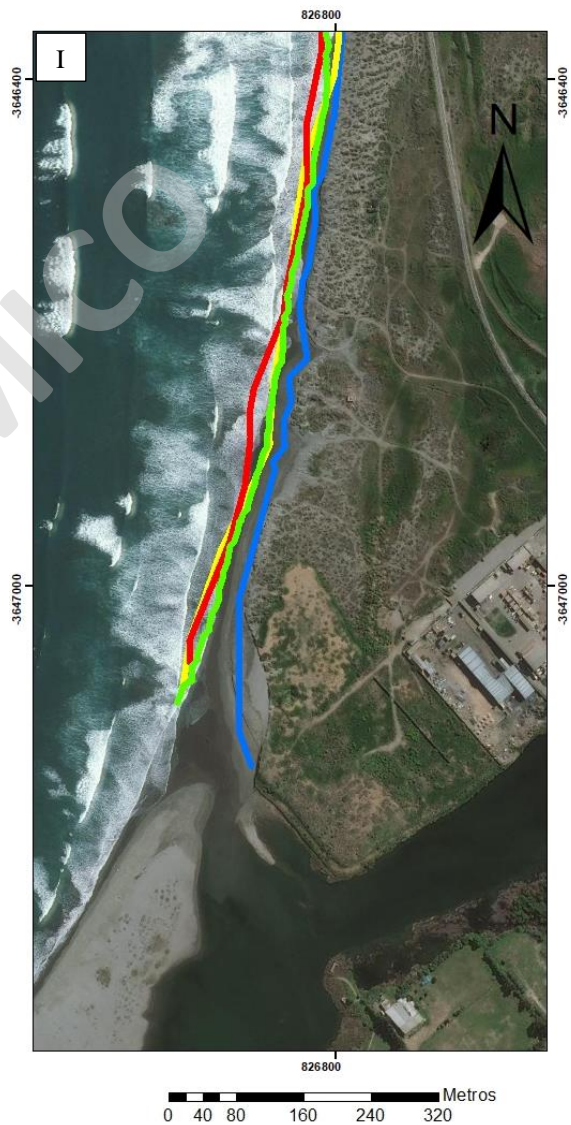
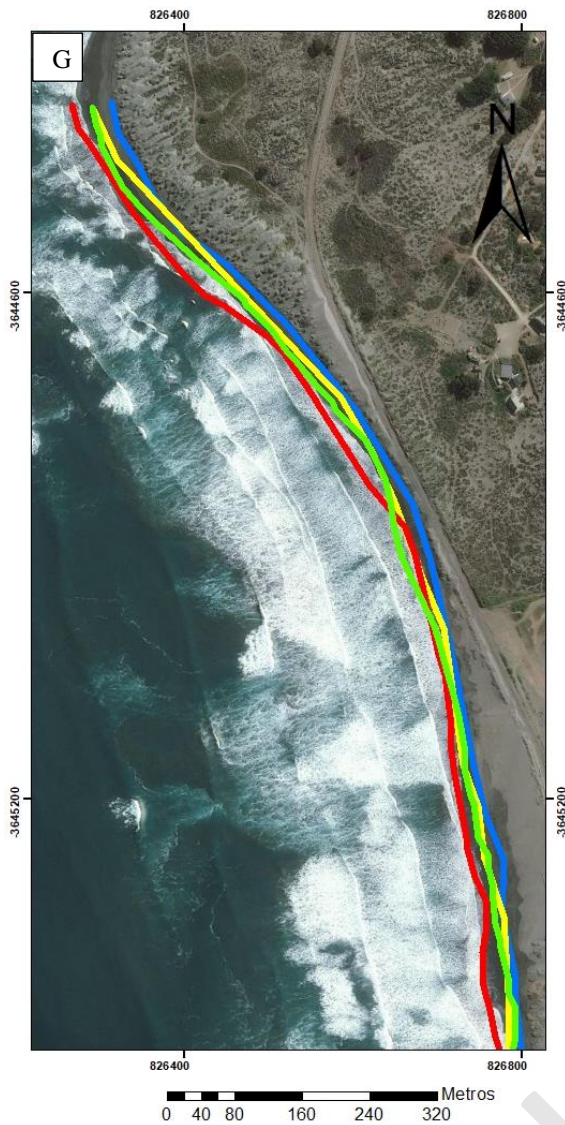


Figura 15. Líneas de costa con GPS diferencial para verano de 2018 a primavera de 2019. El área de estudio correspondiente a la zona sur se subdivide en tres polígonos, zona G (norte), H (centro) e I (sur).



Leyenda:

- Verano: 2018-12-22
- Otoño: 2019-03-28
- Invierno: 2019-07-26
- Primavera: 2019-10-06

Figuras 15-G, 15-H y 15-I. Líneas de costa con GPS diferencial para verano de 2018 a primavera de 2019. Sectores norte, centro y sur de la Figura 15. Zonas G, H e I.

4.1.3. Ancho de la Costa

Con las líneas de costas obtenidas a través de SHOREX y GPS diferencial se obtuvo el ancho de costa en promedio entre los años 2016 y 2019 (Figura 16), el cual permite observar y categorizar zonas de la playa con variaciones en el ancho, siendo la zona sur la más angosta, a excepción del sector de la desembocadura del Río Aconcagua, donde presenta valores de 45 m a 90 m de ancho. Las zonas central y norte abarcan por lo general anchos de 45 m a 105 m, a lo largo de cerca de 7 km de playa, el sector más ancho lo presenta el humedal, ubicada al centro con valores entre 105 m a 137 m.

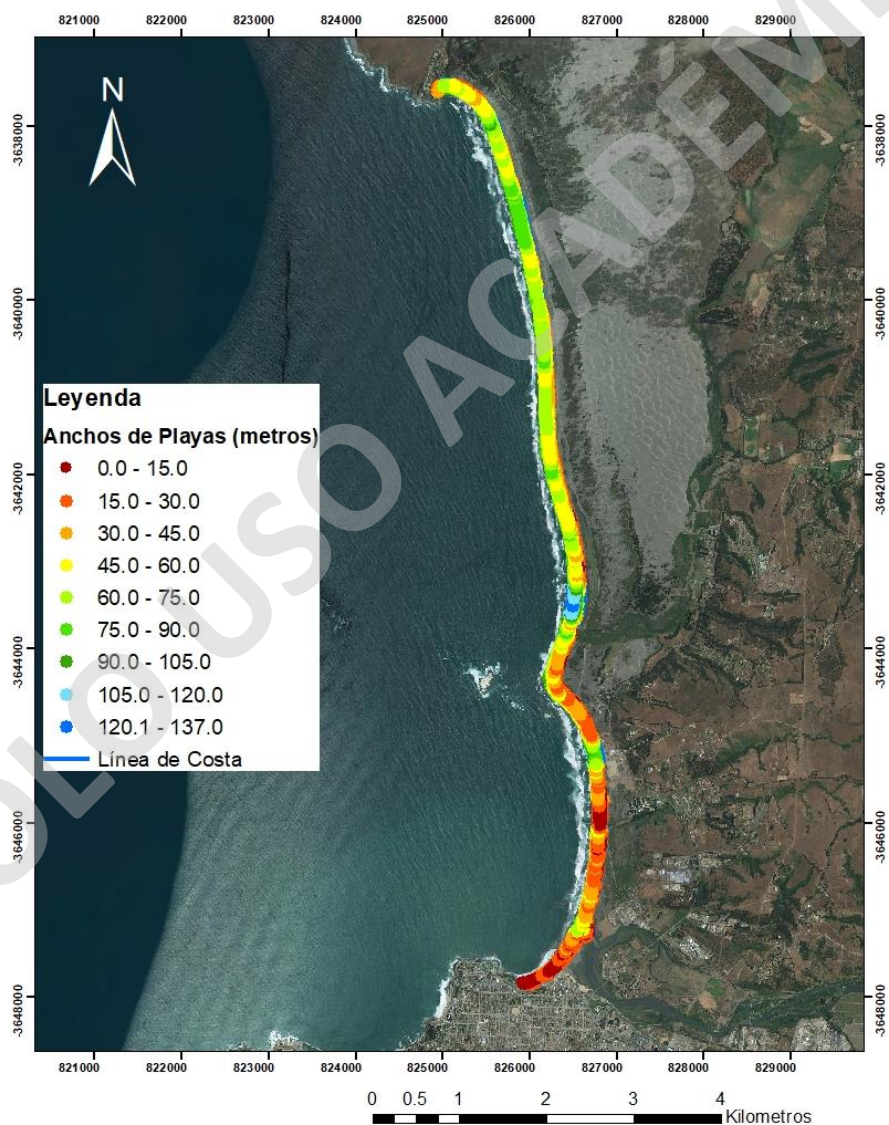


Figura 16. Promedios de los anchos de la Playa de Concón de 2016 a 2019, calculados a partir de las líneas de costas SHOREX y GPS diferencial.

4.1.4. Perfiles de elevación

Los perfiles de elevación representan las variables longitudinal y vertical de la costa, que a su vez permiten establecer zonas típicas de playa, discretizándolas según sub-ambientes presentes (Figura 17) delimitando cada sub-ambiente por los cambios en la pendiente en el perfil de playa (Arche, 2010). Los sub-ambientes presentes típicos son el médano (localmente llamada duna o duna costera), backshore (término en inglés que hace referencia a la trasplaya o playa alta), foreshore (que hace referencia al frente de playa donde rompe la ola) y shoreface (que hace referencia al fondo marino afectado por las olas), los cuales a su vez varían debido al avance y retroceso de la línea de costa.

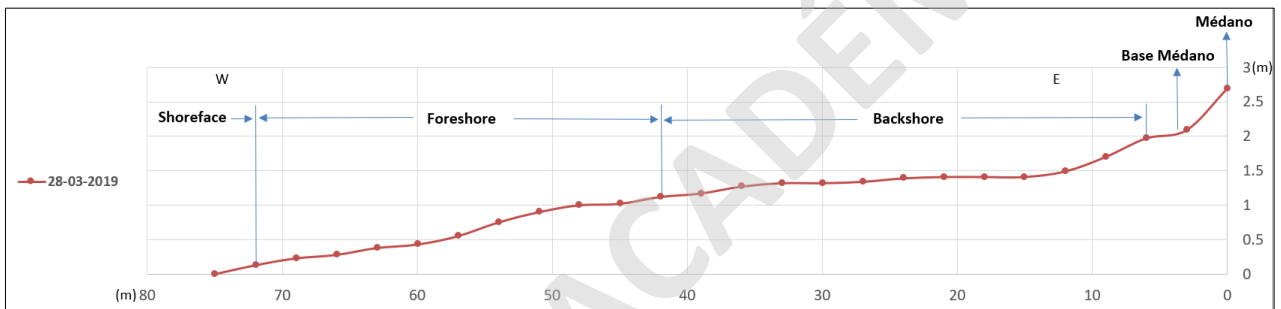


Figura 17. Perfil 7 de elevación con sub-ambientes de playa. El criterio para delimitar los sub-ambientes es por los cambios de pendientes de Arche (2010).

En el perfil 7 (Figura 18) se observa como varía principalmente el ancho de la costa en tres fechas distintas, alcanzado el máximo retroceso de la línea de costa hacia el mar para finales de marzo de 2019 y el máximo avance hacia el continente para finales de julio de 2019.

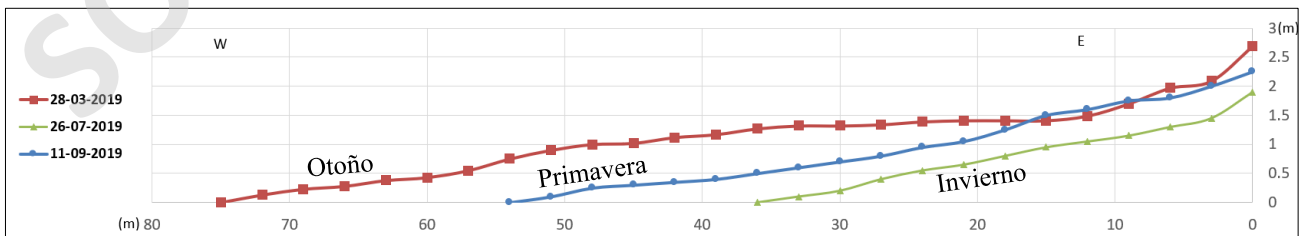


Figura 18. Perfil 7 de elevación, fechas: 28/03/2019, 26/07/2019 y 11/09/2019.

El perfil 8 (Figura 19) se ubica paralelo a la desembocadura del Río Aconcagua. Se observa que el máximo retroceso de la línea de costa hacia el mar es a finales de marzo de 2019 y el máximo avance hacia el continente es a finales de julio de 2019.

Las variaciones en las alturas de las curvas son debido a la formación de barreras frontales en la desembocadura del Río Aconcagua, caso contrario para finales de julio de 2019 donde el mar conecta con el río, impidiendo la formación de barras frontales y acotando el ancho de la costa.

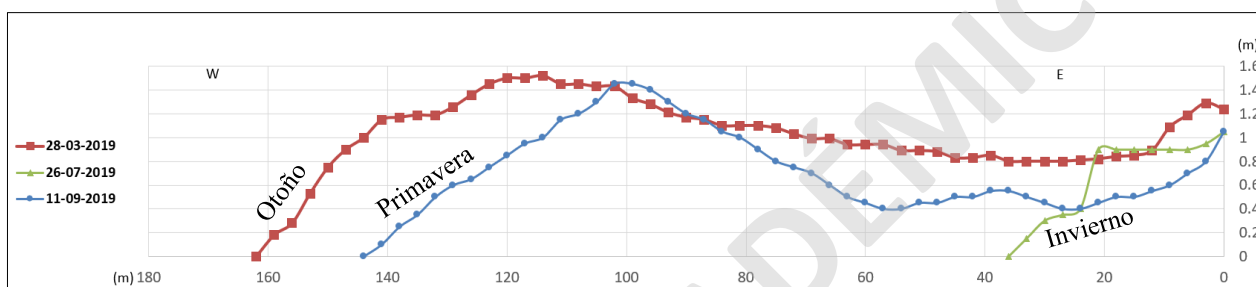


Figura 19. Perfil 8 de elevación, fechas: 28/03/2019, 26/07/2019 y 11/09/2019.

4.1.5. Zonas de erosión y acreción

Los resultados del DSAS sobre las 58 líneas de costa de la Bahía de Concón entre los períodos de 2016 y 2019 muestran variabilidad a lo largo de la playa con respecto a las zonas de erosión y acreción, presentado sectores específicos y mixtas de erosión-acreción (Figura 20).

La zona sur es la que concentra los mayores rangos de erosión en toda el área de estudio abarcando tasas negativas de Tasa de Punto Final (TPF) que van desde los 3 m hasta los 9.8 m de erosión entre los años de 2016 a 2019 a lo largo de 3 km de playa. A excepción del sector que corresponde a la desembocadura del Río Aconcagua que presenta valores positivos de TPF que varía desde los 0.5 m a 29 m de acreción en el mismo periodo.

La zona centro presenta un régimen mixto de zonas de erosión y acreción que, gradualmente hacia el norte presenta una tendencia predominante de acreción.

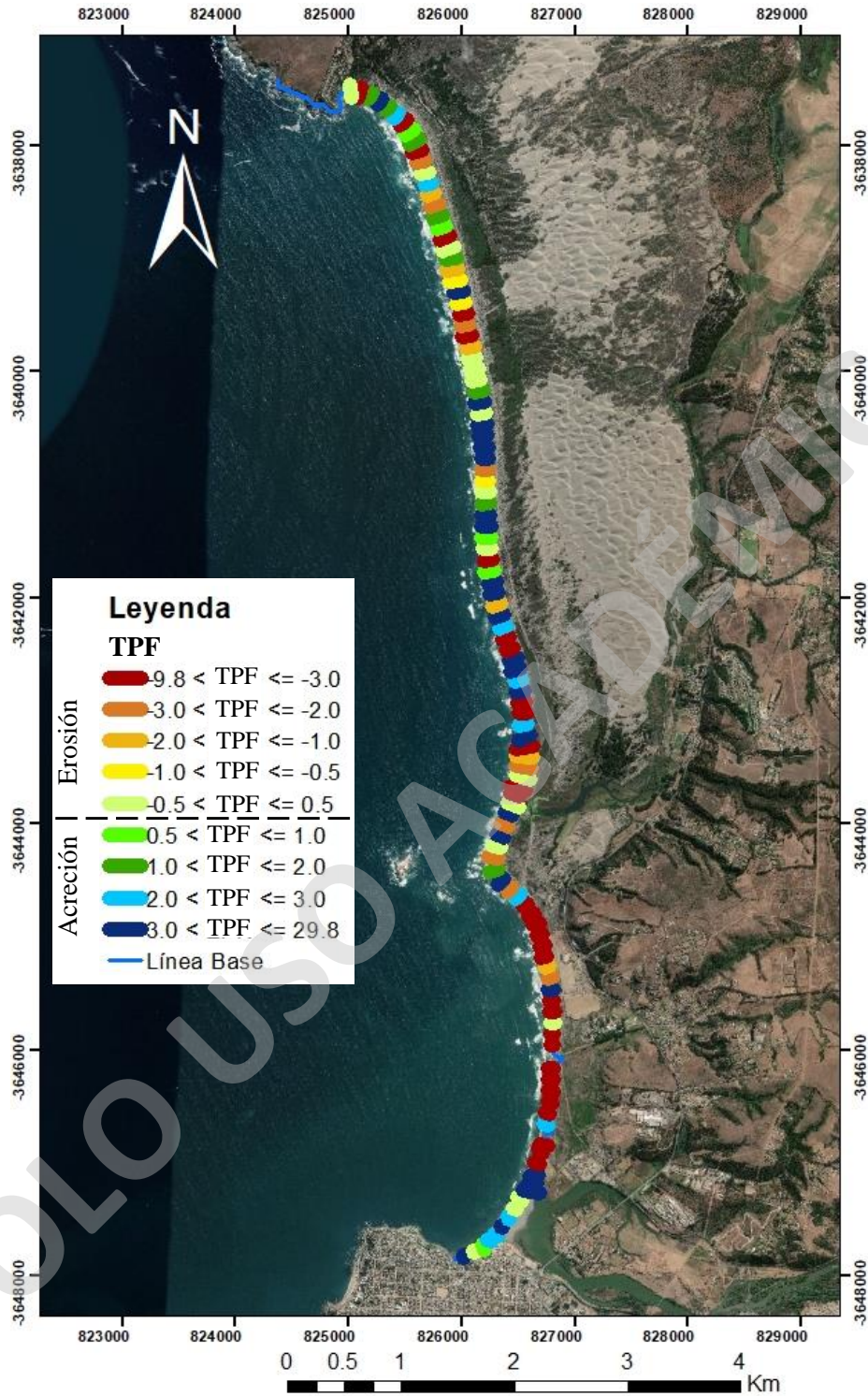


Figura 20. Zonas de erosión y acreción de la Playa de Concón de 2016 a 2019, calculadas a partir de las líneas de costa SHOREX y GPS diferencial.

4.2. Granulometría

Se realizaron un total de 72 muestras de arenas formando transectos perpendiculares a la línea de costa, asociados a los 8 perfiles de referencia definidos (Figura 7). Cada transecto incluye 3 muestras de sedimentos superficiales representativos del sub-ambiente costero, una en el foreshore, una en el backshore y una en la base del médano.

Las muestras fueron recogidas siguiendo el siguiente orden cronológico: 24 tomas de sedimentos de playa en las fechas de 06/12/2018 y 22/12/2018, correspondiente a finales de primavera e inicios de verano, 24 tomas de sedimentos de playa en las fechas de 19/03/2019 y 28/03/2019 correspondiente a finales de verano e inicios de otoño y 24 tomas de muestras de sedimentos de playa en la fecha de 19/07/2019 correspondientes a mediados de invierno.

Las curvas granulométricas enseñan el comportamiento y concentración del tamaño del sedimento según transporte predominante por sub-ambiente, para una misma transecta de playa. A continuación, se presentan las curvas granulométricas desde el perfil 1 al 8, describiendo cada grafico ordenado por fecha con la concentración en porcentaje de las categorías granulométricas. Cada perfil se complementa con tablas que detallan los porcentajes de cada categoría granulométrica por sub-ambiente.

El Perfil 1 se encuentra al norte de la zona sur del área de estudio, perpendicular a la línea de costa, se encuentra limitado al este por dunas y al oeste por la rompiente de las olas (Figura 7).

Para el sub-ambiente de la base del médano las categorías granulométricas presentes son arena media, arena fina y arena muy fina, de las cuales la principal es arena fina (Tabla 1). Estas categorías presentan variaciones en las concentraciones del sedimento, los sedimentos tamaño arena media disminuyen y las concentraciones de sedimentos tamaño arena fina aumentan desde diciembre de 2018 a julio de 2019. En el gráfico de curva granulométrica de acumulación (Figura 21) se observa que en la base del médano el transporte predominante es suspensión y saltación, las cuales son similares entre los períodos de diciembre de 2018 a julio de 2019. En el gráfico de curva granulométrica de distribución (Figura 22) la base del médano tiene una asimetría positiva y buena selección similares en el tiempo. La curtosis es leptocúrtica, la cual aumenta de grado hacia julio de 2019.

En el backshore las categorías granulométricas presentes son arena media, arena fina y arena muy fina, siendo la categoría dominante la arena fina (Tabla 1). Estas categorías difieren en cuanto a la concentración de sedimento, los sedimentos tamaño arena media disminuyen su concentración y los sedimentos tamaños arena fina a muy fina aumentan desde el período de diciembre de 2018 a marzo de 2019. Proceso inverso sucede desde marzo de 2019 a julio de 2019, la concentración de los sedimentos tamaño arena media aumenta y la concentración de sedimentos tamaño arena fina a muy fina disminuyen. En el gráfico de curva granulométrica de acumulación (Figura 21) se observa que predominan los transportes por suspensión y saltación, sin embargo, en el periodo de 2018 predomina principalmente la saltación. La curva de distribución del backshore (Figura 22), muestra asimetría positiva y buena selección semejantes en el tiempo. La curtosis es leptocúrtica, la cual alcanza el pico en marzo de 2019, posteriormente el grado disminuye hacia julio de 2019.

En el foreshore las categorías granulométricas varían desde diciembre de 2018 a julio de 2019. Para diciembre de 2018 las categorías presentes son arena fina, arena media y arena gruesa, para marzo y julio de 2019 a las categorías anteriores se incluye la arena muy fina (Tabla 1). Las categorías principales difieren según período, la arena fina predomina en concentración en diciembre de 2018 y marzo de 2019, en cambio la categoría de arena media predomina en julio de 2019. Las concentraciones de cada categoría varían en el tiempo, se observa que las concentraciones de sedimento tamaño arena fina aumenta y arena media disminuye de diciembre de 2018 a marzo de 2019, proceso inverso ocurre de marzo de 2019 a julio de 2019, donde disminuye las concentraciones de sedimento tamaño arena fina y aumenta las concentraciones de sedimento tamaño arena media. En el gráfico de curva granulométrica de acumulación (Figura 21) se observa que el transporte principal es la saltación. La saltación tiene mayor energía en el período de julio de 2019, que es donde aumenta las concentraciones de sedimento tamaño arena media. El foreshore en la curva de distribución (Figura 22), tiene buena selección en el tiempo. La asimetría presenta variabilidad, la asimetría es positiva entre el período de diciembre de 2018 a marzo de 2019, el cual cambia a simétrico para julio de 2019. La curtosis varía en el tiempo, es leptocúrtica para marzo de 2019 y mesocúrtica para diciembre de 2018 y julio de 2019.

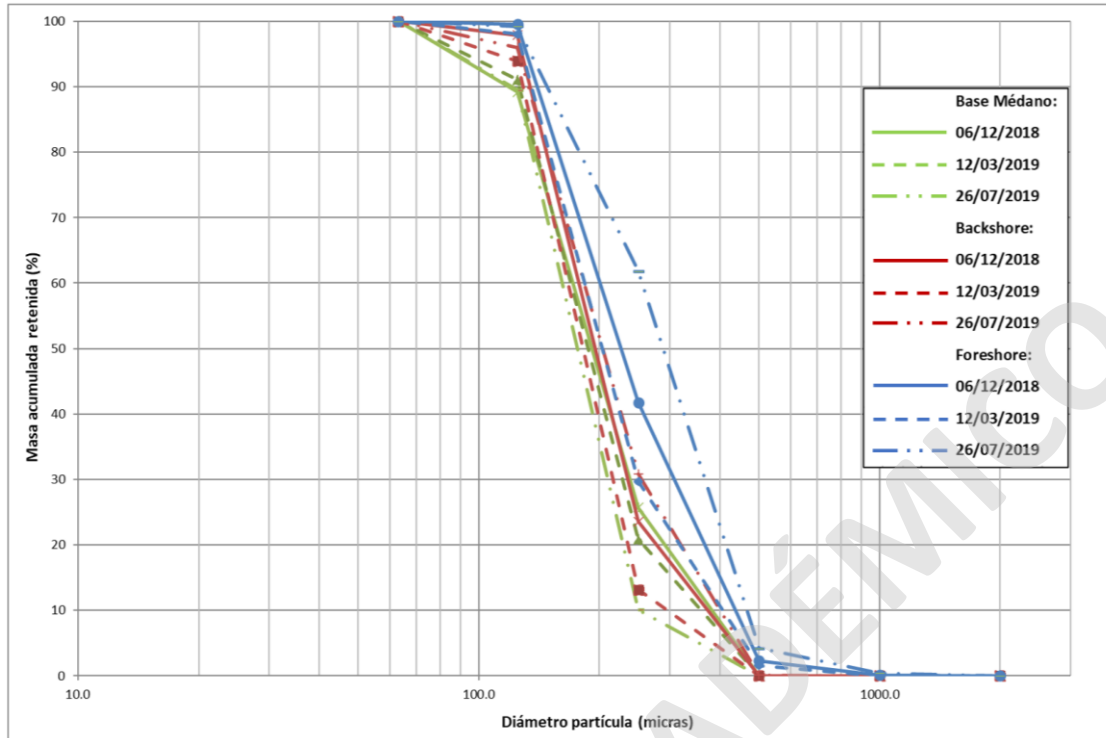


Figura 21. Curvas de acumulación del perfil 1, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

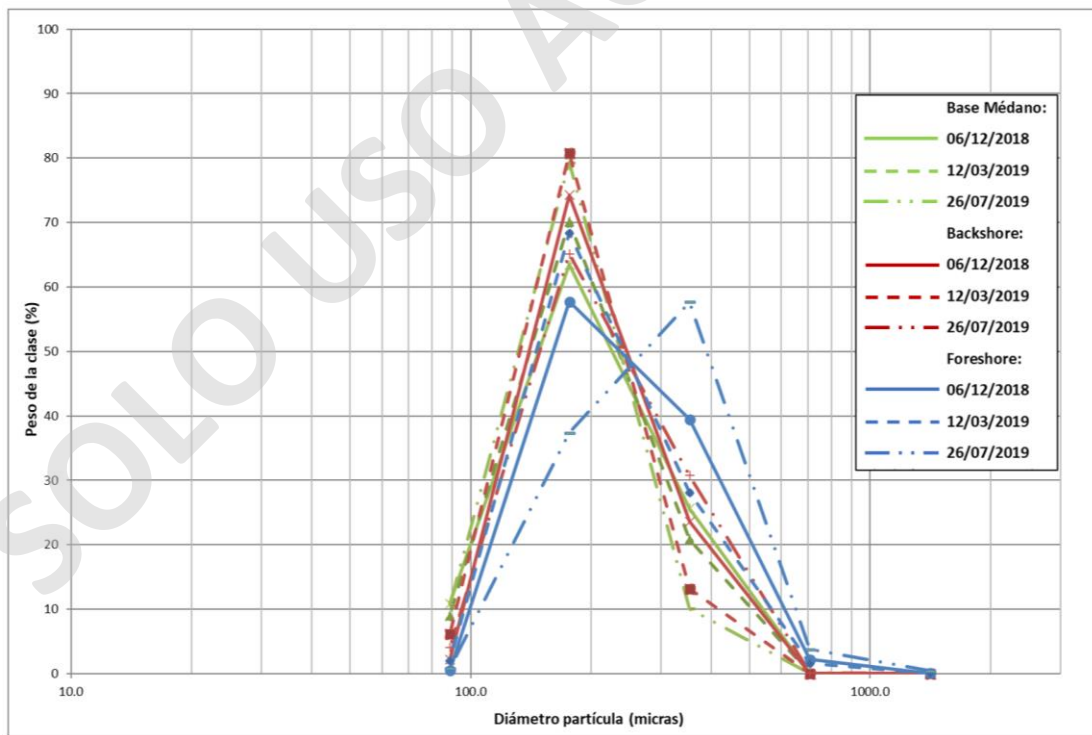


Figura 22. Curvas de distribución del perfil 1, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

Tabla 1. Granulometría del perfil 1, desde diciembre de 2018 a julio 2019.

Granulometría				
Perfil	Sub-ambiente	Diciembre 2018	Marzo 2019	Julio 2019
1		10% arena muy fina, 66% arena fina,	9% arena muy fina, 70% arena fina,	10% arena muy fina, 80% arena fina,
	Base Médano	24% arena media	21% arena media	10% arena media
		2% arena muy fina, 74% arena fina,	7% arena muy fina, 80% arena fina,	4% arena muy fina, 65 % arena fina,
	Backshore	24% arena media	13% arena media	31% arena media
		58% arena fina, 40% arena media,	1% arena muy fina, 69% arena fina,	1% arena muy fina, 38% arena fina,
	Foreshore	2% arena gruesa	29% arena media, 1% arena gruesa	58% arena media, 3% arena gruesa

El Perfil 2 se encuentra al sur del Perfil 1 distanciado a 300 metros aproximadamente, perpendicular a la línea de costa se encuentra limitado al este por dunas y al oeste por la rompiente de las olas (Figura 7).

Para el sub-ambiente de la base del médano las categorías granulométricas y las concentraciones de sedimento varían desde diciembre de 2018 a julio de 2019 (Tabla 2). Las categorías presentes son arena muy fina, arena fina, arena media para diciembre de 2018 a marzo de 2019, de las cuales la categoría de mayor concentración de sedimento es arena fina, disminuyendo las concentraciones de arena muy fina y arena media hacia marzo de 2019. En cambio, para julio de 2019 a las categorías anteriores se incluye la arena gruesa, siendo la de mayor concentración la categoría arena media, disminuyendo la concentración de arena muy fina y arena fina. En el gráfico de curva granulométrica de acumulación (Figura 23), se observa que para la base del médano existe un régimen mixto de transportes de sedimentos que son la suspensión y la saltación los cuales varían en el tiempo, disminuyendo el transporte de sedimento por suspensión y pasando ser la saltación como transporte principal hacia julio de 2019. La saltación aumenta su energía en el tiempo incrementando las concentraciones de arena media de diciembre de 2018 a julio de 2019. En la curva de distribución (Figura 24), la base del médano tiene asimetría positiva, buena selección y curtosis leptocúrtica entre los períodos de diciembre de 2018 a marzo de 2019. En cambio, es simétrica, moderada selección y mesocúrtica en julio de 2019, debido al aumento en las concentraciones de arena media.

En el backshore las categorías granulométricas son arena muy fina, arena fina y arena media, la categoría principal corresponde a arena fina (Tabla 2). Estas categorías presentan variaciones en las concentraciones en el tiempo, la arena muy fina y arena fina aumentan de diciembre de 2018 a marzo de 2019, en cambio la arena media disminuye su concentración. De marzo a julio de 2019 las categorías presentan escasa variación en las concentraciones. En la curva de acumulación (Figura 23), se observa que el transporte de sedimento principal es la saltación en diciembre de 2018, posteriormente en marzo y julio de 2019 son la suspensión y la saltación los transportes principales, siendo semejantes. El backshore en la curva de distribución (Figura 24) tiene asimetría positiva, moderadamente buena selección y curtosis mesocúrtica en diciembre de 2018. En cambio, tiene asimetría positiva, buena

selección y curtosis leptocúrtico en los períodos de marzo y julio de 2019, presentado similitud en la curva entre estos períodos.

En el foreshore las categorías granulométricas son arena muy fina, arena fina, arena media y arena gruesa (Tabla 2). Las categorías principales y concentraciones varían en el tiempo, la arena fina predomina de diciembre de 2018 a marzo de 2019, en cambio la arena media predomina en julio de 2019. En cuanto a las concentraciones, la arena fina disminuye y la arena media aumentan de forma proporcional de diciembre de 2018 a julio de 2019, la arena muy fina y arena gruesa presentan escasa variabilidad entre estos períodos. En la curva de acumulación (Figura 23), se observa que el principal transporte del sedimento es la saltación el cual aumenta su energía incrementando las concentraciones de arena media de diciembre de 2018 a julio de 2019. En la curva de distribución del foreshore (Figura 24), se observa una variación en el tiempo, presentando asimetría positiva, buena selección y curtosis leptocúrtica en diciembre de 2018. Disminuye la asimetría, la selección y la curtosis en marzo de 2019 con respecto al periodo anterior. En julio de 2019 cambia a simétrico, moderada selección y curtosis mesocúrtica.

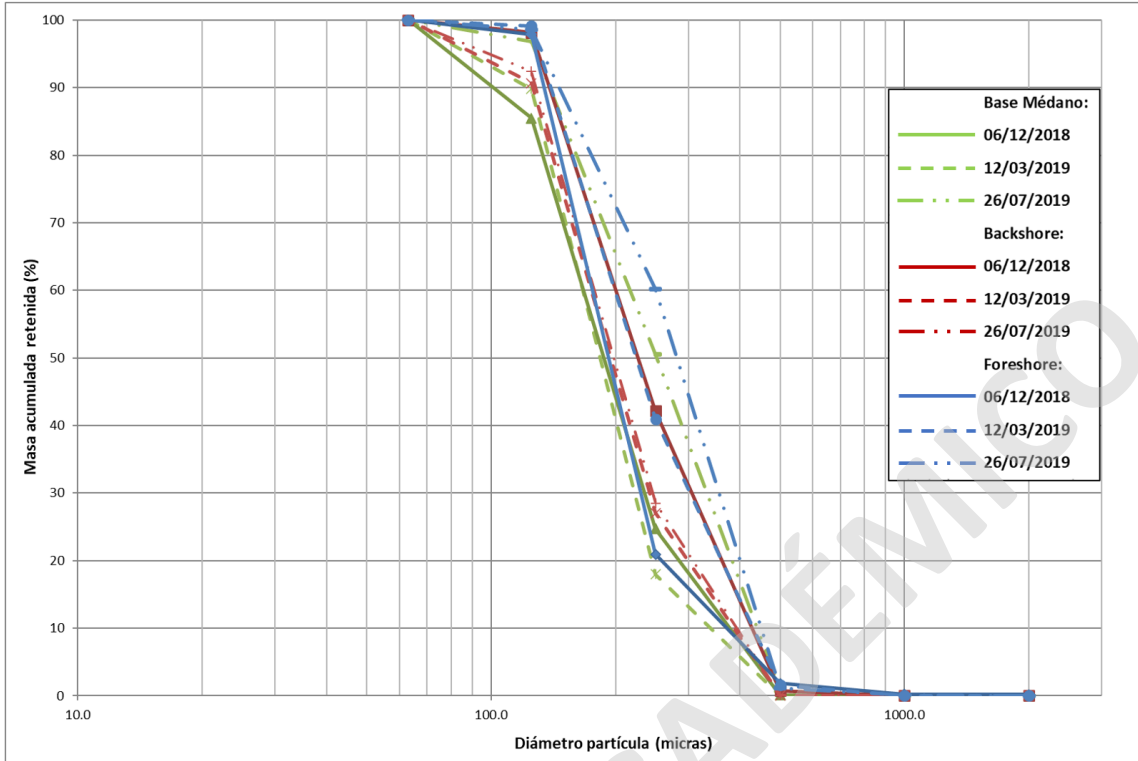


Figura 23. Curvas de acumulación del perfil 2, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

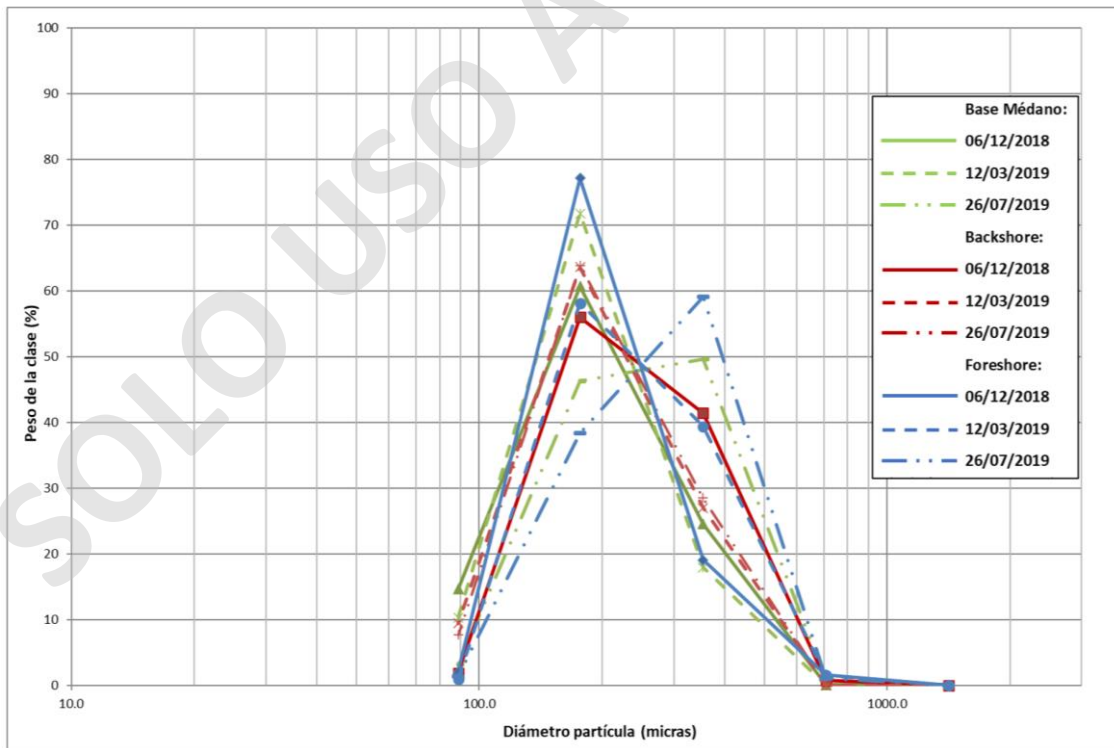


Figura 24. Curvas de distribución del perfil 2, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

Tabla 2. Granulometría del perfil 2, desde diciembre de 2018 a julio 2019.

Granulometría				
Perfil	Sub-ambiente	Diciembre 2018	Marzo 2019	Julio 2019
2	Base Médano	15% arena muy fina, 60% arena fina, 25% arena media	10% arena muy fina, 72% arena fina, 18% arena media	3% arena muy fina, 46% arena fina, 50% arena media 1% arena gruesa
	Backshore	2% arena muy fina, 56% arena fina, 42% arena media	10% arena muy fina, 64% arena fina, 26% arena media	8% arena muy fina, 64% arena fina, 28% arena media
	Foreshore	2% arena muy fina, 77% arena fina, 19% arena media, 2% arena gruesa	1% arena muy fina, 58% arena fina, 39% arena media, 2% arena gruesa	1% arena muy fina, 39% arena fina, 59% arena media, 1% arena gruesa

El Perfil 3 se ubica 300 metros al sur del Perfil 2, perpendicular a la línea de costa se encuentra limitado al este por dunas con intervención antrópica y al oeste limitado por la rompiente de las olas (Figura 7).

En el sub-ambiente base del médano las categorías granulométricas y concentraciones varían en el tiempo (Tabla 3). Las categorías son arena muy fina, arena fina y arena media para el periodo entre diciembre de 2018 y marzo de 2019, en cambio las categorías son arena muy fina, arena fina, arena media y arena gruesa en julio de 2019. La arena fina es la categoría de mayor concentración en los periodos de diciembre de 2018 y julio de 2019, por otra parte, la arena media es la de mayor concentración en el periodo de marzo de 2019. En la curva de acumulación (Figura 25) se observa que los transportes predominantes son suspensión y saltación, con escasa variabilidad en el tiempo. Con respecto a la curva de distribución (Figura 26), la asimetría es positiva, buena selección y curtosis leptocúrtica para los periodos de diciembre de 2018 y julio de 2019. En cambio, es simétrico, moderada selección y curtosis mesocúrtica para marzo de 2019.

En el backshore difieren las categorías granulométricas y concentraciones en el tiempo (Tabla 3). Las categorías son arena muy fina, arena fina, arena media, arena gruesa y grava para el periodo de diciembre de 2018 predominando en concentración la grava. Mismas categorías, pero con ausencia de gravas en marzo de 2019 predominando arena fina y ausencia de arena muy fina en julio de 2019 predominando arena media. En la curva de acumulación (Figura 25) los transportes de sedimentos varían en el tiempo, la saltación y la tracción dominan en diciembre de 2018 y julio de 2019, por otra parte, la suspensión y saltación dominan en marzo de 2019. La mayor energía corresponde al periodo de diciembre de 2018 debido a la tracción de gravas. Con respecto a la curva de distribución (Figura 26) el backshore presenta comportamiento bimodal con picos en las categorías arena fina y gravas, mala selección y curtosis platicúrtica en diciembre de 2018. Luego, la distribución es asimetría positiva, buena selección y curtosis leptocúrtica en marzo de 2019. Posteriormente la distribución es simétrica, moderada selección y curtosis leptocúrtica en julio de 2019.

En el foreshore las categorías granulométricas y concentraciones varían (Tabla 3), las categorías son arena muy fina, arena fina, arena media, arena gruesa y grava en diciembre de 2018 predominado la arena fina. Mismas categorías, pero con ausencia de gravas en marzo

de 2019 predominando la arena fina y ausencia de arena muy fina en julio de 2019 predominando la grava. En la curva de acumulación se observa que el transporte del sedimento varía según periodo (Figura 25), el transporte predominante es suspensión, saltación y tracción en diciembre de 2018. Se reducen a suspensión y saltación para el periodo de marzo de 2019, saltación y tracción en julio de 2019. La mayor energía presente es en el periodo de julio de 2019 debido a la mayor tracción de gravas en comparación con los otros periodos. La curva de distribución del foreshore (Figura 26) presenta variabilidad entre periodos. En el periodo de diciembre de 2018 la asimetría es positiva, moderada selección y curtosis mesocúrtica. En marzo de 2019 conserva la asimetría positiva, pero cambia a buena selección y curtosis leptocúrtica. Para el periodo de julio de 2019 la curva de distribución tiene comportamiento bimodal con picos en arena media y grava, mala selección y curtosis platicúrtica.

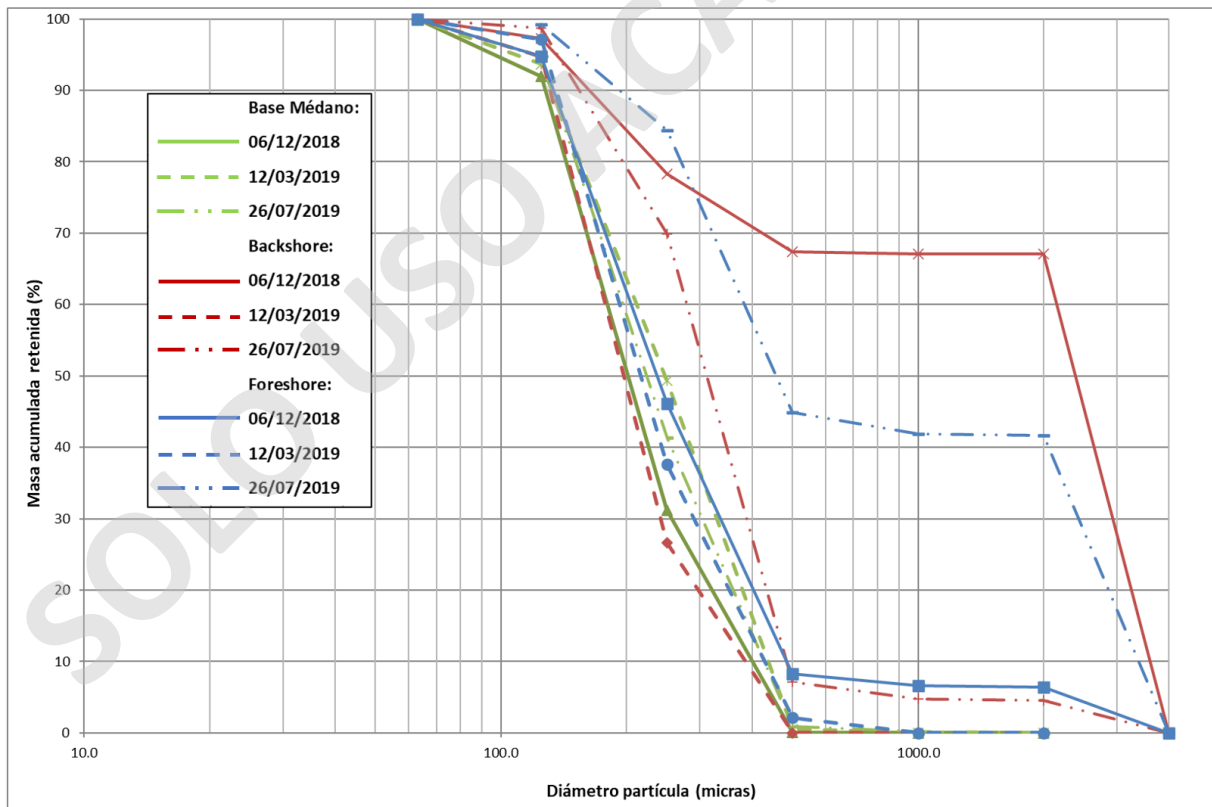


Figura 25. Curvas de acumulación del perfil 3, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

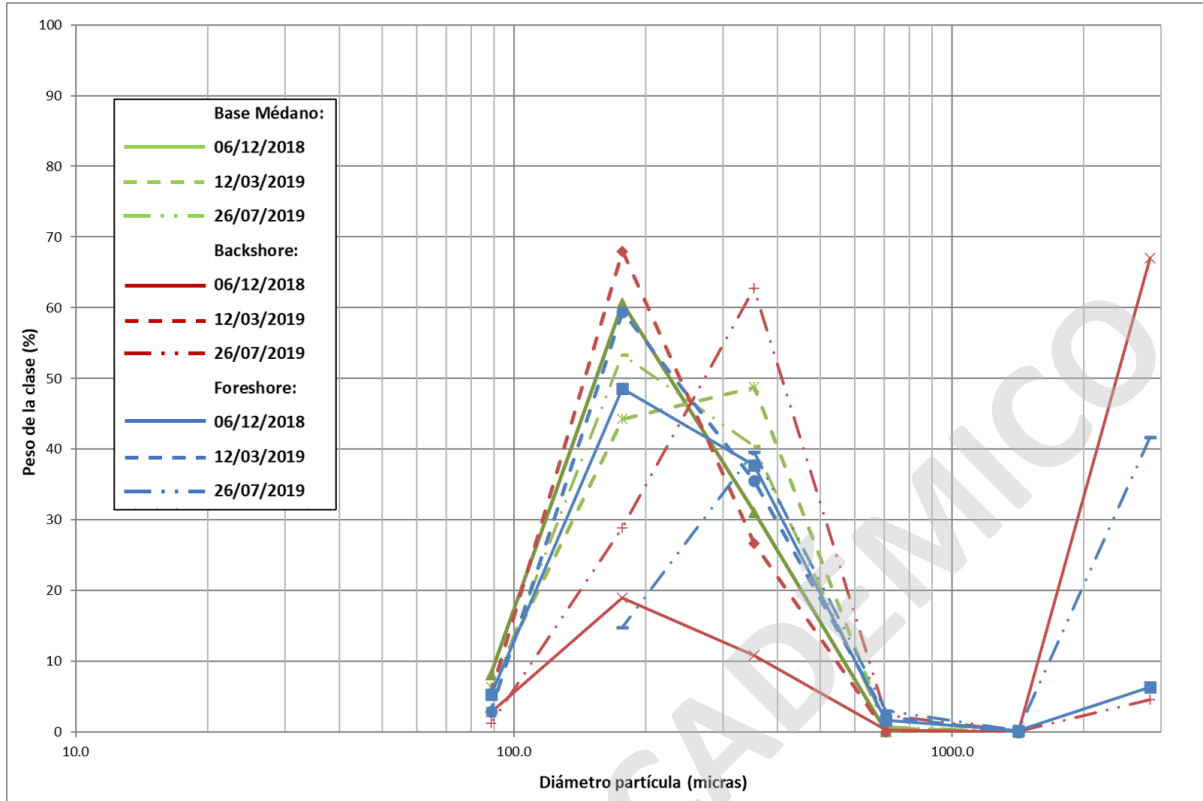


Figura 26. Curvas de distribución del perfil 3, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

Tabla 3. Granulometría del perfil 3, desde diciembre de 2018 a julio 2019.

Granulometría				
Perfil	Sub-ambiente	Diciembre 2018	Marzo 2019	Julio 2019
3	Base Médano	9% arena muy fina, 60% arena fina, 31 % arena media	6% arena muy fina, 45% arena fina, 49% arena media	5% arena muy fina, 54% arena fina, 40% arena media, 1% arena gruesa
	Backshore	3% arena muy fina, 19% arena fina, 11% arena media, 67 % gravas	5% arena muy fina, 68% arena fina, 27% arena media	1% arena muy fina, 29% arena fina, 63% arena media, 2% arena gruesa, 5% gravas
	Foreshore	5% arena muy fina, 49% arena fina, 38% arena media, 2% arena gruesa, 6% gravas	3% arena muy fina, 60% arena fina, 35% arena media, 2% arena gruesa	15 % arena fina, 40 % arena media, 3% arena gruesa, 42% gravas

El Perfil 4 se ubica a 300 metros aproximadamente al sur del Perfil 3, perpendicular a la línea de costa está limitado al este por el límite entre dunas y suelo con intervención antrópica, al oeste por la rompiente de las olas (Figura 7).

En el sub-ambiente base del médano las categorías granulométricas son arena muy fina, arena fina y arena media siendo la categoría de mayor concentración la arena fina entre los periodos de diciembre de 2018 a julio de 2019, la cual disminuye sus concentraciones entre marzo a julio de 2019 aumentando la proporción de arena media (Tabla 4). En la curva de acumulación se observa que en la base del médano predomina un régimen mixto de transporte de sedimentos por suspensión y saltación (Figura 27). Existe un aumento en la energía del transporte mientras la suspensión disminuye su influencia en julio de 2019 en comparación con los otros periodos por el incremento de la concentración de arena media. Con respecto a la curva de distribución (Figura 28) presenta semejanzas entre los periodos de diciembre de 2018 y marzo de 2019, presentando asimetría positiva, buena selección y curtosis leptocúrtica. Mientras que, en el periodo de julio de 2019, es simétrico, moderadamente bien seleccionado y curtosis mesocúrtica.

En el backshore las categorías granulométricas son arena muy fina, arena fina y arena media, de las cuales la principal es arena media en diciembre de 2018 y arena fina para el periodo entre marzo y julio de 2019 (Tabla 4). La concentración arena muy fina permanece constante en el tiempo, en cambio la arena fina y media tienen un comportamiento inversamente proporcional. En la curva de acumulación (Figura 27), se observa que el transporte de los sedimentos es saltación principalmente, la mayor energía ocurre en el periodo de diciembre de 2018 debido a la mayor concentración de sedimento tamaño arena media. Con respecto a la curva de distribución, esta varía en tiempo (Figura 28). Para el periodo de diciembre de 2018 es simétrico, moderadamente bien seleccionado y curtosis mesocúrtica. Posteriormente para el periodo de marzo de 2019 presenta asimetría positiva, bien seleccionado y curtosis leptocúrtica. Luego en julio de 2019 conserva la asimetría positiva, es moderadamente bien seleccionado y curtosis mesocúrtica.

En el foreshore las categorías granulométricas y concentraciones varían en el tiempo (Tabla 4), para el periodo de diciembre de 2018 las categorías son arena fina, arena media, arena muy gruesa y grava, siendo el principal componente la grava. En cambio, para los periodos

de marzo y julio de 2019 las categorías son arena muy fina, arena fina, arena media y arena gruesa, correspondiendo la arena fina como principal constituyente en marzo de 2019 y la arena media en julio de 2019. Existe un incremento constante de arena media entre los periodos de diciembre de 2018 a julio de 2019, mientras que la arena fina aumenta entre los periodos de diciembre de 2018 a marzo de 2019 para disminuir en julio de 2019. En la curva de acumulación (Figura 27), se observa que los transportes dominantes de los sedimentos son saltación y tracción en diciembre de 2018, posteriormente es la saltación entre los periodos de marzo y julio de 2019 representado por ausencia de grava. Con respecto a la curva de distribución (Figura 28), está presenta variabilidad en el tiempo. Es bimodal con picos en las categorías arena media y gravas, mal seleccionado y curtosis platicúrtica en el periodo de diciembre de 2018. Posteriormente pasa a tener asimetría positiva, moderadamente buena selección y curtosis mesocúrtica en marzo de 2019. Se conserva la selección y la curtosis, pero cambia a simétrico en julio de 2019.

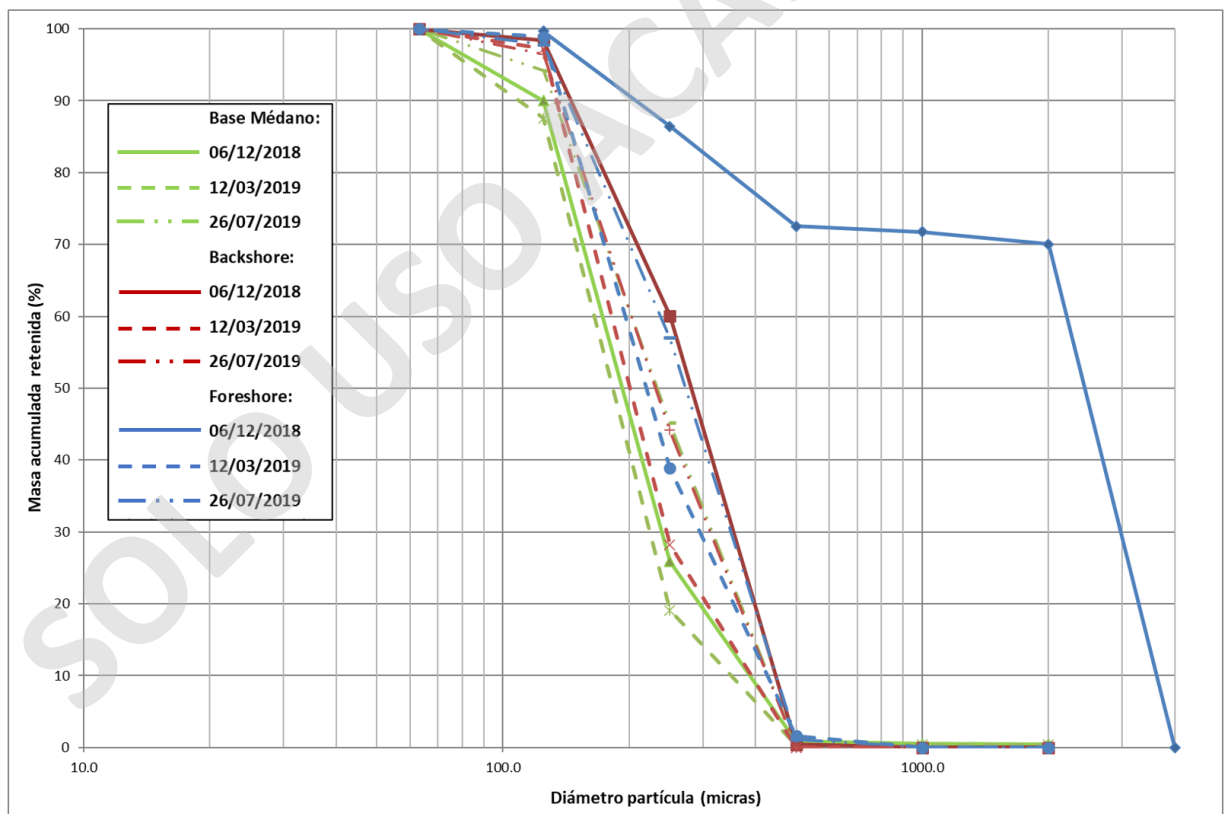


Figura 27. Curvas de acumulación del perfil 4, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

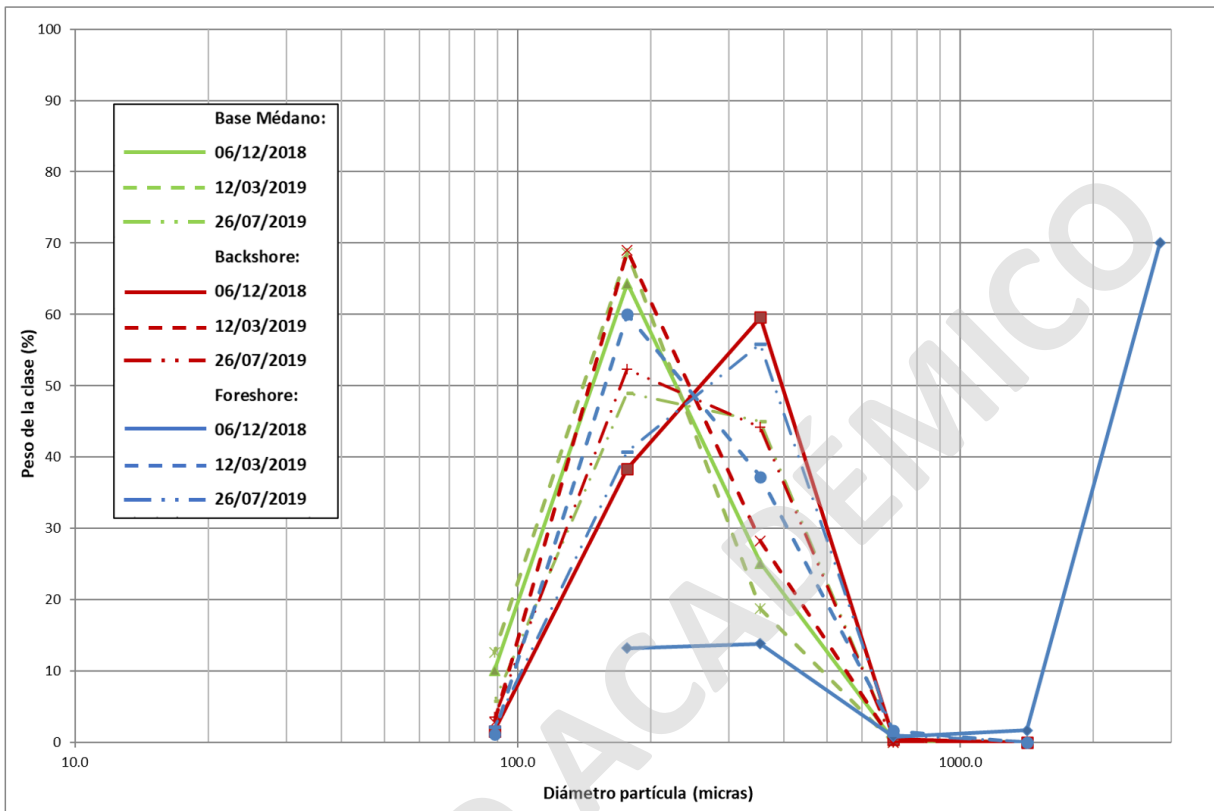


Figura 28. Curvas de acumulación del perfil 4, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

Tabla 4. Granulometría del perfil 4, desde diciembre de 2018 a julio 2019.

Granulometría				
Perfil	Sub-ambiente	Diciembre 2018	Marzo 2019	Julio 2019
4	Base Médano	10% arena muy fina, 65% arena fina, 25% arena media	12% arena muy fina, 70% arena fina, 18% arena media	5% arena muy fina, 49% arena fina, 46% arena media
	Backshore	2% arena muy fina, 38% arena fina, 60% arena media	2% arena muy fina, 70% arena fina, 28% arena media	3% arena muy fina, 53% arena fina, 44% arena media
	Foreshore	13% arena fina, 15% arena media, 2% arena muy gruesa, 70% gravas	1% arena muy fina, 60% arena fina, 37% arena media, 2% arena gruesa	2% arena muy fina, 41% arena fina, 56% arena media, 1% arena gruesa

El Perfil 5, se ubica a 300 metros aproximadamente al sur del Perfil 4, perpendicular a la línea de costa se encuentra limitado al este por dunas y al oeste por la rompiente de las olas (Figura 7).

En el sub-ambiente base del médano las categorías granulométricas presentes son arena muy fina, arena fina y arena media de las cuales la arena fina es la de mayor concentración. La arena muy fina disminuye y la arena media aumenta entre los periodos de diciembre de 2018 y julio de 2019 (Tabla 5). En la curva de acumulación (Figura 29), se observa que el transporte de los sedimentos es controlado principalmente por la suspensión y la saltación, la suspensión pierde influencia en el transcurso de diciembre de 2018 a julio de 2019 proporcional al aumento de la concentración de arena media. Con respecto a la curva de distribución (Figura 30), se tiene una asimetría positiva, buena selección y curtosis leptocúrtica para los periodos entre diciembre de 2018 y marzo de 2019. Varía la selección a moderada y la curtosis mesocúrtica para julio de 2019.

En el backshore las categorías granulométricas son arena muy fina, arena fina y arena media de las cuales la de mayor concentración es la arena fina, la arena muy fina aumenta y la arena media disminuye entre los periodos de diciembre de 2018 a julio de 2019 (Tabla 5). En la curva de acumulación (Figura 29), se observa que varían los transportes de sedimento y energías en el tiempo. La saltación domina principalmente en diciembre de 2018, posteriormente pasa a ser un régimen mixto de suspensión y saltación entre los periodos de marzo a julio de 2019, aumentando la influencia de la suspensión y disminuyendo la energía del transporte evidenciado en el aumento de las concentraciones de arena muy fina y disminución de arena media para julio de 2019 con respecto a periodos anteriores. Con respecto a la curva de distribución (Figura 30), presenta asimetría positiva, moderada selección y curtosis mesocúrtica para diciembre de 2018 a marzo de 2019, por otra parte, se mantiene la asimetría positiva pero pasa a tener buena selección y curtosis leptocúrtica para julio de 2019.

En el foreshore, las categorías granulométricas y sus concentraciones varían en el tiempo (Tabla 5). Para los periodos diciembre de 2018 y julio de 2019 las categorías son arena muy fina, arena fina, arena media y arena gruesa, siendo la arena fina la categoría de mayor concentración en diciembre de 2018 y arena media en julio de 2019. Mismas categorías

presentes, pero se incluye la grava para marzo de 2019, correspondiendo a la arena fina como la de mayor concentración. La arena muy fina aumenta en marzo de 2019 posteriormente junto con la arena fina disminuyen y la arena media aumenta hacia julio de 2019. En la curva de acumulación (Figura 29), se observa que los tipos y energías de los transportes de sedimentos presentan variabilidad. La saltación predomina principalmente en los periodos de diciembre 2018 y julio de 2019 presentando este último periodo mayor energía en el transporte por el incremento en las concentraciones de arena media. En cambio, en marzo de 2019 se incluyen la suspensión y la tracción debido al aumento de las concentraciones de arena muy fina y la presencia de gravas respectivamente. Con respecto al grafico de distribución presenta variabilidad en el tiempo (Figura 30), la asimetría es positiva, buena selección y curtosis leptocúrtica para diciembre de 2018, en cambio la selección es moderada y curtosis mesocúrtica para marzo de 2019, posteriormente es simétrico, moderadamente buena selección y curtosis leptocúrtica en julio de 2019.

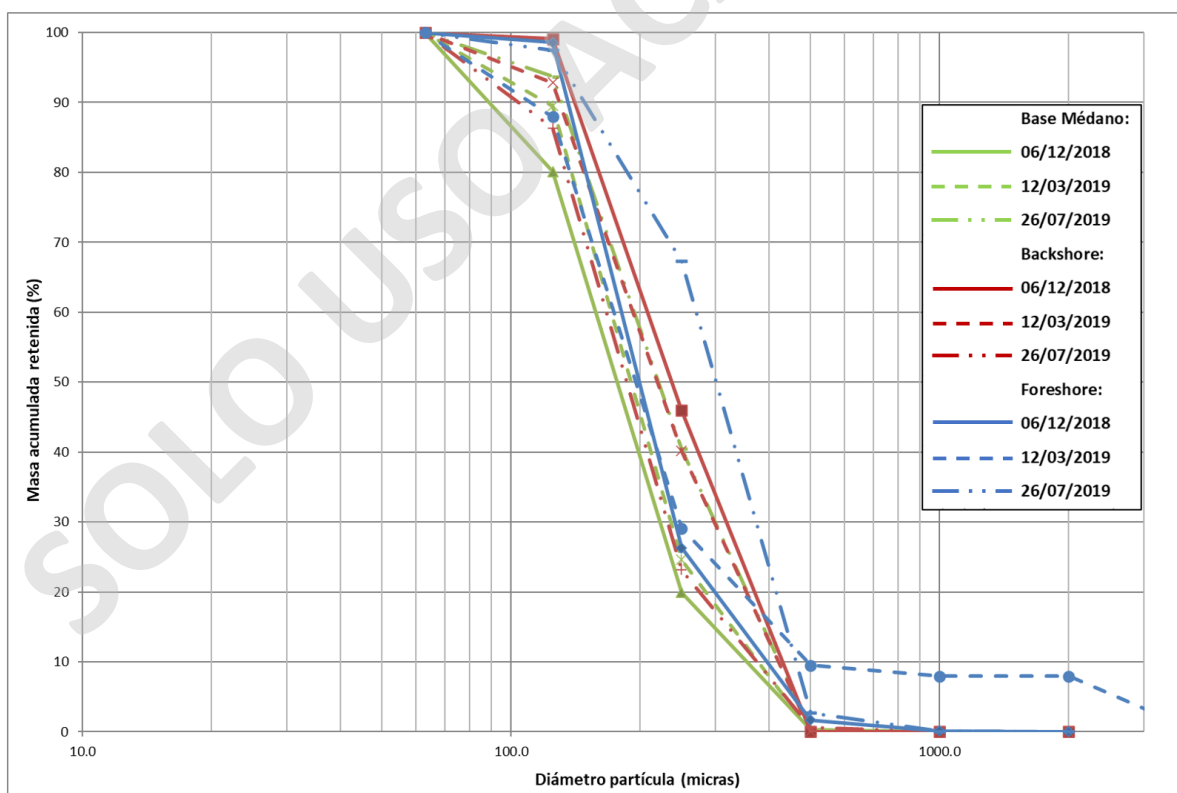


Figura 29. Curvas de acumulación del perfil 5, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

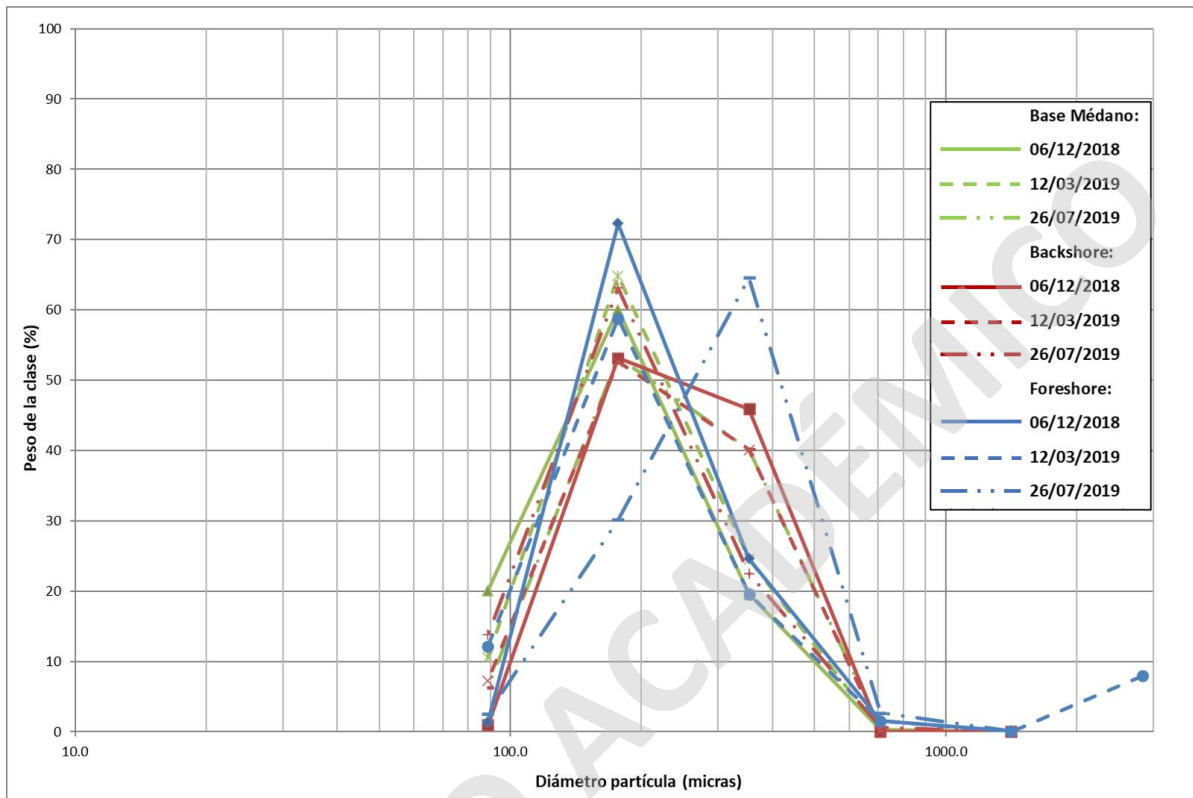


Figura 30. Curvas de distribución del perfil 5, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

hola

Tabla 5. Granulometría del perfil 5, desde diciembre de 2018 a julio 2019.

Granulometría				
Perfil	Sub-ambiente	Diciembre 2018	Marzo 2019	Julio 2019
5		20% arena muy fina, 60% arena fina,	10% arena muy fina, 65% arena fina,	6% arena muy fina, 54% arena fina,
	Base Médano	20% arena media	25% arena media	40% arena media
	Backshore	1% arena muy fina, 53% arena fina, 46% arena media	7% arena muy fina, 53% arena fina, 40% arena media	14% arena muy fina, 64% arena fina, 22% arena media
	Foreshore	1% arena muy fina, 72% arena fina, 25% arena media, 2% arena gruesa	12% arena muy fina, 59% arena fina, 20% arena media, 1% arena gruesa, 8% gravas	3% arena muy fina, 30% arena fina, 65% arena media, 2% arena gruesa

El Perfil 6 se ubica a 300 metros aproximadamente al sur del Perfil 5, perpendicular a la línea de costa se encuentra limitado al este por dunas y al oeste por la rompiente de las olas (Figura 7).

En el sub-ambiente base del médano las categorías granulométricas presentes son arena muy fina, arena fina y arena media de las cuales la arena fina es la de mayor concentración y la arena muy fina disminuye entre los periodos desde diciembre de 2018 a julio de 2019 (Tabla 6). En la curva de acumulación (Figura 31), se observan semejanzas entre los transportes de sedimentos, los cuales son suspensión y saltación, sin embargo, la suspensión pierde influencia en el transcurso de los periodos de diciembre 2018 y julio de 2019. En la curva de distribución (Figura 32) se observa variabilidad en el tiempo, presentando asimetría positiva, moderada selección y curtosis mesocúrtica para diciembre de 2018, en cambio la curva de distribución se asemeja para los periodos siguientes teniendo asimetría positiva, buena selección y curtosis leptocúrtica.

En el backshore las categorías granulométricas y concentraciones presentan variabilidad en el tiempo (Tabla 6). Las categorías son arena muy fina, arena fina, arena media, arena gruesa y grava siendo este último el constituyente principal en diciembre de 2018. Mismas categorías, pero con ausencia de arena gruesa y gravas para marzo de 2019 y ausencia de gravas para julio de 2019, siendo la categoría de mayor concentración la arena fina para ambos periodos. En la curva de acumulación se observa variabilidad entre los periodos (Figura 31), los transportes de sedimento son suspensión, saltación y tracción para diciembre de 2018. Posteriormente debido a la ausencia de gravas los transportes se reducen a suspensión y saltación para marzo y julio de 2019, existiendo una mayor influencia de la suspensión en julio de 2019 en comparación con los otros periodos debido a mayor presencia de sedimento tamaño arena muy fina. Con respecto a la curva de distribución (Figura 32), presenta diferencias en el tiempo. Es bimodal con picos en la arena media y gravas, mal seleccionado y curtosis platicúrtica para diciembre de 2018. Por otra parte, tiene asimetría positiva, buena selección y curtosis leptocúrtica para marzo de 2019. Posteriormente cambia a moderada selección y curtosis mesocúrtica para julio de 2019.

En el foreshore las categorías granulométricas y concentraciones varían entre periodos (Tabla 6). Las categorías son arena muy fina, arena fina, arena media y arena gruesa para diciembre

de 2018 y julio de 2019. Mismas categorías, pero con ausencia de arena gruesa para marzo de 2018. La categoría de mayor concentración es arena fina para los periodos entre diciembre de 2018 y marzo de 2019, en cambio la arena media es la principal en julio de 2019. La arena fina disminuye y la arena media aumenta desde diciembre de 2018 a julio de 2019. En la curva de acumulación (Figura 31), se observa que los transportes de sedimentos que predominan son la suspensión y la saltación, correspondiendo a julio de 2019 como el periodo de mayor energía en el transporte debido al aumento de las concentraciones de arena media. Con respecto a la curva de distribución (Figura 32), se observa semejanzas entre los periodos diciembre de 2018 y marzo de 2019 teniendo asimetría positiva, buena selección y curtosis leptocúrtica. Por otra parte, para julio de 2019 la curva es simétrica, moderada selección y curtosis mesocúrtica.

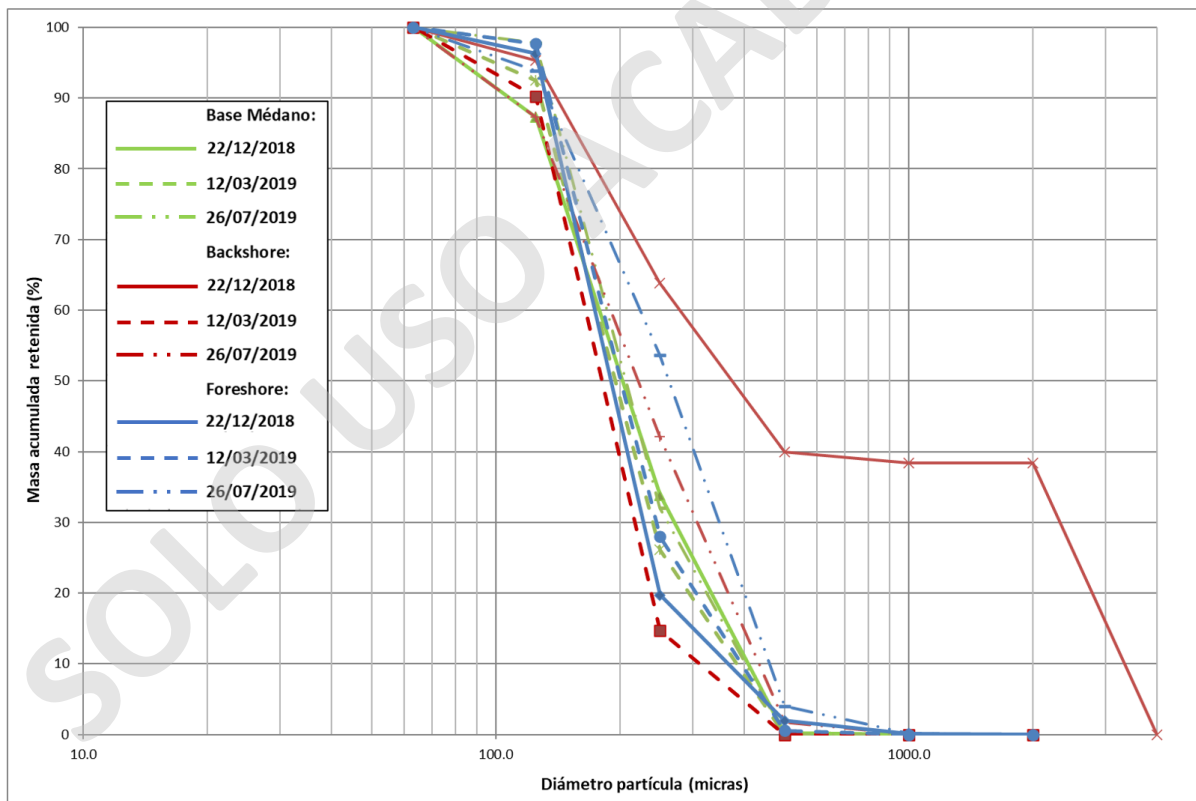


Figura 31. Curvas de acumulación del perfil 6, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

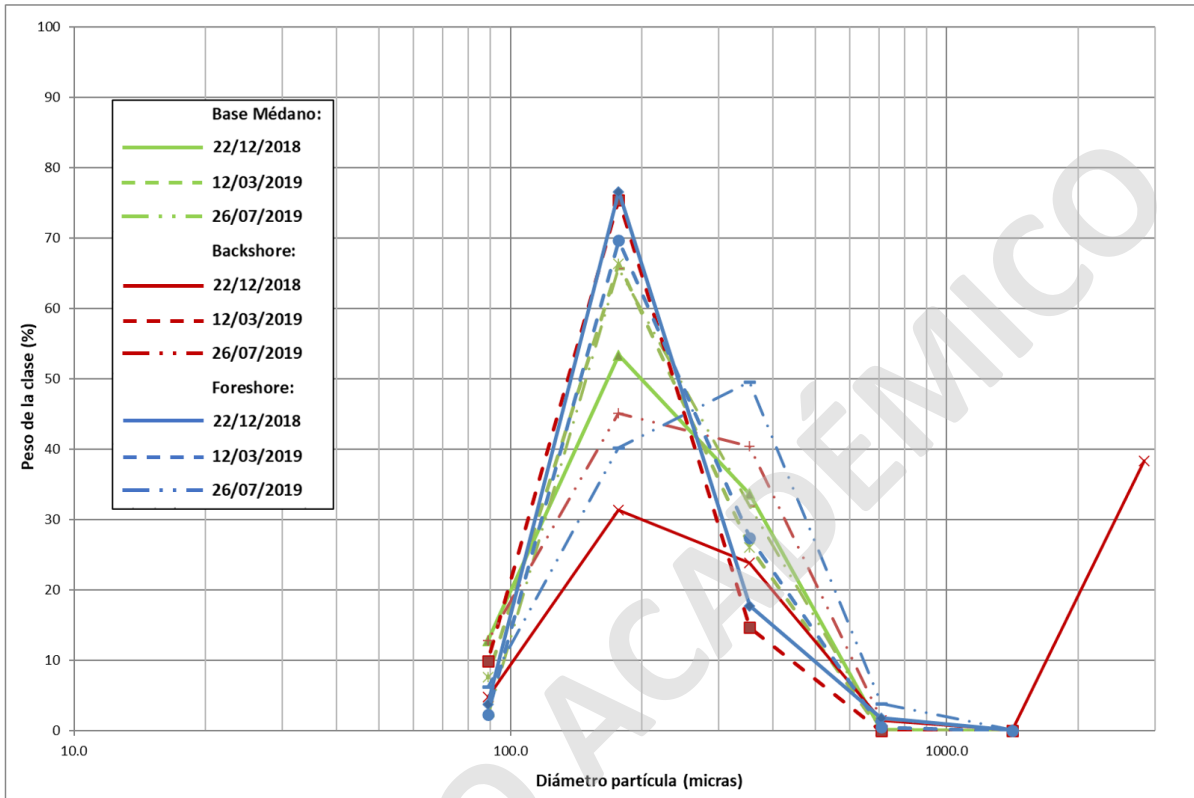


Figura 32. Curvas de distribución del perfil 6, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

Tabla 6. Granulometría del perfil 6, desde diciembre de 2018 a julio 2019.

Granulometría				
Perfil	Sub-ambiente	Diciembre 2018	Marzo 2019	Julio 2019
6	Base Médano	12% arena muy fina, 54% arena fina, 34% arena media,	8% arena muy fina, 66% arena fina, 26% arena media	2% arena muy fina, 66% arena fina, 32% arena media
	Backshore	3% arena muy fina, 32 % arena fina, 24% arena media, 2% arena gruesa, 39% gravas	10% arena muy fina, 75% arena fina, 15% arena media	13% arena muy fina, 45% arena fina, 40% arena media, 2% arena gruesa
	Foreshore	3% arena muy fina, 77% arena fina, 18% arena media, 2% arena gruesa	3% arena muy fina, 70% arena fina, 27% arena media	7% arena muy fina, 40% arena fina, 50% arena media, 3% arena gruesa

El Perfil 7 se ubica a 300 metros aproximadamente al sur del Perfil 6, perpendicular a la línea de costa se encuentra limitado al este por dunas y al oeste por la rompiente de las olas (Figura 7).

Se observa similitud entre los sub-ambientes base del médano, backshore y foreshore en las categorías granulométricas. Las categorías son arena muy fina, arena fina y arena media siendo la categoría arena fina la de mayor concentración para los tres sub-ambientes (Tabla 7). La arena muy fina y arena fina aumentan, en relación con la arena media que disminuye de diciembre de 2018 a marzo de 2019. Proceso inverso ocurre en julio de 2019 disminuyendo la arena muy fina y arena fina, por el contrario, aumentando la arena media para los tres sub-ambientes. En la curva de acumulación se observan semejanzas entre los sub-ambientes en el tiempo (Figura 33), los transportes de sedimentos principales son suspensión y saltación. La suspensión tiene mayor influencia en el backshore para los períodos entre marzo y julio de 2019, y en foreshore para marzo de 2019 esto debido a mayores concentraciones de arena muy fina en comparación con la base del médano y otros períodos. La mayor energía de saltación se presenta en los periodos para diciembre de 2018 en la base del médano y el backshore, y julio de 2019 para el foreshore, asociados a un mayor porcentaje de arena media en esas fechas en comparación con otros períodos. Con respecto a la curva de distribución (Figura 34), los sub-ambientes presentan semejanzas en el tiempo, tienen asimetría positiva, buena selección y curtosis leptocúrtica, esta semejanza se asocia a la predominancia de la categoría de arena fina. A excepción de diciembre de 2018 en la base del médano y el backshore, y julio de 2019 en el foreshore donde pasan a tener moderadamente buena selección y la curtosis disminuye, debido a un mayor porcentaje de arena media.

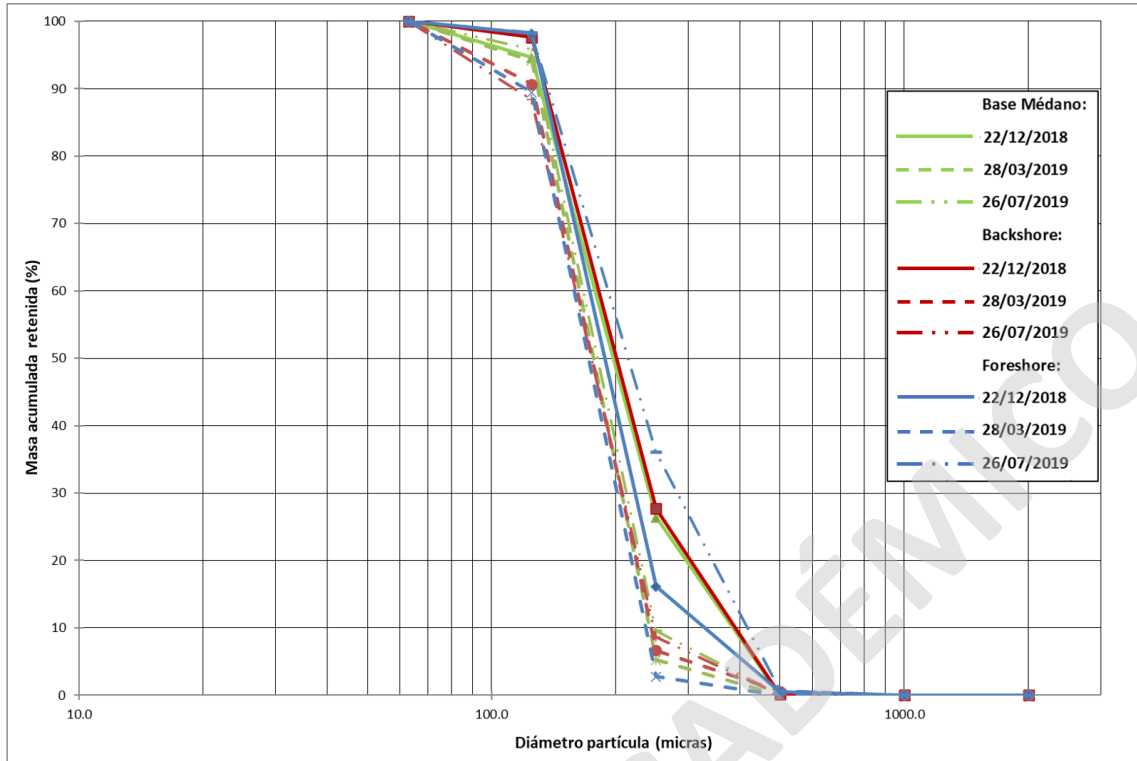


Figura 33. Curvas de acumulación del perfil 7, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

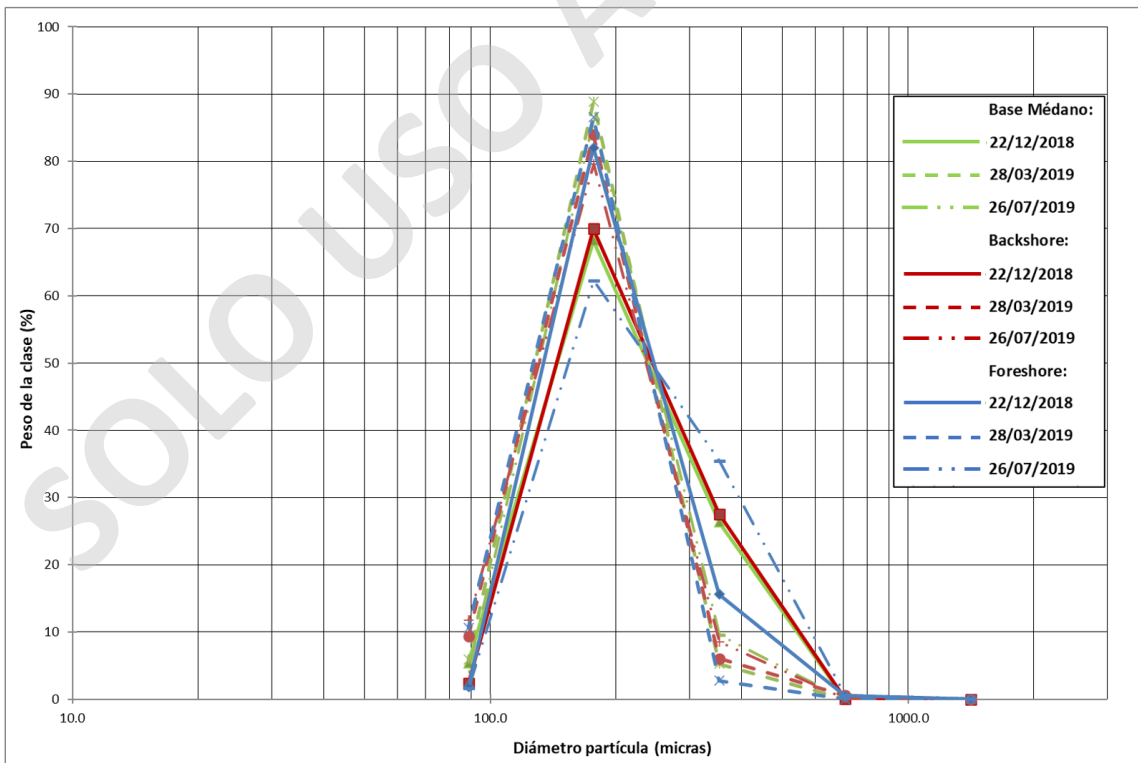


Figura 34. Curvas de distribución del perfil 7, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

Tabla 7. Granulometría del perfil 7, desde diciembre de 2018 a julio 2019.

Granulometría				
Perfil	Sub-ambiente	Diciembre 2018	Marzo 2019	Julio 2019
7	Base Médano	5% arena muy fina, 69% arena fina, 26% arena media	6% arena muy fina, 89% arena fina, 5% arena media	4% arena muy fina, 86% arena fina, 10% arena media
	Backshore	2% arena muy fina, 70% arena fina, 28% arena media	10% arena muy fina, 87% arena fina, 3% arena media	11% arena muy fina, 80% arena fina, 9% arena media
	Foreshore	2% arena muy fina, 82% arena fina, 16% arena media	10% arena muy fina, 84% arena fina, 6% arena media	2% arena muy fina, 62% arena fina, 36% arena media

El Perfil 8 se encuentra a 200 metros aproximadamente al sur del Perfil 7, paralelo a la desembocadura del Río Aconcagua y perpendicular a la línea de costa se encuentra limitado al este por dunas y al oeste por la rompiente de las olas (Figura 7).

Se observa que los tres sub-ambientes presentan similitud de las categorías granulométricas en el tiempo (Tabla 8). Las categorías son arena muy fina, arena fina y arena media siendo la categoría arena fina la de mayor concentración en los tres sub-ambientes. Se observa una escasa variabilidad en la curva de acumulación entre los sub-ambientes en comparación con los otros perfiles descritos anteriormente (Figura 35). Los transportes de sedimento son suspensión y saltación principalmente, la suspensión tiene mayor influencia en el backshore para julio de 2019, debido a mayores concentraciones de arena muy fina en comparación con los otros sub-ambientes y periodos. En cuanto a la curva de distribución se observa similitud entre los sub-ambientes (Figura 36), presentan asimetría positiva, buena selección y curtosis leptocúrtica.

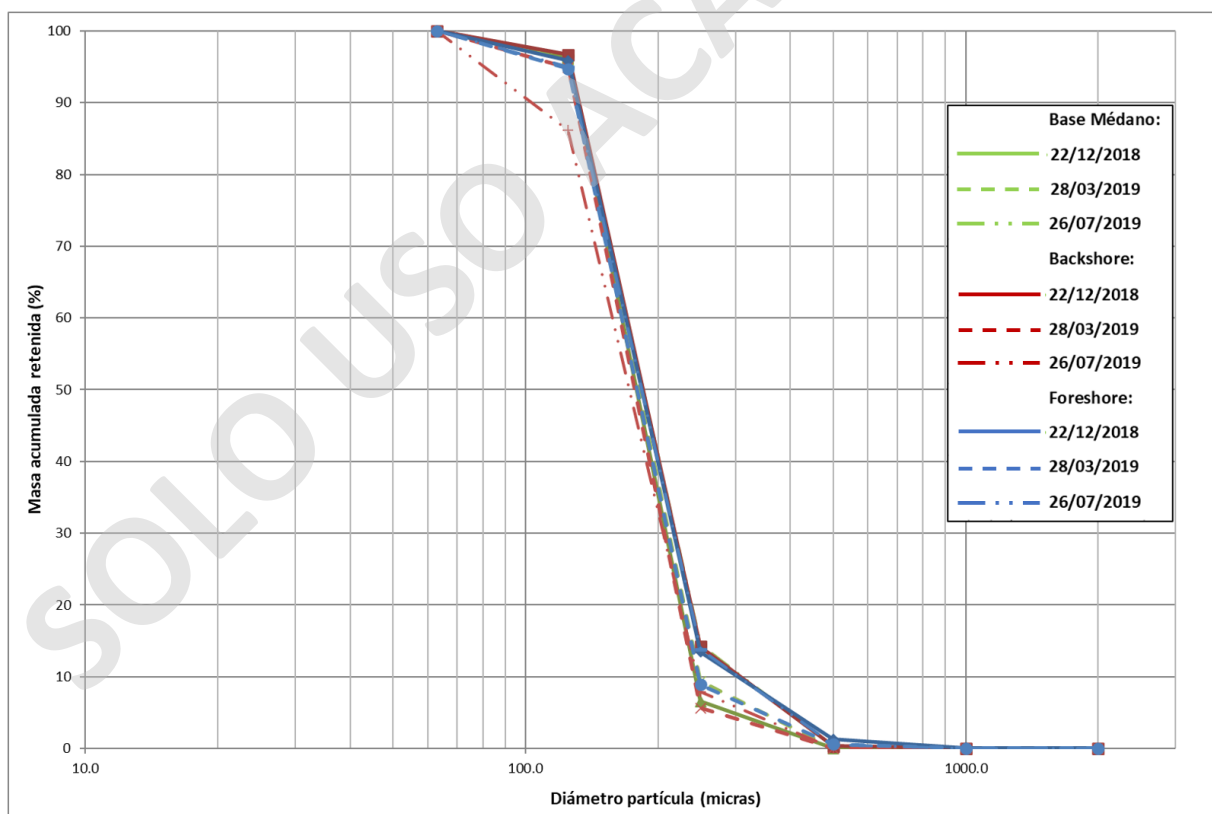


Figura 35. Curvas de acumulación del perfil 8, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

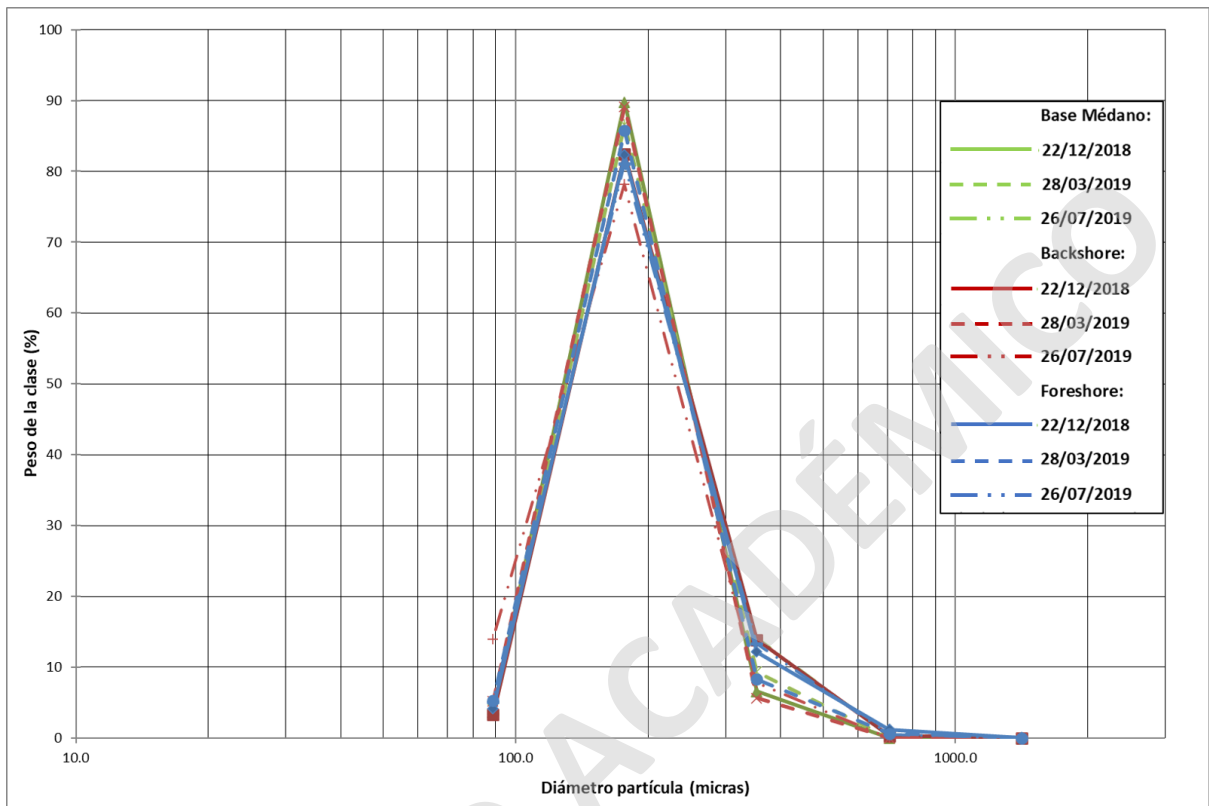


Figura 36. Curvas de distribución del perfil 8, entre diciembre de 2018 a julio de 2019.

Tabla 8. Granulometría del perfil 8, desde diciembre de 2018 a julio 2019.

Granulometría				
Perfil	Sub-ambiente	Diciembre 2018	Marzo 2019	Julio 2019
8	Base Médano	3% arena muy fina, 90% arena fina, 7% arena media	4% arena muy fina, 86% arena fina, 10% arena media	4% arena muy fina, 82% arena fina, 14% arena media
	Backshore	2% arena muy fina, 82% arena fina, 16% arena media	5% arena muy fina, 90% arena fina, 5% arena media	14% arena muy fina, 79% arena fina, 7% arena media
	Foreshore	3% arena muy fina, 82% arena fina, 15% arena media	5% arena muy fina, 86% arena fina, 9% arena media	5% arena muy fina, 81% arena fina, 14% arena media

4.3. Agentes dinámicos

Se obtuvo 68 datos de alturas de mareas, oleaje y velocidad de viento entre las fechas de 2016 a 2019 utilizando la base de datos del SHOA para la región de Valparaíso - comuna de Concón usando la boya y veleta llamada Watchkeeper, ubicada aproximadamente en la latitud $32,99^{\circ}$ S y longitud $71,82^{\circ}$ O.

El gráfico de la Figura 37 integra las alturas de las mareas, oleaje, velocidad viento versus el avance de la línea de costa hacia el continente o retroceso hacia el mar. Con respecto al año 2016 los valores picos de marea es en junio (1.8 m), oleaje en agosto (3.4 m) y viento en octubre (25 km/h), por otra parte, los menores valores son para marea en diciembre (0.4 m), oleaje en mayo (1.2 m) y viento en mayo (6 km/h). En el año 2017 los valores picos de marea es en junio (1.5 m), oleaje en julio (3.8 m), viento en enero y noviembre (31 km/h), mientras que los menores valores son para marea en septiembre (0.3 m), oleaje en diciembre (1.5 m) y viento en marzo (12 km/h). Para el año 2018 los valores picos de marea es en mayo (1.5 m), oleaje en julio (4.3 m), viento en julio y octubre (31 km/h), en cambio los menores valores son para marea en noviembre (0.4 m), oleaje en abril y octubre (1.5 m), viento en agosto (13 km/h). En el año 2019 los valores picos de marea es en enero (1.2 m), oleaje en julio (3.5 m) y viento en julio (28 km/h), mientras que los mínimos son para marea en marzo (0.7 m), oleaje en marzo (2 m) y viento en octubre (15 km/h). El avance de la línea de costa hacia el continente y retroceso hacia el mar muestra coincidencia con los valores picos y mínimos de oleaje respectivamente para los periodos 2016 a 2019.

Con respecto a la línea de costa, el avance hacia el continente y el retroceso hacia el mar en la Figura 38 se divide por estaciones del año. Se observa que para las estaciones de verano y primavera la línea de costa avanza y retrocede irregularmente, por otro lado, para la estación de otoño existe una preferencia de la línea de costa a retroceder hacia el mar a excepción de las fechas de junio cercanas al término del otoño. Al contrario, en la estación de invierno la línea de costa preferentemente avanza hacia el continente, a excepción del 1 de septiembre 2018.

Al comparar el avance de la línea de costa hacia el continente y retroceso hacia el mar con las alturas de mareas, oleaje y velocidad del viento por estaciones del año en la Figura 39, se

observa una mayor semejanza entre avance y retroceso de la línea de costa con los valores a nivel estacional del oleaje que con respecto a la marea y el viento, coincidiendo los periodos invernales como avances de la línea de costa hacia el continente con valores altos del oleaje (mayor o igual a 3 m) y periodos otoñales como retroceso de la línea de costa hacia el mar con los valores menores del oleaje (menor o igual a 2 m). En los periodos de verano y primavera las alturas del oleaje varían entre los 2 m a 3 m por lo que es irregular el avance o retroceso de la línea de costa. En cambio, el viento y la marea no presentan mayor influencia y correlación en cuanto al control sobre el avance de la línea de costa y retroceso hacia el mar, ya que se observan valores altos de viento (mayores o igual a 25 km/h) y marea (mayores o iguales a 1.5 m) en estaciones tales como primavera, otoño y verano donde la línea de costa retrocede y caso contrario en que existen valores bajos de viento (menores o iguales a 15 km/h) y mareas (menores o iguales a 1 m) en periodos de invierno, primavera y verano donde la línea de costa avanza hacia el continente. Mediante el lenguaje de programación Rstudio se detectó estadísticamente mediante correlaciones, que los movimientos de las líneas de costas poseen correlaciones de 0.7 con el oleaje, 0.34 con el viento y 0.27 con la marea, lo cual confirma que la altura de oleaje es el principal agente dinámico de la costa de Concón.

Por lo tanto, se tiene que la línea de costa avanza al continente en general cuando el oleaje sea igual o superior a los 3 m, en cambio retrocede al mar regularmente cuando el oleaje sea igual o inferior a los 2 m, siendo independiente el avance o el retroceso de la línea de costa a los valores de la marea y el viento. Cuando el oleaje está entre 2m a 3 m puede tanto avanzar la línea de costa hacia el continente como retroceder hacia el mar.

Línea de Costa vs Altura de Oleaje, Altura de Marea y Velocidad de Viento, 2016 - 2019

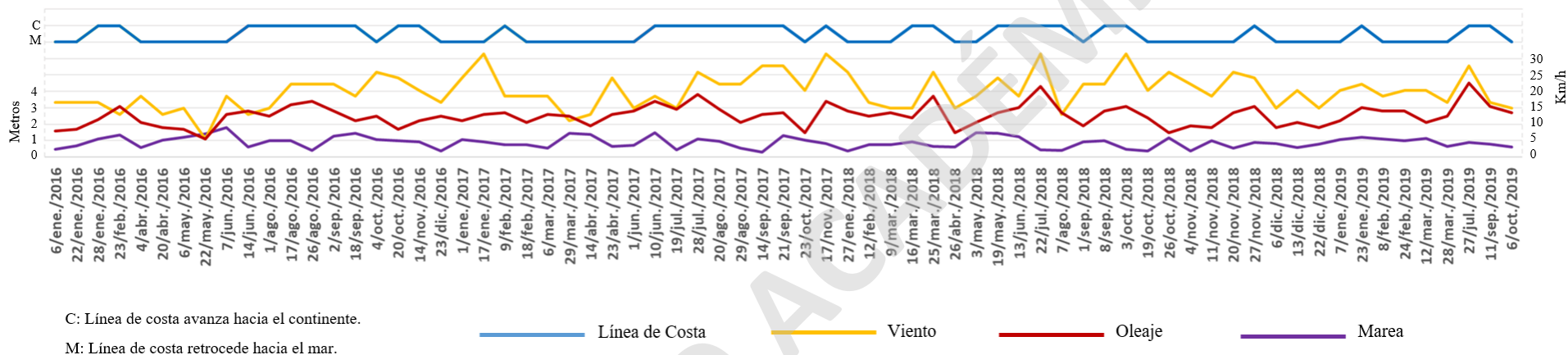


Figura 37. Avance de línea de costa hacia el continente (C) y retroceso hacia el mar (M) vs altura de oleaje, marea y velocidad de viento entre los años 2016 a 2019. El valor pico de la altura del oleaje ocurre en julio de 2017 (C) y valor mínimo en mayo de 2016 (M). En cambio, el valor pico de la altura de la marea ocurre en junio de 2016 (C) y el valor mínimo en septiembre de 2017 (C). Para la velocidad del viento, el valor pico ocurre en enero (M), noviembre (C) de 2017 y julio, octubre de 2018 (C), el valor mínimo en mayo de 2016 (M).

Línea de Costa vs Altura de Oleaje, Altura de Marea y Velocidad de Viento, 2016 - 2019

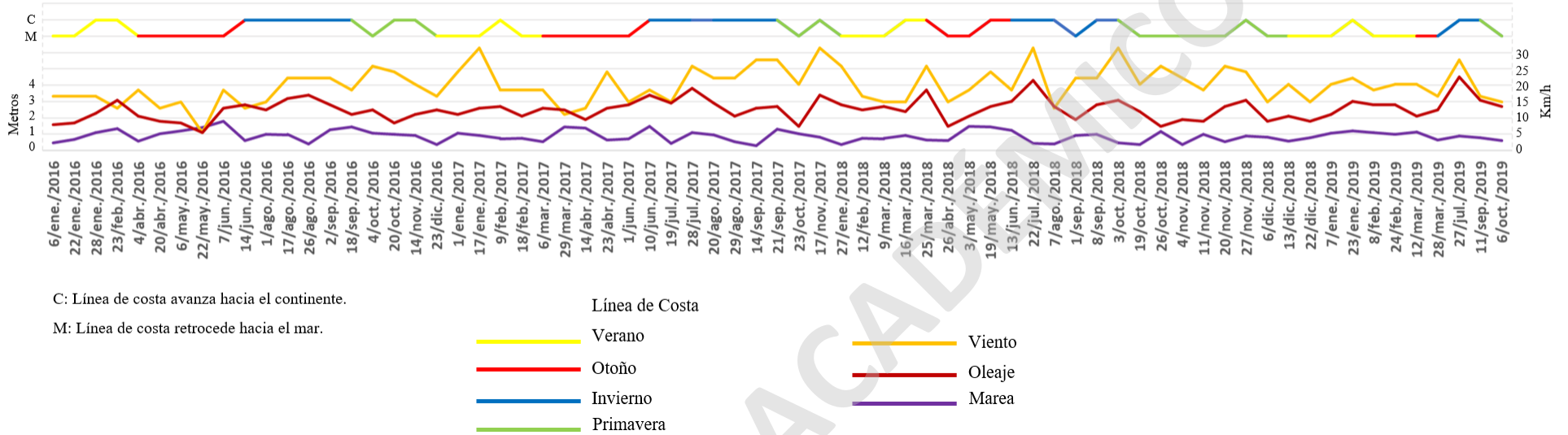
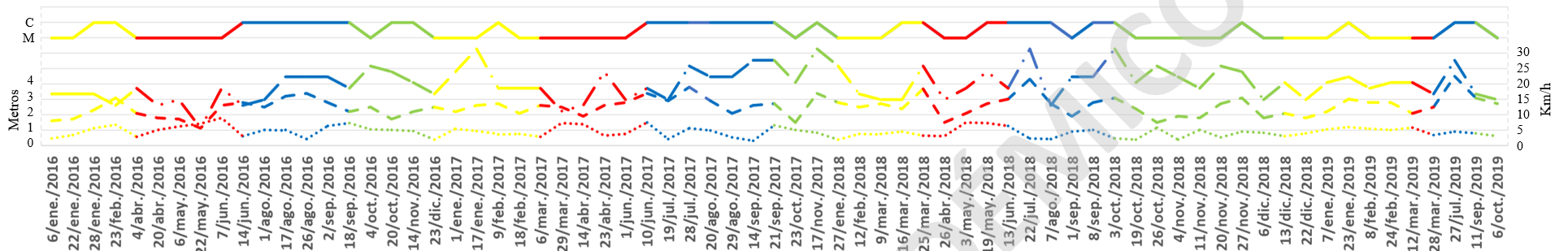


Figura 38. Avance de línea de costa hacia el continente (C) y retroceso hacia el mar (M) subdividida por estaciones del año vs altura de oleaje, marea y velocidad de viento entre los años 2016 a 2019. La línea de costa tiende avanzar al continente (C) en invierno (excepto el 8/sep./2018), retrocede hacia el mar en otoño (excepto el 19/may./2018) y la línea de costa avanza y retrocede irregularmente tanto en verano como primavera.

Línea de Costa vs Altura de Oleaje, Altura de Marea y Velocidad de Viento, 2016 - 2019



C: Línea de costa avanza hacia el continente.

M: Línea de costa retrocede hacia el mar.



Figura 39. Avance de línea de costa hacia el continente (C) y retroceso hacia el mar (M) subdividida por estaciones del año vs altura de oleaje, marea y velocidad de viento subdividida por estaciones del año, entre los años 2016 a 2019. La línea de costa generalmente avanza hacia el continente cuando la altura del oleaje es mayor o igual a 3m y retrocede hacia el mar cuando la altura del oleaje es menor o igual a 2m. Altura del oleaje entre 2 a 3m la línea de costa puede tanto avanzar como retroceder. Aparentemente, el avance y retroceso de la línea de costa no guarda relación con la altura de la marea y la velocidad del viento.

5. Discusiones

A partir de los resultados expuestos en el capítulo anterior, se discutirán las características morfodinámicas y variabilidad de la costa de la Bahía de Concón, en relación con los cambios en la posición de la línea de costa, propiedades del sedimento de playa, agentes dinámicos que actúan en el litoral y antecedentes recopilados.

5.1. Variabilidad de la Línea de Costa

Martínez (2007) realizó un estudio de variabilidad en la posición de la línea de costa para la Bahía de Concón entre los años 1945 a 2006 a través del uso de fotogrametría aérea, con escala anual. Sus resultados indican que el área de estudio se encuentra en estado de equilibrio, sin mayor variabilidad, a excepción en la zona de la desembocadura del Río Aconcagua donde presenta variaciones del ancho de la costa de 368 m a 124 m y que el área de influencia del Río Aconcagua es de 1000 m hacia el norte, el límite donde se detecta la mayor movilidad de la costa, más allá de este umbral la movilidad de la costa es escasa con tendencia a permanecer en un estado estacionario. En contraste a esto, los resultados de este estudio de las líneas de costa obtenidos de forma continua a escala semanal, observados en las Figuras 16, 18 y 19, evidencian que para los años 2016 a 2019 en la Bahía de Concón existe variabilidad en el ancho de la costa. En la Figura 16, se observa que entre los años 2016 a 2018, las zonas norte y centro-norte del área de estudio (Playa Ritoque), que abarcan cerca de 7 km de playa, presentan los mayores valores de ancho de playa que, por lo general, se encuentran entre 45 a 130 m, encontrándose los mayores valores en la zona de playa del humedal (Humedal de Mantagua). En cambio, en las zonas centro-sur y sur (Playa la Boca), que abarcan 3 km de playa, el ancho de la costa varía entre 15 a 30 m, a excepción de la zona de la desembocadura del Río Aconcagua, donde el ancho varía entre 45 a 105 m. Las Figuras 18 y 19, representan dos transectas perpendiculares a la línea de costa, una a 200 m al norte del Río Aconcagua (Figura 18) y otra alejada a la desembocadura del río (Figura 19), se observa que para el año 2019 existen cambios en el ancho de la costa a escala estacional. En la Figura 18 existe una variación de 45 m en el ancho de la costa entre otoño e invierno, por

otra parte, en la Figura 19 la variación del ancho de costa es de 130 m entre otoño e invierno. Por lo tanto, se concuerda que la zona del estuario del Río Aconcagua es la que presenta mayores variaciones en el ancho de la costa de la Bahía de Concón, arrojando valores sobre los 100 m. De acuerdo con Fierro (2004) y Martínez & Cortez (2007), el comportamiento morfológico de la desembocadura del Río Aconcagua está dominado por el régimen de oleaje y fluvial. Esta combinación, permite que ambos medios estén en continuo contacto, de forma que el oleaje penetre hacia el interior de la desembocadura y que el caudal del río incida hacia el mar, acortando el ancho de la costa. Caso contrario, en que el oleaje no logre penetrar en la desembocadura y que el caudal del río no incida hacia la desembocadura, se forma una barra frontal, el cual aumenta el ancho de la costa en más de 100 m para este sector, tal como se observó en la Figura 19.

Con respecto a la extracción de líneas de costas para la Bahía de Concón, el único estudio previo realizado en el sector sur del área de estudio es el de Martínez (2007), el cual como se mencionó anteriormente extrae las líneas de costas a través de fotogrametría aérea a escala anual para los periodos entre 1945 a 2006. Según Martínez (2007) son dos los problemas esenciales al trabajar con una serie histórica de fotogramas, el primero es la escala espacial de representación, ya que se usaron diferentes escalas de resoluciones espaciales entre 1:8.000 a 1:70.000, al usar una amplia gama de escalas se traduce en errores acumulativos y el segundo problema es la escala temporal, ya que, al ser una serie estadística de estados de la costa, la morfodinámica es una función de variables que tienen un comportamiento espacial y temporal diferencial, es decir, escalas temporales para las cuales la estacionalidad es relevante, la fotogrametría anual usada entre 1945 a 2006 fue de verano (33.3%), invierno (11.1%) y en temporadas de transición (55.5% para otoño y primavera). Al usar una escala anual con diferentes proporciones de imágenes por estaciones, los resultados tuvieron sesgos de representación a escala estacional (Martínez, 2007). En contraste, en el presente estudio se extrajeron líneas de costas para la playa de la Bahía de Concón a escala semanal a través del uso de imágenes satelitales (Landsat 8) para los años 2016 a 2019, las cuales se segmentaron en 9 polígonos para mejorar la resolución espacial y el grado de detalle de las líneas de costas, el uso de una escala espacial fija y representación estacional permitió evitar los problemas descritos de Martínez (2007). Martínez (2007), detecta estacionalmente que la línea de costa de la Bahía de Concón tiende preferentemente a avanzar hacia el continente en

los meses de invierno, otoño y primavera, por otro lado, observó tendencias leves al retroceso hacia el mar en verano. En cambio, las líneas de costas obtenidas en este estudio entre 2016 a 2019 muestran contrastes con respecto a las obtenidas por Martínez (2007) entre 1945 a 2006 para la Bahía de Concón.

Para el año 2016 (Figura 8) la línea de costa avanza hacia el continente en invierno, en cambio retrocede al mar por lo general en otoño de forma irregular, es decir que existen sectores entre las zonas centro-norte a sur que tienden en otoño a estar más cerca del mar (Figuras 8-A, 8-C, 8-D, 8-E, 8-H y 8-I), y sectores en zonas norte y centro-sur en que por entrecruzamiento - traslape no se identifican retrocesos entre otoño, verano y primavera (Figuras 8-B, 8-F, 8-G). En el año 2017 (Figura 9), el avance hacia el continente y retroceso hacia el mar de la línea de costa es más irregular que en 2016, es decir, existen sectores en las zonas centro-norte y centro-sur donde la línea de costa tiende a avanzar al continente en invierno (Figuras 9-C, 9-E, 9-F, 9-G y 9-H), y zonas al norte y sur en que no se observa predominio de una estación sobre otra por entrecruzamiento y/o traslape (Figuras 9-A, 9-B 9-I), con respecto al retroceso de la línea de costa hacia el mar, se observa que existen sectores en las zonas centro-norte y centro-sur que por lo general en otoño retrocede la línea de costa (Figuras 9-C, 9-D, 9-E y 9-G), en verano (Figura 9-H), y otros sectores en las zonas norte y centro-sur que por entrecruzamiento - traslape no se determina que estación retrocede la línea de costa (Figuras 9-A, 9-B, 9-F y 9-I), por lo que en general durante 2017 las tendencias de avances o retrocesos de la línea de costa son por zonas y no por toda el área de estudio. Con respecto a 2018 (Figura 10), al igual que en 2017 las tendencias de avances y retrocesos por estación se observan por zonas. Es decir, se presentan sectores en las zonas centro-norte y centro-sur donde la línea de costa tiende a avanzar al continente en invierno (Figuras 10-C, 10-D, 10-E, 10-F y 10-H), y sectores en las zonas centro-norte, centro-sur y sur en que no predomina ninguna estación (Figuras 10-A, 10-B, 10-G y 10-I), en cuanto al retroceso de la línea de costa hacia al mar se observan sectores en las zonas centro-norte y centro-sur en que predomina en verano (Figuras 10-C, 10-D y 10-F) y otoño (Figura 10-E), y sectores en zonas norte, centro-sur y sur que no muestran tendencias sobre que estación la línea está más cerca del mar (Figuras 10-A, 10-B, 10-G, 10-H y 10-I). Mientras que en el año 2019 que corresponde al sector sur del área de estudio (Figura 15), se observa que la tendencia es al

avance de la línea de costa hacia el continente en invierno y de retroceso hacia al mar en otoño.

Con respecto a la variabilidad de la línea de costa de cada estación para los periodos de 2016 a 2018, los datos muestran que la línea de costa avanza hacia el continente en ciertas zonas mientras que en otras permanecen aparentemente sin avance, en relación con la temporada. La línea de costa avanza hacia el continente para las siguientes estaciones con sus zonas respectivas: Verano (Figura 11) en las zonas F, G y H (Figuras 11-F, 11-G y 11-H), otoño (Figura 12) en las zonas A, G, H e I (Figuras 12-A, 12-G, 12-H y 12-I), invierno (Figura 13) en las zonas C, D y E (Figuras 13-C, 13-D y 13-E) y primavera (Figura 14) en las zonas C, D (Figuras 14-C y 14-D). El resto de las zonas no muestran tendencias de que la línea de costa avance o retroceda, ya sea por entrecruzamiento y/o traslape entre las líneas para las distintas estaciones. Por lo tanto, en cuanto a las zonas que, si reflejan avance hacia el continente, se tiene que verano y otoño comparten la tendencia a predominar en las zonas centro-sur (G y H), en cambio invierno y primavera comparten la tendencia en las zonas centro-norte (C y D), para los periodos de 2016 a 2018.

Cerca del 70% de las playas del mundo experimentan erosión, generalmente en escalas que no superan 1 m por año, las mayorías de estas playas no tienen más de unos pocos metros de ancho y las causas de esta erosión se asocian a factores como fluctuaciones en el nivel del mar, eventos de tormentas y/o actividades humanas (Muller et al., 2006). En el contexto regional, las costas del centro de Chile presentan tasas de erosión y acreción variables, las playas contiguas al sur de la Bahía de Concón como la playa de Reñaca experimentó una acreción de 12.6 m entre 1964 y 2006, mientras que la playas Los Marineros y Las Salinas demostraron estar en condiciones estables en el mismo período (Martínez et al., 2018). La playa Caleta Portales, por el contrario, se vio significativamente afectada por un retroceso de la costa de 12.6 m entre 2004 y 2016 (Martínez et al., 2018). Según Martínez et al. (2018) las tasas de erosión aumentaron debido al aumento del nivel del mar de hasta 30 cm observado durante eventos ENSO y al aumento en la frecuencia de tormentas extremas, que pasó de casi 5 eventos por año en la década de 1960 a más de 20 eventos por año a la fecha de 2015, en la zona central de Chile. En el contexto local, Martínez et al. (2011), mediante modelos de ajustes logarítmicos y parabólicos propone que para la playa de la Bahía de Concón ha existido escasa variabilidad en las tasas de cambio de la línea de costa entre los años 1945 a

2010. El sector sur presenta tasas de erosión 0.55 m / año a pesar de la gran variabilidad producida por el estuario del Río Aconcagua y el sector norte presenta tasas de acreción de 0.39 m / año (Martínez et al., 2011). En contraste a esto, los resultados del presente estudio muestran que para la Bahía de Concón entre los años 2016 a 2019 las tasas de erosión-acreción varían a lo largo de la playa y aumentan con respecto a las tasas de erosión-acreción entre los años 1945 a 2010 propuestas por Martínez et al. (2011). Como se muestra en la Figura 20, el sector de playa que se encuentra al sur del Río Aconcagua presenta acreción entre 0.5 m a 3 m. La zona de la desembocadura del Río Aconcagua tiene tasas de acreciones de 3 m a 29 m. Desde la desembocadura a la altura de la isla arrecifal, la playa presenta una tendencia predominante de erosión con tasas de 3 m a 9 m. Desde la isla arrecifal hacia Pta. Ritoque, la playa muestra intercalaciones entre zonas de acreción-erosión con tendencias a la acreción con tasas de 0.5 m a 29 m.

De los resultados y antecedentes expuestos se puede proponer, que la tendencia a la erosión en el sector sur, a excepción de la desembocadura del Río Aconcagua y la tendencia a la acreción en los sectores centro y norte, recae en primer lugar a la urbanización registrada en el sector sur del área de Concón, específicamente en las dunas que son usadas como cimientos de la ciudad (Figura 4), las cuales al ser urbanizadas anulan el aporte sedimentario por transporte eólico mediante suspensión hacia el sector sur de la Bahía de Concón, ya que como se observó los vientos poseen dirección y sentido NE. La disminución del aporte sedimentario desde las dunas hacia la playa supondría un desequilibrio en la recarga sedimentaria hacia la playa favoreciendo la erosión marina de esta, excepto en el sector de la desembocadura del río, el cual como se observó, la influencia de este favorece al aumento del ancho y acreción para el sector de la desembocadura por medio de los sedimentos transportados desde la cuenca y la formación de barras frontales. Con respecto a la tendencia de acreción en el sector centro y norte de la playa (Playa Ritoque), se puede explicar por el aporte y estabilidad morfosedimentaria que genera el humedal y el campo dunar, los cuales atrapan el sedimento costero y evitan que migre, esto tiene estrecha relación con respecto a los anchos de playa observados, ya que estos sectores poseen los mayores anchos del área de estudio. A su vez, se puede explicar por la transferencia por deriva litoral, ya que el oleaje al tener dirección y sentido preferencial hacia el NE, remite en que el sedimento de playa erosionado del sector sur se transporte hacia el norte continuamente por el oleaje, permitiendo

la deposición del sedimento, derivando en el mayor ancho y tasas de acreción para el sector centro y norte de la playa.

5.2. Influencia de los Agentes Dinámicos

Los agentes dinámicos que pueden actuar en el perfil litoral son diversos, como se mencionó anteriormente Martínez et al. (2018) realizó un estudio a escala de décadas entre 1964 a 2006 sobre las tasas de erosión para algunas playas urbanizadas de la Región de Valparaíso, en el cual explica que son múltiples los posibles agentes que modelan el perfil litoral, entre ellos la urbanización, terremotos, tsunamis, estuarios, altura del oleaje y mareas, velocidad del viento, eventos ENSO y eventos de tormentas extremas principalmente. Martínez et al. (2018) concluye que los principales factores dinámicos en las playas que mostraron tasas de erosión positivas fueron el aumento del nivel medio del mar por sobre 30 cm relacionado con eventos ENSO y tormentas extremas registradas para el litoral central que produjeron vientos sobre los 100 km/h y altura de olas sobre los 6 m. En el presente estudio no se consideró la tectónica, como tampoco los tsunamis debido a que la escala temporal de trabajo no evidencia que hayan ocurrido ese tipo de eventos. La urbanización en la Bahía de Concón está representada por las dunas urbanizadas de Concón y las planicies urbanizadas que se encuentran al sur y al este respectivamente de la playa en estudio (Figura 4), la cual no ha tenido expansión urbana entre los 2016 a 2019 según el Plan Comunal de Concón 2018-2022 (Gómez, 2017).

El Río Aconcagua posee varias estaciones pluviométricas a lo largo de su nacimiento hasta la desembocadura, todas monitoreadas por la Dirección General de Aguas (DGA), la estación más cercana a la desembocadura del Río Aconcagua en funcionamiento se encuentra a 50 km al este, llamada Chacabuquito, que por motivos de lejanía con la desembocadura no se consideró. Sin embargo, un estudio previo realizado por Martínez (2007), establece que el área de influencia del Río Aconcagua es cercana a los 1000 m hacia el norte, a 2006. Por lo tanto, en el presente estudio los agentes dinámicos identificados y analizados con respecto al avance o retroceso de la línea de costa, fueron las alturas de las olas, mareas y velocidad del viento entre los años 2016 a 2019 para la costa de la Bahía de Concón (Figuras 37, 38 y 39).

Los resultados obtenidos muestran que, el agente dominante que controla el avance de la línea de costa y retroceso hacia el mar es la altura del oleaje (Figura 39). Para alturas que sean igual o mayor a 3 m, la línea de costa tiende a avanzar al continente, en cambio, para alturas que sean menores a 2 m la línea de costa tiende a retroceder al mar. Para valores entre 2 m a 3 m de olas, la línea de costa puede tanto avanzar como retroceder. En relación con las alturas del mar y velocidades del viento registradas, la línea de costa va a avanzar o retroceder independiente de los valores picos o bajos que alcancen (Figura 39), ya que la correlación medida entre el movimiento de líneas de costa con la marea y el viento fueron menores a 0.35, en cambio con respecto al oleaje la correlación es de 0.7. A diferencia de lo propuesto por Martínez (2018), en este estudio los valores picos registrados de oleaje y viento entre 2016 a 2019 para la Bahía de Concón, no son lo suficientemente altos como para ser categorizados como eventos de tormentas, ya que tanto el oleaje y el viento no alcanzaron los 6 m de altura y 100 km/h respectivamente. Tampoco en este estudio existe evidencia que compruebe que los aumentos sobre 30 cm en la altura de la marea por eventos ENSO, causen que la línea de costa avance hacia el continente. Con los datos obtenidos, en relación con las estaciones se puede observar en la Figura 39, que generalmente las alturas iguales o mayores a 3 m de olas ocurren con mayor frecuencia en invierno y las alturas iguales o menores a 2 m de olas se alcanzan con mayor frecuencia en otoño, mientras que en verano y primavera se registran alturas variadas entre 2 m a 3 m.

Esta aseveración concuerda con las líneas de costa obtenidas por estaciones entre 2016 a 2019 y los perfiles de elevación realizados por estación en 2019. En que, por lo general, la línea de costa tiende a avanzar al continente en invierno y a retroceder al mar por zonas en otoño – verano. Primavera se ve reflejada como una temporada transicional.

Sin embargo, con respecto a la desembocadura del río Aconcagua, además del régimen por oleaje se distingue la influencia del río. El cual como se observó para este sector, la variación en el ancho y tasa de acreción de la playa está por sobre el resto de la costa, debido a la interacción del oleaje y el río que continuamente se conjugan conectados o separados mediante la recuperación de la barra frontal. La formación de la barra, como se determinó, es independiente a la estacionalidad, ya que se recupera en el tiempo en diversas épocas del año durante 2016 a 2018, por lo que se puede proponer transferencia por deriva litoral del sedimento, siendo la dirección y sentido principal del oleaje hacia el NE.

5.3. Distribución Granulométrica

Con respecto a la sedimentología de la playa de la Bahía de Concón, Martínez & Cortez (2007) en abril del 2001 recolectaron muestras sedimentológicas de los sub-ambientes foreshore y backshore, en 14 transectas perpendiculares a la línea de costa, distanciadas 200 m entre sí, el área en que fueron recolectadas estas muestras es la misma a la usada en este estudio (Figura 7), que abarca entre la desembocadura del Río Aconcagua hasta el sector de playa perpendicular a la isla arrecifal. Los resultados obtenidos por Martínez & Cortez (2007) señalan que tanto en el foreshore y backshore las categorías granulométricas presentes son arena muy fina, arena fina y arena media, siendo la arena fina como la categoría principal, por otra parte, identificaron que a 30 cm de profundidad hacia el interior de la desembocadura del Río Aconcagua abundancia de gravas. Las curvas granulométricas de acumulación que obtuvieron Martínez & Cortez (2007) muestran variabilidad en el backshore a lo largo de la playa, por el contrario, el foreshore presenta escasa variabilidad, mientras que la zona de la desembocadura del Río Aconcagua presenta similitud en ambos sub-ambientes.

Posteriormente, Soto et al., (2011) describe la presencia de gravas en las zonas de playa proximales a la desembocadura del Río Aconcagua, atribuyendo el aporte detrítico como producto de la erosión de los suelos y laderas aledañas al río por expansión territorial del sector agrícola en las comunas de Concón, Quillota y Los Andes.

En contraste, la sedimentología observada en este estudio, indica que para distintos perfiles en diferentes temporadas del año se obtienen diversas respuestas en cuanto al transporte, asimetría y curtosis.

La zona del estuario del Río Aconcagua (Perfil 8), pese a que los datos obtenidos muestran gran variabilidad en el ancho (Figura 19) y la línea de costa a estar más cerca del continente en invierno (Figura 15), pareciera ser que en términos sedimentológicos regular en verano, otoño e invierno ya que los sedimentos de cada sub-ambiente presentan una gran semejanza en cuanto al transporte, selección, asimetría y curtosis (Figuras 35 y 36), siendo las categorías granulométricas presentes arena media, arena fina y arena muy fina, predominando la arena fina, coincidiendo con los resultados obtenidos para los sub-ambientes de backshore y foreshore propuestos por Martínez & Cortez (2007). En consecuencia, a lo anteriormente

expuesto, es posible establecer que, para el sector de playa perteneciente a la desembocadura del Río Aconcagua, se combinan la influencia del oleaje y el aporte sedimentario del río, lo cual permite que la sedimentología sea regular en el tiempo en comparación con el resto de la costa.

El sector próximo al norte de la desembocadura del Río Aconcagua (Perfil 7), si bien presenta las mismas categorías granulométricas, arena media, arena fina y arena muy fina, siendo la principal la arena fina para los tres sub-ambientes, el porcentaje de estas varían, aumentando la arena media en el foreshore hacia invierno (julio de 2019), y disminuyendo la arena media en el backshore y base del médano en invierno (Figuras 33 y 34). Esto probablemente debido a que, según los datos obtenidos, en invierno la línea de costa estaba más cerca del continente (Figura 15 y 18) con un oleaje superior a los 3 m (Figura 39), por lo que la zona que correspondía al backshore entre verano y otoño paso a ser la zona del foreshore en invierno (Figura 18), aumentando el porcentaje de arena media en el foreshore y disminuyendo el porcentaje en el backshore y base del médano.

La variación de la distribución granulométrica se acentúa más desde el perfil 6 al 1, presentando desde el perfil 6 al 3 sedimentos tamaño grava tanto en el backshore como en el foreshore entre diciembre de 2018 a julio de 2019, asociados a bancos de gravas al igual como observó Martínez & Cortez (2007) y Soto et al. (2011). Por lo general, en el foreshore la granulometría aumenta en el tiempo (Perfil 6 al 1), es decir, comienza en verano con sedimentos tamaño arena fina y concluye en invierno con sedimentos tamaño arena media, esto se puede explicar por el avance de la línea de costa en invierno hacia el continente, ocupando la zona del backshore por lo que aumenta el porcentaje de arena media. A diferencia de la zona proximal a la desembocadura del Río Aconcagua (Perfil 7), tanto la base del médano y principalmente el backshore varían de tamaño irregularmente entre arena fina y arena media en el tiempo, una posible explicación es la mezcla de agentes que transportan los sedimentos, ya que la interacción entre el medio marino y el eólico para estos sub-ambientes se estrecha en términos espaciales producto del avance de la línea de costa en invierno, mezclando el transporte por saltación y suspensión entre los sedimentos tamaño arena media y fina en el tiempo. En cuanto a la presencia de gravas, estas se encuentran en forma de bancos a partir de 500 m al norte de la desembocadura del Río Aconcagua hasta 2 km de este, en los sub-ambientes de foreshore y backshore. Originalmente las gravas

proviene del río, las cuales en el mar por efecto de la transferencia por deriva litoral se transportan en dirección NE depositándose en orlas de playa por tracción del oleaje.

Por lo tanto, los resultados muestran que la distribución granulométrica a lo largo de la playa de la Bahía de Concón varía por sub-ambientes, entre los periodos de diciembre de 2018 a julio de 2019. En sector de la desembocadura del Río Aconcagua presenta regularidad granulométrica de los sub-ambientes en el tiempo, esto difiere 500 m hacia el norte de la desembocadura, donde la variabilidad granulométrica se expresa en el tiempo. En el foreshore predomina la categoría arena fina que con el paso de verano a invierno pasa a predominar la arena media por medio del avance de la línea de costa hacia el continente. A raíz de esto último es posible distinguir mezclas de agentes de origen marino y eólico que permiten que varíe la granulometría del backshore y base del médano entre arena media y arena fina en el tiempo debido a la movilización de la zona de rompiente de la ola hacia las dunas en invierno. Se presentan por bancos de gravas hasta 2 km al norte de la desembocadura del Río Aconcagua producto de la transferencia por deriva litoral hacia el NE y tracción del oleaje.

6. Conclusiones

De acuerdo con datos expuestos y analizados, se concluye lo siguiente:

Para la playa de la Bahía de Concón entre los años 2016 a 2019, se identificaron tres agentes que interactúan en el litoral, estos son: Altura de oleaje, altura de marea y velocidad del viento. De los tres agentes identificados se determinó que la altura de las olas es el que más se relaciona a los avances de la línea de costa hacia el continente o retroceso hacia al mar. Las alturas de olas iguales o sobre los 3 m la línea de costa avanza al continente, en cambio, alturas iguales o menores a 2 m la línea de costa retrocede al mar. Se identificó que las alturas de olas iguales o mayores a los 3 m ocurren con mayor frecuencia en invierno y menores o iguales a los 2 m en otoño.

Se detectó que la línea de costa avanza al continente y retrocede al mar, según estación y por zonas, en los periodos de 2016 a 2019. La línea de costa por lo general avanza hacia el continente en invierno y retrocede hacia el mar en verano y otoño principalmente, para las zonas centro-norte y centro-sur de la Bahía de Concón. Por otra parte, la línea de costa en primavera no refleja tendencias por lo que se considera como un periodo transicional en el movimiento de la línea de costa. Respecto a las estaciones, en verano y otoño avanzan al continente en las zonas centro-sur del área de estudio de 2016 a 2019, mientras que en invierno y primavera avanzan al continente en las zonas centro-norte

Se identificó que el ancho de la playa de la Bahía de Concón varía de sur a norte, los mayores anchos se registran en las zonas centro-norte, norte y desembocadura del Río Aconcagua (45 m a 130 m), siendo este último el de mayor variación. Por otro lado, los menores anchos se registran en el sector sur del área de estudio (15 m a 30 m).

Se calculó y detectó zonas con distintas tasas de erosión-acreción. El sector sur del área de estudio presenta tasas de erosión que van desde los 3 m a 9 m de la playa, en el periodo de 2016 a 2019, a excepción del sector correspondiente al Río Aconcagua, que presenta tasas de acreción de 3 m a 29 m, al igual que sectores de playa ubicados al centro y norte del área de estudio.

Se identificó que la playa correspondiente al sector sur del área de estudio presenta distintas distribuciones granulométricas por sub-ambiente, entre los periodos de diciembre de 2018 a julio de 2019. Los sub-ambientes de la desembocadura del río Aconcagua son regulares en su granulometría en el tiempo, en cambio hacia el norte aumenta la variabilidad de estos. El sedimento del foreshore tiende a aumentar de tamaño a arena media, en cambio el backshore y base del médano varía irregularmente entre arena fina a media en el tiempo. Se distinguen bancos de gravas asociados al foreshore y backshore desde los 500 m hasta 2 km al norte de la desembocadura del Río Aconcagua producto de la transferencia por deriva litoral y tracción del oleaje hacia el NE.

A modo de concluir con respecto a la tendencia evolutiva, dada las condiciones dinámicas actuales, es probable que el sector sur del área de estudio a excepción de la desembocadura del Río Aconcagua, tienda a la continua erosión y por lo tanto a la disminución del ancho de la costa. Esto por la ausencia de recarga sedimentaria hacia el sector sur de la playa provocada probablemente por la urbanización de las dunas de Concón. Esto se acentúa en periodos invernales por oleajes frecuentes sobre 3 m, avanzando la línea de costa hacia el continente. Este cambio tiene estrecha relación con la sedimentología de los sub-ambientes, debido al avance de la línea costera hacia el continente, la zona del foreshore se posicionaría en la del backshore y este último con la base del médano, existiendo una mezcla de agentes, que como se evidencia, aumentan la variabilidad granulométrica. Sin embargo, en el sector de la desembocadura del Río Aconcagua, a diferencia de lo anterior, la influencia del oleaje se mezcla con el aporte sedimentario fluvial, permitiendo que varíe positivamente el ancho de la costa, las tasas de acreción y regularidad en la granulometría de los sedimentos en el tiempo. Por otra parte, los sectores centro y norte de la playa tenderían a la continua acreción y aumento de ancho de la costa por influencia del humedal y del campo dunar, estos hitos naturales estabilizarían el sedimento de playa, disminuyendo el impacto erosivo del oleaje. Se propone que, por medio de transferencia por deriva litoral, el sedimento se transporte a través del oleaje con dirección y sentido NE, tales como las gravas que desde la desembocadura del Río Aconcagua se depositan por tracción del oleaje desde 500 m hasta 2 km de su lugar de origen. Esto implica que favorezca la erosión del sedimento del sector sur de la playa, siendo transportado y depositado al centro y norte de esta, favoreciendo positivamente la acreción y ancho de la playa.

6.1. Recomendaciones

Se requieren campañas de terreno de forma estacional, a modo de control y verificación de las tendencias dinámicas observadas, correlacionando a la vez con datos oceanográficos de mayor escala, tales como el Anticiclón del Pacífico, eventos ENSO, con datos hidrológicos asociados a la variabilidad de los caudales del sistema fluvial de la cuenca del Río Aconcagua y procesos tectónicos como alzamientos o subsidencias del terreno.

Vandebroek (2017) ocupó imágenes de radar del satélite TerraSar-x para estudiar la dinámica costera de los Países Bajos debido a su alta nubosidad durante el año. Se recomienda complementar este estudio con el uso de las imágenes de radar para el análisis de información en días de alta nubosidad.

Martínez et al (2018) ante la falta de información pública y actualizada sobre variables climáticas marinas y meteorología superficial costero que afectan el litoral, las obtuvo por una empresa nacional especialista llamada SIPROL, reconocida por la comunidad científica nacional e internacional, otorgando buenos resultados. Se recomienda ante estudios científicos costeros que requieran datos climáticos e hidrológicos de difícil acceso en terreno y que no se encuentren públicos, consultar a empresas nacionales especialistas.

El monitoreo continuo es vital para la generación de políticas de uso de costa, así como para la gestión local de los recursos costeros, por lo que las contribuciones de las comunidades científicas grandes a pequeñas que estudian la dinámica costera son fundamentales para el entendimiento holístico de la variabilidad y evolución de las costas.

7. Bibliografía

- Abualhin, K. Niemeyer, I. (2009). Coastal monitoring using remote sensing and geoinformation systems: Estimation of erosion and accretion rates along Gaza coastline. Conference: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'09, At Cape Town.
- Al-Hatrushi, S. M. (2013). Monitoring of the shoreline change using remote sensing and GIS: a case study of Al Hawasnah tidal inlet, Al Batinah coast, Sultanate of Oman. *Arabian Journal of Geosciences*. Páginas: 1479-1484.
- Aldacour, H. Calo, J. Marcos, A. Fernández, Elba. (2003). Interrelación de los ambientes eólicos y marino a través del análisis textural y mineralógico de las arenas de monte hermoso, Argentina. *AAS Revista* (2003), vol. 10 n° 2. Páginas: 151-161.
- Alexandrakis, G., Manasakis, C., & Kampanis, N. A. (2015). Valuating the effects of beach erosion to tourism revenue. A management perspective. *Ocean & Coastal Management*. Páginas: 1-11.
- Alhin, K. A., & Niemeyer, I. (2009). Coastal monitoring using remote sensing and geoinformation systems: Estimation of erosion and accretion rates along Gaza coastline. 2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 4, IV–29. IEEE.
- Álvarez, L. (1964). Geología del área Valparaíso-Viña del Mar. *Boletín Del Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile)*. Páginas: 1-58.
- Arche, A. (Ed). (2010). Madrid, España: Editorial: Consejo superiores de investigaciones científicas. Páginas: 446-456.
- Bayram, Bulent, Acar, U., Seker, D., & Ari, A. (2008). A novel algorithm for coastline fitting through a case study over the Bosphorus. *Journal of Coastal Research*. Páginas: 983-991.
- Bayram, Bülent, Janpaule, I., Oğurlu, M., Bozkurt, S., Reis, H. Ç., & Şeker, D. Z. (2015). Shoreline extraction and change detection using 1: 5000 scale orthophoto maps: A case study of Latvia-Riga. *International Journal of Environment and Geoinformatics*. Páginas: 1-6.
- Bayram, Bulent, Seker, D. Z., Acar, U., Yuksel, Y., Guner, H. A. A., & Cetin, I. (2013). An integrated approach to temporal monitoring of the shoreline and basin of Terkos Lake. *Journal of Coastal Research*. Páginas: 1427-1435.
- Blott, S. J., & Pye, K. (2001). GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*. Páginas: 1237-1248.
- Brown, A. C., & McLachlan, A. (2002). Sandy shore ecosystems and the threats facing them: some predictions for the year 2025. *Environmental Conservation*. Páginas: 62-77.
- Brown, A. C., & McLachlan, A. (2010). The ecology of sandy shores. Páginas: 303-316.

- Cabezas-Rabadán, C., Almonacid-Caballer, J., Pardo-Pascual, J. E., & Soriano-González, J. (2017). Variabilidad De La Línea De Costa a Partir De Imágenes De Satélite Y Su Relación Con La Textura Del Sedimento. Páginas: 153-161.
- Carrillo-Briceño, J. D., González-Barba, G., Landaeta, M. F., & Nielsen, S. N. (2013). Condrictios fósiles del Plioceno superior de la Formación Horcón, Región de Valparaíso, Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*. Páginas: 191-206.
- Carter, R. W. G. (2013). Coastal environments: an introduction to the physical, ecological, and cultural systems of coastlines. Páginas:1-77.
- Castro, C., & Andrade, B. (1990). Peritaje geográfico del campo de dunas de Punta Concón. Valparaiso: Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Castro, C., & Brignardello, L. (1997). Geomorfología aplicada a la ordenación territorial de la franja costera entre Concón y Quintay. *Revista de Geografía Norte Grande*, 24.
- Cuevas Olguín, R. A. (2017). Análisis de los depósitos sedimentarios terciarios-cuaternarios en el área de quintero-placilla (~33°s) y sus implicancias paleogeográficas memoria.
- Defeo, O., McLachlan, A., Schoeman, D. S., Schlacher, T. A., Dugan, J., Jones, A., Scapini, F. (2009). Threats to sandy beach ecosystems: a review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Páginas: 1-12.
- Dickson, M. E., Ogawa, H., Kench, P. S., & Hutchinson, A. (2013). Sea-cliff retreat and shore platform widening: steady-state equilibrium? *Earth Surface Processes and Landforms*. Páginas: 1046-1048.
- Direcion General de Aguas (2004). Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, Cuenca del Río de Aconcagua. Páginas: 4-12.
- Esmail, M., Mahmod, W. E., & Fath, H. (2019). Assessment and prediction of shoreline change using multi-temporal satellite images and statistics: Case study of Damietta coast, Egypt. *Applied Ocean Research*. Páginas: 274-282.
- Feagin, R. A., Sherman, D. J., & Grant, W. E. (2005). Coastal erosion, global sea-level rise, and the loss of sand dune plant habitats. *Frontiers in Ecology and the Environment*. Páginas: 359-364.
- Fierro, J. Hidrodinámica mareal en el estuario del río Aconcagua. (2004). Tesis para optar al título de Magíster en Oceanografía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y Universidad de Valparaíso.
- Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957). Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*. Páginas: 3-26.
- Gana, P.; Wall, R.; Gutiérrez, A. (1996). Mapa geológico del área de Valparaíso-Curacaví, regiones de Valparaíso y Metropolitana. Mapas Geológicos, N° 1, Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile. (1:100.000).
- Giménez, D. (2012). Caracterización de la estructura geomorfológica y dinámica costera de las ensenadas de la Ligua, Horcón y Quintay. Región de Valparaíso. Memoria para optar al grado de Geógrafo.

- Gómez Rojas, S. (2017). Informe Pladeco Concón 2018-2022. Páginas: 22-80.
- Guariglia, A., Buonamassa, A., Losurdo, A., Saladino, R., Trivigno, M. L., Zaccagnino, A., & Colangelo, A. (2006). A multisource approach for coastline mapping and identification of shoreline changes. *Annals of Geophysics*.
- Harley, C. D. G., Randall Hughes, A., Hultgren, K. M., Miner, B. G., Sorte, C. J. B., Thornber, C. S., Williams, S. L. (2006). The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters*. Páginas: 228–241.
- Himmelstoss, E., Henderson, R., Kratzmann, M., Farris, A. (2018). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.0 User Guide. U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey.
- Humerez, A., Balboa, A. (2012). Estudio de riesgos, plan regulador metropolitano de Valparaíso. SEREMI MINVU de Valparaíso. Páginas: 21-47
- Iturriaga, L. (2013). Informe tecnico sobre el humedal de Mantagua. Region de Valparaiso. Proyecto Expansion Andina 244. Páginas: 7-9.
- Jiang, D., Hao, M., & Fu, J. (2016). Monitoring the Coastal Environment Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Applied Studies of Coastal and Marine Environments*.
- Martínez, C. (2001) El efecto de ensenada en los procesos litorales de las ensenadas de Valparaíso, Algarrobo y Cartagena, Chile Central. Santiago: Tesis para optar al título de Magíster en Geografía, Escuela de Postgrado, Universidad de Chile.
- Martinez, C., & Cortez, C. (2007). Características hidrográficas y sedimentológicas en el estuario del río Aconcagua, Chile Central. *Revista de Geografía Norte Grande*. Páginas: 63-74.
- Martínez, C. (2007). Shoreline changes in Concón and Algarrobo bays, central Chile, using an adjustment model. *Latin American Journal of Aquatic Research*. Páginas: 99-112.
- Martínez, C., & Salinas, S. (2009). Morfodinámica y evolución reciente de playa Tunquén, Chile central. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(1). Páginas: 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, Páginas: 80-96.
- Martínez, C., Quezada, M., & Quezada, J. (2013). Métodos para el análisis de cambios históricos de la línea litoral en playas de ensenada. Nuevos ejemplos en Chile. II Manual de Métodos en Teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el litoral”. Pro-grama Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Páginas: 259-300.
- Martínez, C., Contreras-López, M., Winckler, P., Hidalgo, H., Godoy, E., & Agredano, R. (2018). Coastal erosion in central Chile: A new hazard? *Ocean & Coastal Management*, 156, Páginas:141-155.
- ONEMI. 2008. Informe estadístico, sistemas frontales año 2008. Páginas: 5-18.

- Palomar-Vázquez, J., Almonacid-Caballer, J., Pardo-Pascual, J. E., & Sanchez-García, E. (2018). SHOREX: a new tool for automatic and massive extraction of shorelines from Landsat and Sentinel 2 imagery. 7th International Conference on the Application of Physical Modelling in Coastal and Port Engineering and Science (Coastlab). Santander.
- Pardo-Pascual, J. E., Almonacid-Caballer, J., Ruiz, L. A., & Palomar-Vázquez, J. (2012). Automatic extraction of shorelines from Landsat TM and ETM+ multi-temporal images with subpixel precision. *Remote Sensing of Environment*, 123. Páginas: 1-11.
- Paskoff, R., Cuitino, L., Manríquez, M., & Petiot, R. (2002). Nuevos antecedentes sobre la geomorfología del campo de dunas colgadas de Concón (Provincia de Valparaíso, V Región, Chile).
- Pérez, L. E., & Aguirre, C. (1988). Microzonificación sísmica de la ciudad de Viña del Mar. Memoria Para Optar Al Título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María.
- Rivano, S., Sepulveda, P., Herve, M., Puig, A. (1985). Geocronología K-Ar de las rocas intrusivas entre los 31°-32° latitud sur, Chile. *Revista Geológica de Chile* No. 24, Páginas: 63-74.
- Rivano, S & Sepulveda, P. (1991). Hoja Illapel, Región de Coquimbo. Carta Geológica de Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile. (1:250.000)
- Rivano, S.; Sepúlveda, P.; Boric, P.; Espiñeira, D. (1993). Hojas Quillota y Portillo. Carta Geológica de Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile. (1:250.000).
- Sánchez González, M. (2019). Implicancias de la expansión inmobiliaria en la estabilidad dunar. V región de Valparaíso, Chile. Area de estudio: campo dunar de Concón.
- Schlacher, T. A., Schoeman, D. S., Dugan, J., Lastra, M., Jones, A., Scapini, F., & McLachlan, A. (2008). Sandy beach ecosystems: key features, sampling issues, management challenges and climate change impacts. *Marine Ecology*, 29. Páginas: 70-90.
- Schmitt, M., Wei, L., & Zhu, X. X. (2015). Automatic coastline detection in non-locally filtered tandem-X data. 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Páginas: 1036–1039. IEEE.
- Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA). Anuario Hidrográfico de la Marina de Chile. Valparaíso: SHOA, 1994, N° 46.
- Soto Bäuerle., Arriagada, G., Castro, C., Carmen Paz; Maerker, M; Rodolfi, G. (2011) Relación entre el cambio de uso del suelo en la cuenca del Aconcagua y su litoral arenoso correlativo. Chile central *Revista de Geografía Norte Grande*, núm. 50. Páginas: 187-202.
- Sutikno, S., Sandhyavitri, A., Haidar, M., & Yamamoto, K. (2017). Shoreline change analysis of peat soil beach in Bengkalis island based on GIS and RS. *International Journal of Engineering and Technology*, 9(3), 233.

- Thomas B., Herbert ; IIG. Geología de la Cordillera de la Costa entre el Valle de La Ligua y la Cuesta de Barriga [monografías]. Santiago: IIG, 1958. 86 p.: il., 1 mapa (Boletín: n.02).
- Trenhaile, A. S. (1999). The width of shore platforms in Britain, Canada, and Japan. *Journal of Coastal Research*. Páginas: 355-364.
- Trenhaile, A. S. (2010). The effect of Holocene changes in relative sea level on the morphology of rocky coasts. *Geomorphology*, 114(1-2). Páginas: 30-41.
- Umar, Z., Akib, W. A. A. W. M., & Ahmad, A. (2013). Monitoring shoreline change using Remote sensing and GIS: A case study of padang coastal area, Indonesia. 2013 IEEE 9th International Colloquium on Signal Processing and Its Applications. Páginas: 280-284. IEEE.
- Vandebroek, Elena & Lindenbergh, Roderik & Van Leijen, Freek & De Schipper, Matthieu & Vries, Sierd & Hanssen, Ramon. (2017). Semi-Automated Monitoring of a Mega-Scale Beach Nourishment Using High-Resolution TerraSAR-X Satellite Data. *Remote Sensing*. 9. 653. 10.3390/rs9070653.
- Vergara C., Hernán ; Hickmann F., Verónica. 1982. Fluctuación anual de la morfología y granulometría de playa Las Salinas, Viña del Mar, V región. En Congreso Geológico Chileno, 3., Concepción, 8-14 Noviembre 1982. Páginas:114-131
- Villagrán, C. (2007). Dinámica costera en el sistema de bahías comprendidas entre Ensenada Los Choros y Bahía Tongoy: IV Región de Coquimbo.
- Waylen, P. & Caviedes, C. Annual and seasonal fluctuations of precipitation and streamflow in the Aconcagua river basin, Chile. *Journal of Hydrology*, 1990, N° 120. Páginas: 79-102.
- Yousef, A., & Iftkharuddin, K. (2014). Shoreline extraction from the fusion of LiDAR DEM data and aerial images using mutual information and genetic algorithms. 2014 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). Páginas: 1007-1014. IEEE.
- Yu, K., Hu, C., Muller-Karger, F. E., Lu, D., & Soto, I. (2011). Shoreline changes in west-central Florida between 1987 and 2008 from Landsat observations. *International Journal of Remote Sensing*, 32(23). Páginas: 8299-8313.
- Zheng, Z., Ahn, S., Chen, D., & Laval, J. (2011). Applications of wavelet transform for analysis of freeway traffic: bottlenecks, transient traffic, and traffic oscillations. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(2). Páginas: 372-384.