



Facultad de Ingeniería
Carrera de Geología

**CAMBIOS ESTACIONALES EN LA MORFOLOGÍA, GRANULOMETRÍA Y
COMPOSICIÓN SEDIMENTARIA DE LA BAHÍA “EL CANELO” REGIÓN DE
VALPARAÍSO, 33°22’09”S 71°41’14”O, Y SU IMPLICANCIA EN LA GESTIÓN
COSTERA**

Memoria para optar al título profesional de geólogo

Autor:

Javiera Camila Cornejo Parra

Profesor/a Guía:

Francisco Hervé Allamand

Profesor/a integrante de la comisión:

Pierre Yves Descote

Leonardo González Montilla

Director de carrera:

Cristóbal Ramírez de Arellano

Santiago, Chile

2025

Resumen

Las costas chilenas constituyen sistemas altamente dinámicos y vulnerables frente a procesos oceánicos, climáticos y antrópicos, siendo la Bahía El Canelo, en Algarrobo, un sector de alto valor patrimonial y ambiental expuesto a erosión y pérdida de arena. En este estudio se analizaron las variaciones granulométricas, geomorfológicas y composicionales de la bahía en invierno y verano de 2023, bajo la hipótesis de que la interacción entre procesos tectónicos, el ascenso del nivel del mar asociado al cambio climático y la intervención humana explica las modificaciones observadas en la línea de costa y en el transporte de sedimentos.

La metodología consistió en el levantamiento de perfiles de playa, la recolección de muestras sedimentarias y su análisis granulométrico, petrográfico y mineralógico mediante tamizado, lupa estereoscópica, complementado con imágenes satelitales. Los resultados muestran un retroceso de la línea de costa y pérdida volumétrica de arena en invierno, contrastando con acreción parcial en verano; predominan arenas finas a medias bien seleccionadas con dominio de cuarzo y feldespato, junto a aportes menores de carbonatos, líticos y magnetita, lo que evidencia una procedencia sedimentaria mixta. Estos hallazgos confirman la vulnerabilidad de la Bahía El Canelo frente a forzantes naturales y antrópicos, y subrayan la necesidad de implementar medidas de gestión y adaptación costera.

...Dedicado a mi mamá, Margarita y mis hermanos, Joaquin y Cristián.

Agradecimientos

Las palabras siempre quedarán cortas para expresar la inmensa gratitud que guardo hacia quienes han estado, y aún están, presentes en mi vida a lo largo de mi etapa universitaria.

Debo comenzar agradeciendo, por supuesto, al equipo docente detrás de todo este trabajo, a mi profesor guía; Dr. Francisco Hervé y miembros de la comisión; el profesor Pierre Yves-Descote y el profesor Leonardo Gonzalez Montilla quienes me brindaron la gran oportunidad de poder interiorizarme en temas completamente nuevos para mí como la dinámica litoral, además de siempre contar con la paciencia y disposición ante cualquier consulta, sin olvidar, su apoyo en la realización de los terrenos para este trabajo, por eso y mucho más, muchas gracias.

De igual manera, quisiera agradecer a mis queridas amigas de la universidad quienes hicieron de esta estancia un lugar maravilloso y si tuviera el chance de volver a hacer la universidad con mis amigas lo haría sin dudarlo ni un segundo. Gracias por tanto cariño, tanta preocupación y por sobre todo risas hasta en los momentos menos adecuados, gracias por ser esa segunda casita en los días grises o en esos días pesados. Espero que sigamos acompañándonos hasta la eternidad.

Agradecer también a todos esos amigos que se fueron sumando en el camino y aún siguen ahí presentes a pesar de las distancias o los estilos de vidas un poco cambiados. También a esos amigos de años que han sido compañeros a través de las etapas y los años, quienes han sido testigos de todo, muchas gracias. Gracias a todos los que alguna vez cruzamos destinos, aunque sea de formas fugaces y el destino ya no nos quiso juntos.

Por último y obviamente no menos importante, agradecer a mis papás por haberme dado la oportunidad de lograr mi carrera universitaria, por la paciencia infinita de mi mamá quien está profundamente orgullosa de quien soy y siempre ha estado ahí para sostenerme cuando me caigo incluso cuando ella quizás tampoco se podía el mundo. Agradecer a mis hermanos por sus grandes corazones y eterno apañe para todo, quienes quizás sin saberlo me sacaron unas risas cuando más los necesitaba, por favor que nunca nadie me falte.

Este trabajo es en memoria de mi querido compañero de noches, día, frío, calor, invierno o verano, mi amado Oscarito. Espero que nos volvamos a encontrar en otra vida gatuna.

Gracias totales a todos los que están y a los que estuvieron, los quiero mucho.

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Se declara por este medio que el trabajo de titulación presentado para su defensa y evaluación original; las fuentes, herramientas y aplicaciones utilizadas que contribuyeron a la investigación realizada están debidamente citadas en el texto y acreditadas en el apartado de las referencias, respetando los aspectos que conciernen a la propiedad intelectual.

Por lo tanto, ante cualquier falta de integridad académica encontrada y que atente contra la Ley N°17.336 de Propiedad Intelectual, se asume la responsabilidad que representa para tal efecto, dejando constancia de ello, con fecha 30 de septiembre de 2025, en la ciudad de Santiago.

Índice de contenidos

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Valor patrimonial del área de estudio	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivos Generales	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. Hipótesis	3
1.4. Ubicación y vías de acceso	4
 2. METODOLOGÍA	 6
2.1. Pre – Terreno	6
2.2. Terreno	6
2.3. Post – Terreno	7
 3. MARCO GEOLÓGICO	 11
3.1. Regional	12
 4. MARCO TEÓRICO	 16
4.1. Morfología costera	17
4.1.1. Línea litoral	18
4.1.2. Zona costera	18
4.2. Agentes	19
4.2.1. Atmosféricos	19
4.2.1.1. Temperatura	19
4.2.1.2. Presión atmosférica	20
4.2.1.3. Nubosidad	20
4.2.1.4. Vientos	21
4.2.2. Marítimos	22
4.2.2.1. Nivel del mar	22
4.2.2.2. Oleaje	22
4.2.2.3. Tsunamis	23

4.2.2.4. Marea astronómica	23
4.2.2.5. Marea meteorológica	24
4.2.2.6. Corrientes	25
4.2.2.6.1. Tipos de corrientes	26
4.2.3. Geológicos y morfodinámicos	27
4.2.3.1. Sedimentos	28
4.2.3.2. Morfodinámica de las playas	29
4.2.3.2.1. Erosión y acreción	30
4.2.3.2.2. Perfiles de verano e invierno	30
4.2.3.3. Sismos y tectónica costera	31
4.2.3.3.1. Subsistencia y alzamiento	31
4.2.4. Antrópicos	32
4.2.4.1. Cambio climático	33
4.2.4.2. Infraestructuras	33
5. RESULTADOS	35
5.1. Perfiles de verano e invierno	36
5.2. Granulometría	44
5.2.1. Verano	44
5.2.2. Invierno	54
5.3. Descripción de muestras	65
5.3.1. Verano	65
5.3.2. Invierno	69
5.4. Método geométrico	71
5.4.1. Playa El Canelo	72
5.4.2. Playa de la Cofradía Náutica	74
6. DISCUSIÓN	77
7. CONCLUSIONES	80

8. REFERENCIAS	82
9. ANEXOS	91

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de Chile ampliado a la región de Valparaíso, indicando la zona de estudio en la comuna de Algarrobo. Fuente: Elaboración propia.....	4
Figura 2. Secciones componentes de un perfil de playa (Imagen adaptada de Shore Protection Manual, 1984, citado en Castillo, 2019).....	7
Figura 3. Mapa geológico regional del área de estudio. (Sernageomin 2003). (Leyton, F., et al. 2010).	11
Figura. 4. Esquema de la zona litoral. Extraído de Ecosistema Digital Educativo de Andalucía (S/f)	19
Figura 5. Clasificación de tamaño de grano de los sedimentos de Udden-Wentworth (Wentworth, 1922).	28
Figura 6. Mapa de la playa El Canelo donde se ilustran los 6 perfiles tomados en el área junto a la ubicación de ellos y de las 17 muestras.....	37
Figura 7. Mapa de la playa de la Cofradía Náutica del Pacífico donde se ilustran los 2 perfiles tomados en el área junto a la ubicación de ellos y de las 6 muestras.	37
Figura 8. Perfiles de playa El Canelo N°1, arriba invierno y abajo verano.	40
Figura 9. Perfiles de playa El Canelo N°2, arriba verano y abajo invierno.....	41
Figura 10. Perfiles de playa El Canelo N°3, arriba invierno y abajo verano.	42
Figura 11. Perfiles de playa El Canelo N°1, arriba verano y abajo invierno.....	43

Índice de tablas

Tabla 1: Tabla de las 13 muestras colectadas en verano con su respectivo código y perfil al que pertenece.....	38
Tabla 2: Resumen de las 11 muestras obtenidas en la temporada de invierno, indicando su identificación y el perfil.....	38

Tabla 3. Tabla muestra la distribución granulométrica porcentual de las tres submuestras del perfil PPCa 1.....	46
Tabla 4. Tabla muestra la distribución granulométrica porcentual de las tres submuestras del perfil PPCa 2.....	48
Tabla 5. Tabla muestra la distribución granulométrica porcentual de las tres submuestras del perfil PPCa 3.	50
Tabla 6. Tabla muestra la distribución granulométrica porcentual de las 4 submuestras del perfil PPCo 1.....	53
Tabla 7. Tabla muestra la distribución granulométrica porcentual de las 2 submuestras del perfil PPCa 1.....	56
Tabla 8. Tabla muestra la distribución granulométrica porcentual de las 3 submuestras del perfil PPCa 2.....	59
Tabla 9. Tabla muestra la distribución granulométrica porcentual de las 3 submuestras del perfil PPCa 3.....	61
Tabla 10. Muestra la distribución granulométrica porcentual de las 3 submuestras del perfil PPCo 1.....	64

Índice de gráficos

Gráfico 1. Curva de peso acumulada de perfil de verano PPCa 1.....	45
Gráfico 2. Curva granulométrica de perfil de verano PPCa 1.....	45
Gráfico 3. Gráfico de áreas apiladas del porcentaje de distintos tipos de clasificaciones de arenas según granulometría del perfil de verano PPCa 1.....	46
Gráfico 4. Curva de peso acumulada de perfil de verano PPCa 2.....	47
Gráfico 5. Curva granulométrica de perfil de verano PPCa 2.....	48
Gráfico 6. Gráfico de áreas apiladas del porcentaje de distintos tipos de clasificaciones de arenas según granulometría del perfil de verano PPCa 2.....	49
Gráfico 7. Curva de peso acumulada de perfil de verano PPCa 3.....	50
Gráfico 8. Curva granulométrica de perfil de verano PPCa 3.....	50

Gráfico 9. Gráfico de áreas apiladas del porcentaje de distintos tipos de clasificaciones de arenas según granulometría del perfil de verano PPCa 3.	51
Gráfico 10. Curva de peso acumulada de perfil de verano PPCo 1.....	52
Gráfico 11. Curva granulométrica de perfil de verano PPCo 1.....	53
Gráfico 12. Gráfico de áreas apiladas del porcentaje de distintos tipos de clasificaciones de arenas según granulometría del perfil de verano PPCo 1.	54
Gráfico 13. Curva de peso acumulada de perfil de invierno PPCa 1.	55
Gráfico 14. Curva granulométrica de perfil de invierno PPCa 1.	55
Gráfico 15. Gráfico de áreas apiladas del porcentaje de distintos tipos de clasificaciones de arenas según granulometría del perfil de invierno PPCa 1.....	56
Gráfico 16. Curva de peso acumulada de perfil de invierno PPCa 2.	57
Gráfico 17. Curva granulométrica de perfil de invierno PPCa 2.	58
Gráfico 18. Gráfico de áreas apiladas del porcentaje de distintos tipos de clasificaciones de arenas según granulometría del perfil de invierno PPCa 2.	59
Gráfico 19. Curva de peso acumulada de perfil de invierno PPCa 3.	60
Gráfico 20. Curva granulométrica de perfil de invierno PPCa 3.	61
Gráfico 21. Gráfico de áreas apiladas del porcentaje de distintos tipos de clasificaciones de arenas según granulometría del perfil de invierno PPCa 3.	62
Gráfico 22. Curva de peso acumulada de perfil de invierno PPCo 1.	62
Gráfico 23. Curva granulométrica de perfil de invierno PPCo 1.	63
Gráfico 24. Gráfico de áreas apiladas del porcentaje de distintos tipos de clasificaciones de arenas según granulometría del perfil de invierno PPCo 1.	64

1. INTRODUCCIÓN.

Chile es un país con amplias costas a lo largo de todo el territorio, estas costas son afectadas fuertemente tanto por factores climáticos como estacionales, afectando de sobremanera a la geografía y geomorfología del lugar. Además de la población que habita las costas chilenas, afectando no únicamente a los lugareños de forma directa, sino a sus fuentes de ingresos los cuales mayoritariamente están relacionados a actividades realizadas en el lugar, como lo es la pesca o puertos (Segel L., 2021).

Esta memoria tiene como área de estudio las playas ubicadas en la bahía “El Canelo”, comuna de Algarrobo, región de Valparaíso, Chile. Distintos estudios han evidenciado variaciones anormales en las líneas de costa, correspondiente al área transicional entre el ambiente terrestre y marino, no únicamente en Chile sino a nivel global. Por lo menos el 70% de las playas arenosas del planeta están sufriendo el proceso de variación de la línea de costa hacia la erosión (Bird, 1985).

En Chile, las anomalías están dadas por factores relacionados al cambio climático y la incidencia que tiene en las corrientes marinas (Nicholls, 1995, Briceño de Urbaneja et al. 2021). En los últimos 40 años las marejadas aumentaron en frecuencia e intensidad en todo el territorio nacional, período lo suficientemente largo como para vincular este fenómeno al Cambio Climático (Ministerio del Medio Ambiente, 2019b). Episodios como los ocurridos el 3 de julio de 2013 y 8 de agosto de 2015 han dejado en evidencia la exposición de los emplazamientos costeros, la cual aumenta a medida que se construye sin atender a la naturaleza de las marejadas (Winckler et al., 2015; Campos Caba, 2016).

Diversos estudios de impacto del cambio climático en las costas chilenas evidencian los fuertes cambios morfológicos que se han observado en la bahía. Estos estudios son complementados por estudios de amenaza, que consiste en la observación y monitoreo del nivel

medio del mar y oleaje, además de una proyección para el período 2026-2045 de estas variables y de la cota de inundación (Ministerio del Medio Ambiente. (2019a).

1.1. Valor patrimonial del área de estudio

El área de estudio se encuentra en la comuna de Algarrobo, región de Valparaíso, en Chile, entre las latitudes 33°22' y 71°41'. El área comprende desde el sector sur de la playa “El Canelo”, hasta un depósito de arena ubicado en el sector sur de la Cofradía Náutica del Pacífico. El sector de la playa “El Canelo” pertenece a la Reserva Nacional Parque El Canelo, siendo este, un lugar declarado como zona típica, dado que, alberga diversas especies de flora y fauna nativa. Gracias a lo anteriormente dicho, fue declarado en el año 2001 como área protegida por el Consejo de Monumentos Nacionales (CMN) de la ley vigente (decreto N°104 (2001), CMN).

Una zona típica se trata de agrupaciones de bienes inmuebles urbanos o rurales, que una unidad de asentamiento representativo de la evolución de la comunidad humana, y que destacan por su unidad estilística, su materialidad o técnicas constructivas. En general corresponden al entorno de un Monumento Histórico. Todos estos valores conforman un carácter ambiental propio en ciertas poblaciones o lugares: paisajes, formas de vida, etc., siendo de interés público su mantención en el escenario urbano o en el paisaje a fin de preservar esas características ambientales (Consejo Monumentos Nacionales, S.F).

Algarrobo se caracteriza por su amplio patrimonio paleontológico ubicado principalmente en la Playa Yachting, declarado geosito por la Sociedad Geológica de Chile, propuesto por el doctor Francisco Hervé. Las unidades geológicas de Algarrobo son la única fuente de información paleontológica en todo el margen del Pacífico, en cuanto a la fauna marina del Maastrichtiano inferior, siendo la localidad más septentrional dentro de toda la Provincia Biogeográfica Weddelliana (que incluye al cono sur de Sudamérica, Nueva Zelanda, Antártica y parte de Australia). No existe otra unidad geológica que proporcione información paleontológica en la misma latitud y durante el mismo lapso (Otero, et. Al. 2021).

En la playa El Canelo se encuentran dos Santuarios de la Naturaleza protegidos. Uno de ellos es el Santuario Peñablanca y el otro es el Islote Pájaro Niño, ambos, hitos geográficos, paisajísticos y naturales de relevancia local y nacional. (Salinas, 2023).

1.2. Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Esta investigación tiene por objetivo el estudio de los cambios en la geomorfología y línea de playa que se producen en la Bahía El Canelo en un periodo aproximado de 6 meses, en los periodos de invierno y verano. Lo cual, podría ayudar a reforzar la hipótesis, principalmente la incidencia directa o indirecta de los cambios climáticos a los que se ven expuestas las costas chilenas.

1.1.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos para llevar a cabo la presente investigación son:

- Realizar perfiles de playa en distintas épocas del año considerando desde el nivel mínimo y máximo del nivel mar, posicionamiento de la berma hasta el fin del backshore.
- Colectar muestras en cada zona del perfil de playa, es decir, backshore y foreshore, además de bermas posiblemente presentes.
- Tamizar, observar y datar información granulométrica y composicional de muestras colectadas.
- Analizar, comparar e interpretar resultados.
- Indicar posibles soluciones de tipo adaptativas ante la problemática existente en las playas.

1.3 Hipótesis

La dinámica morfológica de las playas de la bahía El Canelo está condicionada por una interacción multicausal en la que confluyen procesos tectónicos, climáticos y antrópicos. En primer lugar, los ciclos sísmicos asociados a la subducción de placas generan subsidencia y alzamiento cosísmico, produciendo cambios verticales en el relieve costero que modifican de manera abrupta la línea de playa, tal como ocurrió tras el terremoto de 1960 en el centro-sur de Chile. En segundo lugar, el ascenso del nivel medio del mar y la mayor frecuencia e intensidad de marejadas, vinculados al cambio climático, favorecen la erosión estacional y el retroceso progresivo de la línea

de costa. A ello se suma la disminución del aporte sedimentario fluvial, intensificada por periodos de sequía prolongada y por la regulación hídrica, lo que reduce la reposición natural de arenas en las playas. Finalmente, las intervenciones humanas, como la urbanización costera y la extracción de arena para proyectos inmobiliarios, alteran los procesos de transporte sedimentario y la estabilidad de los perfiles.

Es por ello que, se plantea que respecto a los resultados obtenidos a partir del análisis comparativo de perfiles de playa en invierno y verano, los estudios granulométricos y composicionales, junto con el monitoreo satelital de la línea de costa, evidenciarán una tendencia neta hacia la erosión y pérdida de sedimentos en la bahía El Canelo y la Cofradía Náutica.

1.4 Ubicación y vías de acceso.

El área de estudio se encuentra en la comuna de Algarrobo, región de Valparaíso, en Chile, entre las latitudes $33^{\circ}22'$ y $71^{\circ}41'$. El área comprende desde el sector sur de la playa “El Canelo”, hasta un depósito de arena ubicado en el sector sur de la Cofradía Náutica del Pacífico como se observa en la Figura 1.

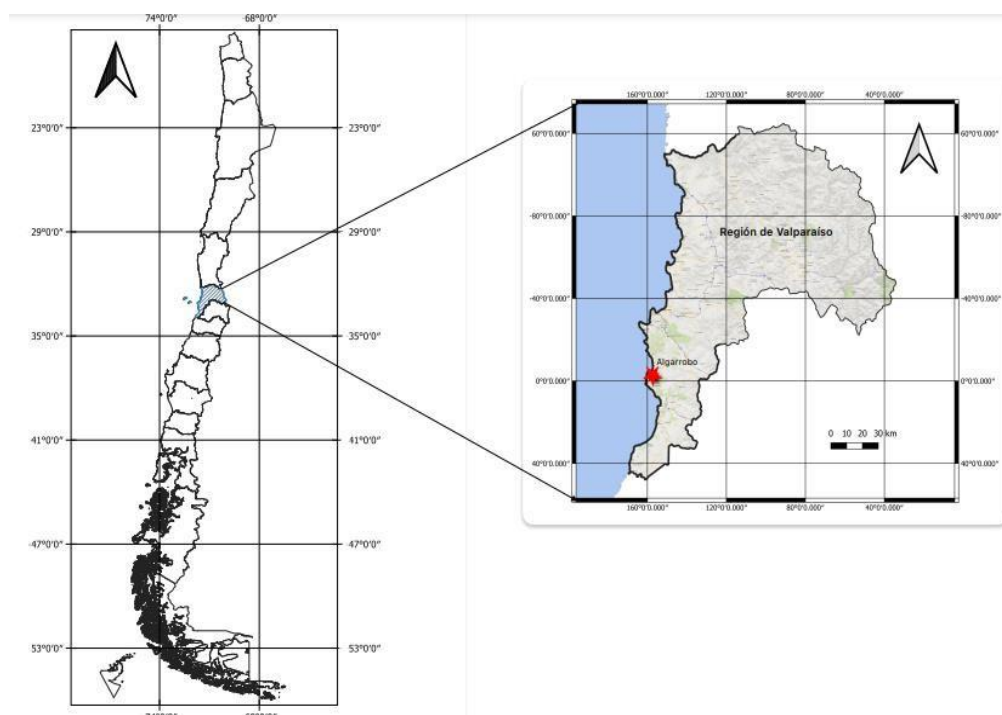


Figura 1. Mapa de Chile ampliado a la región de Valparaíso, indicando la zona de estudio en la comuna de Algarrobo.

Fuente: Elaboración propia.

La playa El Canelo cuenta con un acceso únicamente peatonal, aquello es a través del bosque homónimo. Tras aproximadamente 10 minutos caminando por las pasarelas peatonales habilitadas por la municipalidad se encuentra la playa de aproximadamente 200 metros de longitud.

El acceso correspondiente a la Cofradía Náutica del Pacífico es privado, por lo cual debe solicitar permiso en el propio lugar. Luego de caminar aproximadamente 5 minutos desde la entrada de la Cofradía se encuentra una playa de un espesor y longitud mucho menor a la de El Canelo.

2.1 Pre-Terreno

En una etapa inicial se delimita la playa objeto de estudio dentro del área de investigación, donde se procede a la ejecución de perfiles topográficos de playa y a la obtención de muestras sedimentológicas. El sitio se ubica en el tramo comprendido en la comuna de Algarrobo en las coordenadas 33°22'3.21"S de latitud y 71°41'18.45"O de longitud para la playa El Canelo, 33°21'45.64"S 71°41'10.15"O para La Cofradía Náutica. El acceso al área se efectúa desde Santiago Centro a través de la Ruta 68; posteriormente, se continúa por la ruta F-90 en Casablanca tomando la salida en dirección a Algarrobo, que conecta directamente con la localidad y se conduce hasta el pasaje Atardecer, en donde está el ingreso peatonal de la playa y se transita cerca de 100 metros por la pasarela hasta la playa de interés. En la misma bahía de la playa El Canelo, 500 metros al NE se encuentra la segunda playa de interés, la que corresponde al lado oeste de la Cofradía Náutica del Pacífico. Su acceso es privado y se debe solicitar autorización desde su entrada principal cercana a la playa de Algarrobo.

Se planifican dos campañas de terreno con el propósito de analizar la variabilidad estacional de los perfiles de playa entre invierno y verano. El primer levantamiento se realiza el 02-05-2023, mientras que el segundo se efectúa el 04-10-2023, registrando un intervalo temporal de 5 meses y 2 días entre ambas fechas de muestreo. Estos levantamientos permiten evaluar las modificaciones morfodinámicas del perfil costero y los patrones de transporte sedimentario en función de las condiciones oceanográficas y meteorológicas características de cada estación.

2.2 Terreno

A principios del mes de mayo del año 2023 se realiza en 1 día trabajo en terreno la colección de 15 muestras a la par del registro de datos de medición, como: inclinación, rumbo, manto, longitud y división de distintos sectores de la zona intertidal o zona de lavado (Fig. 2) de la playa. Las mediciones se realizan con el fin de crear 4 perfiles de playa representativos en distintos sectores de la playa El Canelo y la Cofradía Náutica.

En el mes de septiembre del mismo año se colectan 14 muestras en exactamente el mismo sitio desde donde se colectaron las anteriores. Se efectúan mediciones para realizar 4 perfiles adicionales. La colección de muestras y datos es utilizada para observar los cambios ocurridos en el transcurso del tiempo, de esta forma se logra observar el dinamismo que ha incidido en la playa en un lapsus de seis meses aproximadamente en diferentes condiciones climáticas a las que se ve expuesta la bahía.

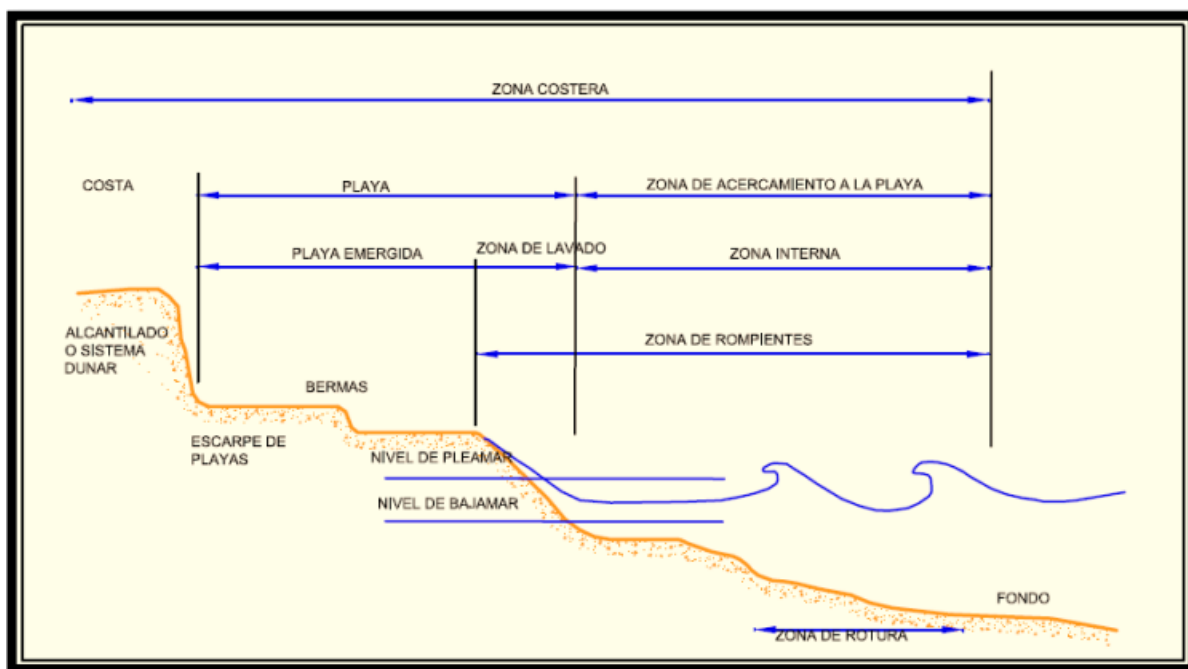


Figura 2. Secciones componentes de un perfil de playa (Imagen adaptada de Shore Protection Manual, 1984, citado en Castillo, 2019).

2.3 Post-Terreno

Las muestras colectadas se envían a los laboratorios de análisis granulométricos de la Universidad Andrés Bello para realizar un proceso de secado en hornos y tamizado con diferentes aperturas de tamaño de rejillas. Para aquello, se selecciona una muestra representativa de 800 gr aprox de cada bolsa de muestra de arena húmeda. Las muestras se colocan en vasos precipitados con el fin de obtener su peso en gramos, posteriormente se colocan en el horno de secado a 110°C durante 24 horas. Transcurrido el tiempo de secado, se pesan nuevamente las muestras secas, se guarda cada una en bolsas de plástico con su correspondiente etiqueta del código de la muestra

para iniciar el proceso de tamizaje. Se utilizaron las mallas #30 (0.595 mm), #40 (0.420 mm), #45 (0.354 mm), #50 (0.297 mm), #60 (0.250 mm), #80 (0.177 mm), #100 (0.149 mm) y #200 (0.074 mm) durante 10 minutos para tamizar cada muestra, sin embargo, para las muestras de la Cofradía Náutica se añaden las mallas #10 (2.00 mm), #20 (0.841 mm) y #25 (0.707 mm), dado que, estas muestras presentan un tamaño de grano mayor a las arenas de El Canelo. Terminado el tiempo de tamizado, se pesan cada una de las mallas y se guardan por separado. Todo el proceso, con el fin de coleccionar datos exactos para realizar tablas y gráficos (curva granulométrica y acumulativa) del comportamiento granulométrico.

Ante los resultados, se puede analizar y comparar de mejor manera evidencias relevantes para la investigación, como lo es, el cambio granulométrico que se produce entre perfiles y de la misma manera, calcular la cantidad de arena que es removida según el periodo del año. También se puede cuantificar volúmenes de sedimento “ganados” o “perdidos” en la zona costera con los datos obtenidos en terreno. Un método ampliamente usado para este fin es el método geométrico, que se basa en comparar geométricamente dos perfiles medidos en distintas fechas. Este método convierte las diferencias de elevación entre perfiles en medidas de área y luego en volumen, lo que permite estimar balances sedimentarios (erosión o acreción) por unidad de ancho de playa (Sánchez-Arcilla & Jiménez, 1994). Además de contar con imágenes satelitales para apoyar y precisar aún más los cambios significativos que pudiesen ocurrir.

Para el cálculo de la cantidad de material movlizado, asumiendo que las diferencias en el área bajo la curva del perfil representan ganancias o pérdidas de sedimento, se utiliza el método geométrico (o de perfil a perfil), donde se utilizan las medidas de los perfiles de playa y cada perfil se discretiza en tramos rectilíneos definidos por las mediciones de campo (distancia horizontal y cota vertical). Se utiliza la fórmula general

$$V = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{A_i + A_{i+1}}{2} \right) \cdot \Delta x$$

Donde

A_i, A_{i+1} corresponde a áreas bajo los perfiles consecutivos (diferencia de áreas entre estaciones).

Δx = distancia entre perfiles.

V = volumen de arena movilizada en m^3 .

Para obtener A_i se utiliza la siguiente integral, que corresponde al cambio de área en un perfil transversal de playa entre dos fechas.

$$\Delta A_i = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} [z_{\text{verano}}(x) - z_{\text{invierno}}(x)] dx$$

La expresión general del volumen como suma de prismas trapezoidales se reduce, en el caso de un perfil individual, a la integral del cambio de elevación entre estaciones a lo largo de la sección transversal. El cálculo volumétrico se fundamenta en la integración de las áreas de cambio entre perfiles sucesivos a lo largo de la playa. En la práctica, este procedimiento se resuelve mediante la regla de los prismas trapezoidales, que constituye la versión discreta del método geométrico y ha sido ampliamente aplicada en estudios de dinámica litoral (Sánchez-Arcilla & Jiménez, 1994; Bird, 1985).

Más adelante, se observan en una lupa estereoscópica muestras representativas de las fracciones de las muestras iniciales, de esta forma, definir y analizar detalladamente los minerales presentes en la arena colectada. Si bien el análisis completo de cada una de ellas se llevó a cabo en el laboratorio, los resultados obtenidos evidenciaron un alto grado de similitud composicional y granulométrica entre la mayoría de las muestras intermedias de los perfiles.

Considerando lo anterior, y con el fin de optimizar la claridad en la presentación de los resultados, se decidió sintetizar la información destacando únicamente aquellas muestras obtenidas en los extremos de cada perfil (zona más próxima al supralitoral y al sublitoral). La selección de estos puntos se sustenta en que corresponden a las posiciones con mayor contraste en cuanto a la

dinámica sedimentaria: mientras el supralitoral refleja procesos de acumulación asociados a transporte eólico o eventos de alta energía, el sublitoral se encuentra directamente condicionado por la acción del oleaje y las corrientes (Tarbuck & Lutgens, 2005), lo que favorece una mayor heterogeneidad en la granulometría y en la presencia de minerales pesados.

De este modo, la decisión metodológica permite concentrarse en los cambios granulométricos y composicionales más relevantes, evitando redundancias derivadas de la similitud interna de los perfiles. Esta estrategia no implica una omisión de datos, sino una síntesis analítica que mantiene la representatividad del conjunto y facilita la interpretación comparativa entre estaciones y entre playas.

3 MARCO GEOLÓGICO.

El área de estudio correspondiente al litoral central comprendida por toda la línea de costa perteneciente a la región de Valparaíso, a lo largo de las décadas ha estado en constantes cambios que modelan el paisaje. Los constantes cambios son debidos a los múltiples eventos climáticos a la que se ve expuesta al estar en el borde costero. Siendo observados principalmente depósitos pertenecientes al periodo Cuaternario. Sin embargo, en la zona no se encuentran únicamente depósitos de origen sedimentario, si no, también se encuentran rocas pertenecientes al periodo Paleozoico, además de un grupo de intrusivos de edad Jurásica, en consecuencia, de múltiples eventos geodinámicos y movimiento del arco magmático. Es por ello por lo que, los aportes sedimentarios que se encuentran en bahías y playas del lugar cuentan con una amplia mineralogía. (Fig. 3).

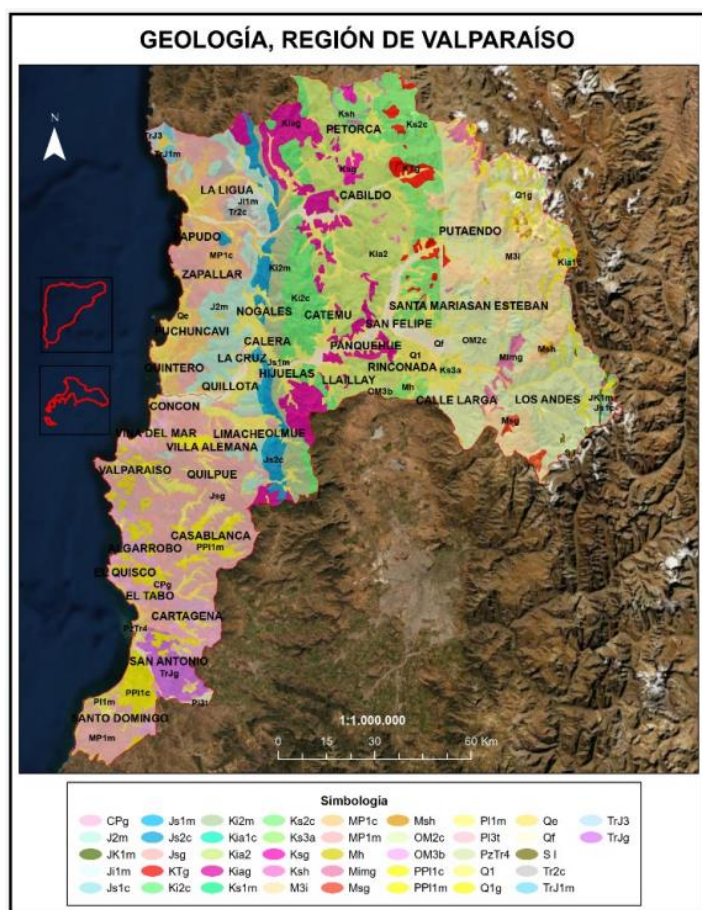


Figura 3. Mapa geológico regional del área de estudio (modificado de Sernageomin 2003). (Centro de información de Recursos Naturales, 2021)

En la carta N°1 del SERNAGEOMIN de Gana. P., et al 1996., la cual compila antecedentes geocronológicos y petrográficos de diversos autores, tanto en, la zona de estudio y alrededores, como en la región y lugares que podrían influir o brindar información de la proveniencia de los sedimentos encontrados en la zona. Algunas de las unidades que respectan al área investigada corresponden a las siguientes:

3.1 Marco geológico regional

Cuaternario

Qe Depósitos litorales y eólicos actuales

Sedimentos no consolidados de playa, compuestos por arenas y gravas de bolones bien redondeados, con estratificación plana horizontal predominante y estratificaciones cruzadas de bajo ángulo; incluye láminas arenosas conformadas por concentración de minerales pesados; a: dunas activas compuestas por arenas amarillas de buena selección con estratificación cruzada y ondulitas superficiales. Morfología de dunas transversales que indican dirección del viento predominante en sentido NNE.

Qa Depósitos aluviales

Sedimentos no consolidados, ubicados en zonas de llanura; comprenden principalmente depósitos fluviales con depósitos gravitacionales interdigitados (flujos de barro, flujos de detritos), compuestos por gravas, arenas y limos. Hospedan placeres auríferos (e.g., minas Aurum Chile, Ultima Esperanza).

Qf Depósitos fluviales

Sedimentos no consolidados de cursos fluviales activos. Predominan facies de relleno de canal con base erosiva, constituidas por gravas clastosoportadas, compuestas por bolones redondeados a bien redondeados de baja esfericidad, en parte imbricados; lentes de arenas con estratificación plana-horizonta l y cruzada y escasos limos finamente laminados.

Rocas estratificadas

Kqm Estratos de Quebrada Municipalidad

Campaniano superior- Maastrichtiano. Secuencia sedimentaria marina transgresiva constituida por conglomerados, areniscas finas a medias con abundantes concreciones y areniscas finas grises (Brüggen, 1915, Tavera, 1980). La extensión areal de esta unidad es muy reducida y actualmente de escasa exposición por desarrollo urbano, está restringida al sector costero de Algarrobo, adyacente al antiguo muelle de este balneario y a la desembocadura de la Quebrada Municipalidad. Sin base aflorante, la unidad no sobrepasa los 40 m de potencia (Brüggen, 1915) y está cubierta, mediante discordancia de erosión, por los Estratos de Algarrobo (Ta). La fauna de ammonites reconocida en el área (F4), corresponde a los géneros Eubaculites, Neophylloceras, Pachydiscus (Tavera, 1980) y Grossouvreites (Ruiz et al. 1960).

Jurásico

Rocas Intrusivas

Jlv: anfibolitas, ortoanfibolitas, gneises anfibólicos, dioritas y monzodioritas foliadas y gabros. Rocas de color gris oscuro a medio, grano medio a fino, con frecuente foliación magmática y en parte dinámica (gnéisica y milonítica). Texturas que varían desde granoblastica poligonal hasta inequigranular seriada formada principalmente por hornblenda y plagioclasa suborientada paralelamente. Las hornblendas, en cristales prismáticos contienen apatito poikilitico, encontrándose también la anfíbola en agregados de cristalización tardía, las plagioclasas se presentan euhedrales, zonadas, con bordes mirmekíticos en contacto con microclina u ortoclasa en las variedades monzodioríticas. Los gabros y dioritas se caracterizan por la presencia de clinopiroxeno con coronas de biotita. Abundantes cristales euhedrales de esfero de origen magmático, indican la existencia de un metasomatismo Ti-Ca tardimagmático. Estas rocas constituyen plutones compuestos, de tamaño inferior a 16 km de largo, restringidos a la costa entre Laguna Verde y Punta Gallo. Se encuentran ortogneises y granitoides paleozoicos, originando zonas bandeadas y de enclaves magmáticos (Quintay), Schlieren de similar composición, incluidos en tonalita paleozoica, se encuentran entre Punta Talca e Isla Negra. Contacto gradual con granitoides Us (sector de Laguna Verde), e intruidas por abundantes filones lamprofídicos y cuaríferos. Rocas

calcoalcalinas de bajo K. metaluminosas, tipo Susceptibilidad magnética 1,5 emux 10-4, Edades Ar40-Ar39 en anfíbola 16512,6 Ma (Irwin et al., 1987); K-Ar en anfíbola: 161+5 Ma (este trabajo), 167±3 Ma (Cordani et al: 1976), en biotita: 159+4 Ma (este trabajo); Rb-Sr en biotita 165 Ma (Corvalán y Munizaga, 1972), errorcrona en roca total, biotita, feldespato potásico y apatita de 156,3+1,2 Ma (Godoy y Loske, 1988) U-Pb en circones: 160-163 Ma (Godoy y Loske, 1988). Considerados partes de la Formación Quintay por Corvalán y Dávila (1963-1964, in Corvalán y Munizaga, 1972).

Paleozoico

Rocas Intrusivas

Pzgm: tonalitas y granodioritas y monzogranitos de anfíbola-biotita, sienogranitos y granitos de microclina. Rocas de grano grueso a medio, color gris medio verdoso, con inclusiones dioríticas a diorítica cuarcíferas, dispuestas paralelamente a la foliación magmática de la roca albergante, y que pueden constituir hasta el 50% de ésta (Isla Negra). Textura alotriomórfica granular con variedades gnéicas y porfidicas; contienen feldespatos con entrecrecimiento pertítico, bordes mirmequíticos y gráficos y piroxenos reemplazados por anfíbola y biotita en los términos más básicos. Poseen foliación magmática afectada por foliación tectónica no homogénea evidenciada por zonas miloníticas que contienen una lineación mineral de extensión (Mirasol, Punta Talca). Los tipos monzograníticos, ocasionalmente, poseen mica blanca primaria y megacristales (2-5 cm) de microclina; los sienogranitos y granitos de microclina son rocas de color rosado y se asocian a pegmatitas de microclina-cuarzo-epidota biotital (Quebrada San Jerónimo, E Quisco). Se les sobreimpone microclinización tardimagmática en forma de parches y vetillas, acompañada de epidota y actinolita, lo cual, en parte, contribuye al aspecto portidico de estas rocas. Alteración regular a intensa de clonita, sericita, epidota y caolinita. Son rocas calcoalcalinas, con 65-80% SiO₂, metaluminosas a peraluminosas, tipo [principalmente, y tipo S en menor proporción. Forman un plutón compuesto, de 36 km de elongación noroeste, expuesto típicamente en la localidad de Mirasol, extendiéndose desde Caleta Barco hacia el sur. Los distintos tipos litológicos presentan contactos gradacionales. Contienen enclaves de ortogneises y paragneises de edad paleozoica (Quintay, Caleta Las Cruces). Están intruidos por diques básicos foliados y por plutones del Jurásico, con formación de zonas de enclaves magmáticos. Edades U-Pb en circones 290. 309,

405 Ma (Godoy y Loske, 1988; Corvalan y Munizaga, 1972) e isócrona Rb-Sr en roca total 292+2 Ma (Hervé et al. 1988) se interpretan como indicativas de la cristalización del magma, Edades K-Ar en biotita en el intervalo 292-250 Ma con predominio alrededor de los 287 Ma (este trabajo; Muñoz-Cristi, 1962, 1964; Hervé et al., 1988; Conn et al. 1993) y en homblenda 288+7 y 296 Ma (Cordani et al. 1976, Hervé, et al. 1988), son probablemente edades de enfriamiento. Edades del intervalo 147-162 Ma (Corvalán y Munizaga, 1972; Hervé et al., 1988, este trabajo), tanto por método K-Ar como por Rb-Sr, se interpretan como el producto de rejuvenecimiento térmico causado por plutones del Jurasico. Estas rocas corresponden a la unidad Mirasol citada en trabajos anteriores (Gana et al. 1994).

Las amplias playas de Chile además de ser fundamentales para el turismo juegan un rol clave en la defensa de las costas. Al estar constituidas por arena, estas tienen la capacidad de adaptar su forma a las condiciones medias del verano, caracterizadas por un oleaje de baja energía, y a los temporales del invierno. En palabras simples, las playas son el mecanismo más eficiente de protección costera ante los cambios en los patrones de oleaje y nivel del mar (Winckler. P., et al., 2019a). Estas acciones inducen el movimiento de los granos de arena que la componen de manera que su configuración varía permanentemente. La rapidez con la que se producen estos cambios dependerá de la intensidad de las fuerzas que la Naturaleza despliegue ante este tramo de costa (Muñoz, 1996).

En las últimas décadas, la erosión costera ha mostrado un incremento notorio a nivel global, situación que se asocia principalmente a la mayor recurrencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos tales como tifones, huracanes, ciclones tropicales y tormentas. Estos procesos han sido vinculados tanto a la variabilidad climática interanual como a las tendencias propias del cambio climático global (Zhang & Sheng, 2015; Yáñez-Arancibia, 2013). Frente a este escenario, la comunidad científica ha intensificado sus esfuerzos en el análisis de la dinámica de estos eventos y en la evaluación de sus efectos sobre los sistemas litorales, así como en la determinación de la vulnerabilidad tanto física como socioeconómica de las zonas costeras. Del mismo modo, se ha promovido el desarrollo de estrategias de adaptación al cambio climático y de medidas orientadas a fortalecer la resiliencia costera, con el fin de reducir el riesgo ante estos impactos (Masselink et al., 2016).

La magnitud que pueden alcanzar estos procesos implica cambios morfológicos relevantes en la línea de costa, lo que no solo altera la dinámica natural de las playas y acantilados, sino que también compromete directamente la seguridad de comunidades humanas y la integridad de infraestructuras estratégicas. Por ello, se clasifican dentro de la categoría de eventos extremos, dado su potencial de producir daños severos en lapsos cortos de tiempo. A su vez, la severidad de sus efectos suele intensificarse por las presiones antrópicas, en particular por la urbanización intensiva

y carente de planificación que caracteriza a muchas franjas litorales, lo cual incrementa la exposición y la vulnerabilidad de estos espacios frente a episodios de erosión costera (Barragán & De Andrés, 2015).

4.1 Morfología costera

En el litoral se manifiesta con claridad la energía del océano, expresada en procesos hidrodinámicos como la oscilación mareal, la propagación de trenes de oleaje y su posterior rompiente sobre la costa. La acción de las olas puede presentarse bajo regímenes de baja energía, que favorecen la acumulación sedimentaria, o bajo episodios de alta energía, capaces de inducir erosión y una reconfiguración temporal o permanente de la línea de costa. En el lenguaje común suelen confundirse los términos litoral, zona costera, línea litoral y costa, mientras que la palabra “playa” se asocia directamente a estos espacios. No obstante, en el análisis geomorfológico resulta imprescindible establecer definiciones precisas que permitan diferenciar cada concepto en función de sus características dinámicas, sedimentológicas y morfodinámicas.

Una playa puede definirse como un cuerpo acumulativo de sedimentos no consolidados (generalmente arenas, aunque en algunos casos gravas o cantos) que se desarrolla en la interfase tierra-mar. Su morfología se caracteriza por una gran longitud en comparación con su anchura limitada y se extiende desde el límite superior marcado por la vegetación o la acción de tormentas extremas, hasta la profundidad del perfil de equilibrio, es decir, la zona submareal donde el oleaje ordinario deja de movilizar partículas (Tarbuck & Lutgens, 2005). Este sistema incluye subunidades bien diferenciadas: zona supramareal, intermareal y submareal, cuya dinámica está controlada por la interacción entre oleaje, mareas y transporte sedimentario tanto longitudinal como transversal (Figura 4). La génesis y mantenimiento de estos depósitos dependen del suministro de sedimentos, que provienen principalmente de aportes fluviales, la erosión de acantilados y costas adyacentes, así como de la producción biogénica de organismos marinos generadores de carbonatos. Dada su amplia distribución latitudinal y climática, las playas constituyen uno de los ambientes sedimentarios más extendidos a nivel planetario y a la vez uno de los más sensibles frente a las variaciones hidrodinámicas y climáticas (Nombela, 2005).

4.1.1 Línea litoral

La línea litoral, por su parte, constituye el límite preciso donde se establece el contacto entre el medio terrestre y el medio marino en un momento determinado. Esta línea no es estática, sino que fluctúa espacial y temporalmente debido a la acción combinada de las mareas, el oleaje, las corrientes y los procesos de sedimentación y erosión. Su posición varía de forma diaria por el ciclo mareal, estacionalmente por cambios meteorológicos y climáticos, y a largo plazo por factores como el ascenso del nivel del mar o la subsidencia/levantamiento tectónico. Dada su naturaleza dinámica, la línea litoral es un indicador clave en estudios de geomorfología costera y en el monitoreo de procesos erosivos (Tarbuck et al., 2005).

4.1.2 Zona costera

La zona costera se define como el espacio de transición en el que confluyen y se interrelacionan de manera constante los sistemas terrestres y marinos, formando un ambiente de interacción compleja. Según Woodroffe (2002), corresponde al lugar que comprende la interfase entre tierra y mar, mientras que Bird (2008) la delimita como el área comprendida entre la línea de marea baja y el límite superior alcanzado por la acción del oleaje, citado en Romo Martínez (2023). Este sector está sometido a la influencia conjunta de procesos continentales y oceánicos, lo que genera un sistema dinámico que evoluciona continuamente. Entre los factores que intervienen en su modelado se incluyen los movimientos tectónicos, las variaciones en el nivel del mar, la acción de olas y corrientes marinas, los cambios en temperatura y presión atmosférica, y la incidencia de los vientos dominantes.

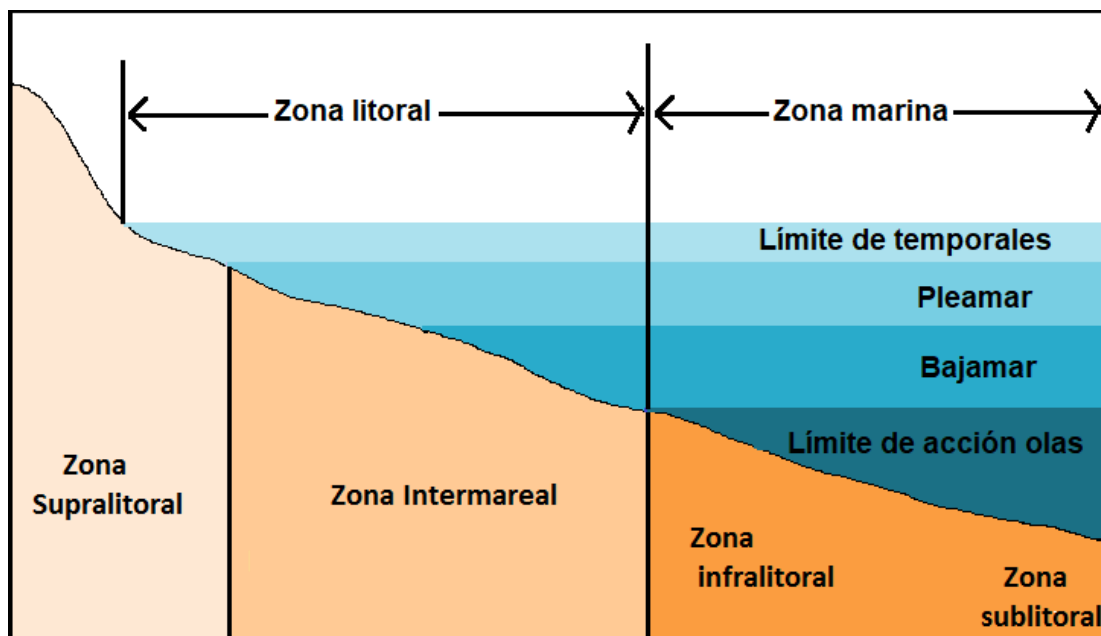


Figura. 4. Esquema de la zona litoral. Extraído de Ecosistema Digital Educativo de Andalucía (S/f).

4.2 Agentes

El territorio costero es uno de los ambientes más dinámicos del planeta, donde interactúan agentes meteorológicos, geológicos y oceánicos en distintas magnitudes y escalas espaciotemporales. Según el Ministerio del Medio Ambiente (2019a) en un contexto de cambio climático, el conocimiento de estos agentes es de fundamental importancia para resguardar la seguridad de los asentamientos humanos, reducir los impactos de las obras costeras y garantizar el desarrollo de la industria portuaria.

4.2.1 Atmosféricos

4.2.1.1 Temperatura

El aumento de la temperatura media global de la superficie, que también se refleja en el océano, es el principal factor que impulsa el ascenso del nivel del mar. Esto ocurre porque el calentamiento oceánico provoca expansión térmica del agua y acelera el deshielo de glaciares y capas de hielo, lo que incrementa el volumen total del océano. En consecuencia, se intensifican los niveles extremos del mar, generando mayor riesgo de inundaciones en las zonas costeras (Levermann, Griesel, Hofmann, Montoya, & Rahmstorf, 2005).

Según Rasmussen et al, en 2018, las proyecciones indican que, dependiendo del grado de estabilización de la temperatura (1,5 °C, 2,0 °C o 2,5 °C sobre niveles preindustriales), el nivel medio global del mar podría aumentar entre 48 y 58 cm hacia el año 2100. Este ascenso modifica la frecuencia de eventos extremos, como marejadas o inundaciones, que pasarían de ser poco comunes a recurrentes. Por lo tanto, la temperatura oceánica no solo controla el ritmo del aumento del nivel del mar, sino que también determina la magnitud de los impactos en la dinámica litoral y en la vulnerabilidad de los territorios costeros.

4.2.1.2 Presión atmosférica

La presión atmosférica es un factor que, aunque secundario frente al viento, tiene un papel importante en la generación de marejadas y la elevación temporal del nivel del mar. Durante eventos ciclónicos o tormentas intensas, la disminución de la presión sobre la superficie del océano provoca un ascenso local del nivel del agua, fenómeno conocido como efecto de bombeo barométrico. Este aumento relativo puede contribuir a inundaciones costeras, especialmente cuando interactúa con otros factores, como el oleaje, la batimetría somera y la configuración del litoral (Needham & Keim, 2011).

En la costa central de Chile, sectores bajos y expuestos, como humedales, planicies litorales y desembocaduras de ríos, son más sensibles a estas variaciones de presión, ya que incluso pequeños descensos en la presión atmosférica pueden generar un incremento significativo del nivel del mar local, potenciando la frecuencia y magnitud de las inundaciones temporales (Molina Pereira, 2022).

4.2.1.3 Nubosidad

La nubosidad es un factor atmosférico que influye indirectamente en la dinámica litoral, ya que afecta la radiación solar, la temperatura superficial del océano y, por ende, el clima local que condiciona procesos como la erosión costera y la intensidad de las inundaciones. Cambios en la

cobertura de nubes pueden modificar la temperatura del agua y del aire, alterando la formación de tormentas y marejadas, así como la frecuencia y magnitud de olas que impactan la costa (Pang et al., 2023).

4.2.1.4 Vientos

En Davidson-Arnott, 2010, se define viento como el movimiento horizontal del aire generado por diferencias de presión atmosférica en la superficie terrestre. Su acción sobre los océanos es fundamental, ya que transfiere energía a la superficie marina y genera fenómenos como el oleaje y corrientes costeras. En zonas litorales, el viento influye directamente en la morfología y dinámica de las playas, el transporte de sedimentos, la erosión y la sedimentación, y puede contribuir a la formación de marejadas que afectan tanto a los ecosistemas como a la infraestructura y comunidades costeras. Además, las características del viento, como su velocidad, dirección y persistencia, determinan la intensidad y dirección del oleaje, así como los patrones locales de erosión y deposición en la costa.

El oleaje que incide sobre la costa continental de Chile se origina principalmente en el cinturón de los vientos del oeste ($40^{\circ}\text{S} - 60^{\circ}\text{S}$) y se desplaza a lo largo del océano Pacífico, conformando un mar de fondo casi constante al aproximarse a la costa, conocido como mar de fondo reinante. Los ciclones extratropicales, núcleos de bajas presiones que se desplazan hacia la costa, constituyen la principal fuente de oleaje, generando vientos intensos desde el noroeste y produciendo marejadas que, en ocasiones, superan los 7 m, especialmente durante el invierno. Otro factor relevante es el surazo, un chorro atmosférico costero de baja altura y carácter sinóptico que se desarrolla principalmente en primavera y verano, asociado al paso de anticiclones migratorios. Este fenómeno genera un fuerte gradiente de presión hacia el norte, reforzando el mar de viento local, especialmente entre los 27°S y 35°S . En esta región, los análisis espectrales promedio muestran un predominio de energía de alta frecuencia durante los meses más cálidos, lo que influye directamente en la dinámica litoral, la erosión costera y el transporte de sedimentos en playas y sistemas adyacentes (Beyá et al., 2016).

4.2.2 Marítimos

Los agentes marítimos son procesos y fenómenos que actúan sobre la línea litoral y la zona costera, influyendo en la morfología, dinámica sedimentaria y erosión de las playas. Su comprensión es esencial para evaluar la vulnerabilidad costera y planificar medidas de protección.

4.2.2.1 Nivel del mar

Nicholls y Cazenave (2010) señalan que el nivel del mar es un factor determinante en la dinámica costera, ya que controla la posición de la línea de costa y condiciona los procesos de erosión, sedimentación e inundación. Su variabilidad puede ser temporal —por mareas, oleaje o fenómenos meteorológicos— o de largo plazo, debido al cambio climático y la expansión térmica del océano. El aumento sostenido del nivel medio del mar incrementa la frecuencia de inundaciones, la pérdida de playas, la salinización de acuíferos y la degradación de ecosistemas costeros, afectando directamente a las poblaciones asentadas en zonas bajas.

En Chile, los registros mareográficos disponibles muestran variaciones espaciales del nivel del mar a lo largo de la costa. Estudios recientes indican tendencias de ascenso en sectores del norte y centro del país, mientras que en el sur austral se han observado descensos relativos, asociados a procesos de levantamiento tectónico postglacial. Estos cambios locales, que en algunos casos pueden superar las tasas globales estimadas por el IPCC, representan un riesgo para la estabilidad de playas, humedales y asentamientos costeros, especialmente en áreas urbanas y turísticas donde la erosión y la pérdida de arena ya son evidentes (Rudolph, 2015).

4.2.2.2 Oleaje

La acción del viento sobre el océano constituye el principal mecanismo de generación del oleaje, ya que transfiere energía a la superficie marina, formando ondas que pueden propagarse a grandes distancias (Nombela, 2005). Este fenómeno influye de manera directa en la dinámica litoral, al intervenir en procesos de transporte de sedimentos, erosión y sedimentación costera. En consecuencia, el viento no solo regula el comportamiento del oleaje, sino que también condiciona

la morfología y estabilidad de las playas, pudiendo afectar tanto los ecosistemas costeros como la infraestructura y comunidades asentadas en estas zonas (Winckler Grez et al., 2020)

4.2.2.3 Tsunamis

La Intergovernmental Oceanographic Commission (2019) define este fenómeno como una serie de olas de gran longitud de onda y periodo, que generalmente se originan por perturbaciones relacionadas con terremotos ocurridos bajo o cerca del fondo marino, erupciones volcánicas o deslizamientos submarinos. Estas olas pueden estar compuestas por trenes sucesivos con intervalos de entre 5 y 90 minutos, capaces de propagarse a alta velocidad a través de cuencas oceánicas completas. Al llegar a aguas someras en zonas costeras, su altura puede incrementarse de manera significativa, provocando inundaciones severas y destrucción en las áreas afectadas.

Los tsunamis pueden inducir una variedad de cambios en el relieve costero. Estos incluyen la erosión de playas y dunas, la modificación de la línea de costa, el transporte y redistribución de sedimentos hacia estuarios y sistemas de marismas, y la alteración de la morfología de plataformas rocosas y acantilados. En la región del Biobío, se observó un retroceso de la línea de costa de hasta 120 metros, afectando playas arenosas y dunas. Además, el levantamiento vertical del relieve costero varió entre 15 cm y 2.8 m en diversas localidades, como Piure y Rumena. Estos cambios han tenido un impacto significativo en la morfología de playas, puertos y ecosistemas costeros, además de representar un riesgo directo para la infraestructura y la población (Araya-Cornejo & Carvajal, 2016).

4.2.2.4 Marea astronómica

La marea astronómica es el cambio periódico del nivel del mar provocado principalmente por la atracción gravitacional de la Luna y, en menor medida, del Sol sobre la superficie oceánica. Este forzante genera oscilaciones regulares en forma de pleamares (máximo nivel) y bajamares (mínimo nivel), cuya magnitud y frecuencia dependen de la posición relativa de estos astros con respecto a la Tierra. El resultado es un prisma de marea, es decir, el volumen de agua que entra y

sale de los sistemas costeros durante un ciclo completo de marea, el cual regula la extensión de la zona intermareal (Leonard, Wren, & Smith, 1995). Esta desempeña un rol fundamental en la dinámica litoral. Controla procesos de erosión, transporte y deposición de sedimentos, ya que la oscilación vertical del nivel marino determina la frecuencia y magnitud de la inundación de playas, estuarios, marismas y humedales. Asimismo, influye en el intercambio de agua y nutrientes en ambientes estuarinos, en la resuspensión de sedimentos finos y en el transporte cross-shore en playas arenosas, modificando de forma significativa el perfil costero (Hewageegana & Canestrelli, 2021).

En la costa de Chile central, las mareas son de tipo semidiurno mixto, produciendo dos pleamares y dos bajamares cada día lunar con desigualdades en su amplitud (Campos Caba, 2016). De acuerdo con registros del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), el rango de la marea astronómica en la Región de Valparaíso corresponde a un régimen micro a mesomareal, con diferencias entre pleamar y bajamar que varían aproximadamente entre 0,5 m y algo más de 2 m, dependiendo de la estación del año y de la configuración local (Morales, Winckler, & Herrera, 2012). Aunque su energía es menor frente a fenómenos extremos como tsunamis o marejadas, la marea astronómica constituye la línea base sobre la cual se superponen estos procesos, regulando la extensión de la zona intermareal y la redistribución de sedimentos; en playas como El Canelo (Algarrobo), esta oscilación mareal condiciona la posición de la línea de orilla y la morfodinámica estacional, influyendo directamente en la vulnerabilidad costera.

4.2.2.5 Marea meteorológica

La marea o marejada meteorológica, corresponde a las variaciones irregulares del nivel del mar inducidas por fenómenos atmosféricos, principalmente por cambios en la presión atmosférica y la acción del viento. A diferencia de la marea astronómica, que es regular y predecible, la marea meteorológica depende de condiciones locales y temporales, pudiendo elevar o disminuir el nivel del mar en lapsos cortos. Este fenómeno se origina principalmente por dos mecanismos: (i) las bajas presiones atmosféricas, que generan un ascenso del nivel del mar mediante el denominado efecto inverso barométrico (aproximadamente 1 cm de aumento por cada 1 hPa de disminución de

presión), y (ii) los vientos intensos y persistentes, que empujan el agua hacia la costa, concentrándola en zonas específicas y produciendo marejadas de gran magnitud. Su efecto puede amplificar inundaciones, erosión y transformaciones geomorfológicas en playas, dunas y estuarios, especialmente cuando coincide con pleamares astronómicas o con oleajes de fondo (Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, 2016)

En la costa central de Chile (30°S–40°S), la marea meteorológica se manifiesta principalmente durante el paso de ciclones extratropicales y sistemas frontales que generan fuertes vientos del noroeste y bajas presiones locales. Estos eventos producen marejadas y elevaciones anómalas del nivel del mar que afectan a bahías y playas abiertas, como Valparaíso y Algarrobo, provocando erosión costera, transporte de sedimentos hacia la plataforma y modificaciones en los perfiles de playa (Ortega, Campos, & Vergara, 2016). La superposición de este fenómeno con la marea astronómica y el oleaje de fondo intensifican la inundación costera y los impactos sobre infraestructuras portuarias y asentamientos en primera línea de costa. Ejemplos notables son los temporales de invierno de 2015 y 2017, que causaron daños significativos en malecones, espigones y pérdidas de arena en playas, lo que evidencia la importancia de incorporar la marea meteorológica en la planificación y gestión del borde costero chileno (Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

4.2.2.6 Corrientes

La Encyclopedia Britannica (s/f) define corrientes marinas son flujos continuos y dirigidos de agua dentro de los océanos, que pueden ser superficiales o profundas. Se generan por varios mecanismos físicos, tales como el viento sobre la superficie, diferencias de densidad de agua (debido a temperatura y salinidad), la rotación de la Tierra (efecto Coriolis), fuerzas gravitacionales, y la configuración del fondo oceánico y de las costas. Estas corrientes desempeñan un papel clave en el transporte de calor, nutrientes y organismos en el océano, influyendo también en el clima regional y global (National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA], s.f.).

En la costa de Chile, las corrientes marinas tienen una importancia particular debido a la presencia de la Corriente de Humboldt, uno de los sistemas oceánicos más productivos del mundo.

Esta corriente fría fluye hacia el norte a lo largo de la costa, transportando aguas profundas ricas en nutrientes que sustentan ecosistemas marinos abundantes. Además, la deriva litoral —las corrientes que corren paralelas a la costa generadas por el oleaje que incide oblicuamente— juega un rol fundamental en la redistribución de sedimentos en playas, en la modificación de perfiles costeros y en la formación de depósitos en estuarios y zonas costeras (Jahncke et al., 2004).

4.2.2.6.1 Tipos de corrientes

Corriente costera

Es un flujo dirigido cercano a la costa, impulsado por el viento paralelo al litoral (along-shore wind stress), que transporta agua superficial hacia el norte o sur dependiendo de la orientación del viento y la latitud. Este tipo de corriente aparece, por ejemplo, al norte de Punta Galera en los estudios de surgencia, donde los vientos dominantes desde el sureste generan transporte paralelo al litoral que favorece surgencia (Pinochet et al., 2019).

Corriente sub-superficial o subsuperficial

Se define como el flujo que se sitúa debajo de la capa superficial, usualmente en contracorriente de la corriente costera, que puede moverse en dirección opuesta al flujo principal. En el artículo “A numerical study ... circulation off central Chile” se menciona la existencia de una poleward undercurrent (corriente hacia el polo) debajo de la corriente costera, que participa en la circulación vertical y en la distribución de nutrientes (Leth & Shaffer, 2001).

Corriente de surgencia costera

Movimiento vertical del agua profunda hacia la superficie cerca de la costa, provocado por el empuje del agua superficial hacia fuera del litoral (causado por viento favorecedor), lo que permite que agua fría rica en nutrientes suba. Este tipo de corriente tiene alta estacionalidad en la zona centro-sur de Chile, como en el artículo Seasonal Variability of Upwelling off Central-

Southern Chile, que documenta los periodos de surgencia fuerte durante la primavera-verano (Pinochet et al., 2019).

Corriente inducida por bombeo de Ekman

Este es un mecanismo vertical de circulación inducido cuando existe un curl del viento (variación del esfuerzo del viento en dirección costera), que causa hundimiento o ascenso del agua. En el estudio “Seasonal variability of the Ekman transport and pumping ... off central-northern Chile ($\sim 30^\circ\text{S}$)” se estima cuánto contribuye este bombeo de Ekman vs transporte de Ekman horizontal en la surgencia costera (Bravo et al., 2016).

4.2.3 Geológicos y morfodinámicos

En los mares interiores abundan senos, fiordos y canales que se encuentran protegidos del oleaje del océano abierto, y, por lo tanto, de la penetración del oleaje oceánico. En estos sectores, el oleaje que se produce es mar de viento local, y sus características principales (dirección, altura y período) son gobernadas por el clima y la topografía del sector. Las marejadas en estas zonas pueden ser menos frecuentes, aunque de magnitudes importantes. Estos eventos condicionan el diseño del borde costero y de instalaciones industriales, principalmente en sectores acuícolas y en zonas con asentamientos humanos. Las mediciones de oleaje en los mares interiores son escasas, por lo que generalmente se utilizan estadísticas de viento para estimar el clima de oleaje del sector. Sin embargo, los agentes oceanográficos no son los únicos que modifican la morfología litoral: los procesos tectónicos también juegan un rol central. La subsidencia y el alzamiento costero asociados a la dinámica de placas en el margen convergente chileno pueden producir cambios abruptos en la línea de costa, generando la emersión o sumersión de áreas litorales en escalas tanto históricas como geológicas. Estos movimientos verticales condicionan la estabilidad de playas, humedales y terrazas marinas, además de influir en la vulnerabilidad de las comunidades costeras frente a tsunamis y marejadas (Beyá et al., 2016)

4.2.3.1 Sedimentos

Los sedimentos constituyen la materia prima fundamental en la configuración y evolución de las playas. En términos generales, se definen como materiales detríticos resultantes de la meteorización y erosión de rocas preexistentes, transportados y depositados por agentes geológicos como ríos, viento, glaciares y el oleaje marino (Boggs, 2006).

En ambientes costeros, la **granulometría** de los sedimentos es clave para comprender los procesos dinámicos. El análisis granulométrico describe la distribución de tamaños de grano dentro de una muestra, expresada normalmente en términos de diámetro medio, selección (sorting), asimetría (skewness) y curtosis (kurtosis) (Folk & Ward, 1957). Estos parámetros reflejan la energía del medio y los mecanismos de transporte y depósito.

Millimeters (mm)	Micrometers (μm)	Phi (ϕ)	Wentworth size class	Rock type
4096		-12.0	Boulder	Conglomerate/ Breccia
256		-8.0	Cobble	
64		-6.0	Pebble	
4		-2.0	Granule	
2.00		-1.0		
1.00		0.0	Very coarse sand	Sandstone
1/2	0.50	1.0	Coarse sand	
1/4	0.25	2.0	Medium sand	
1/8	0.125	3.0	Fine sand	
1/16	0.0625	4.0	Very fine sand	
1/32	0.031	5.0	Coarse silt	Siltstone
1/64	0.0156	6.0	Medium silt	
1/128	0.0078	7.0	Fine silt	
1/256	0.0039	8.0	Very fine silt	
0.00006	0.06	14.0	Clay	Claystone

Figura 5. Clasificación de tamaño de grano de los sedimentos de Udden-Wentworth (Wentworth, 1922).

La **clasificación textural** de los sedimentos de playa suele seguir el sistema propuesto por Wentworth (1922), que subdivide los clastos en gravas, arenas, limos y arcillas en función de su tamaño (Fig. 5). En playas arenosas como las de la Región de Valparaíso, predominan fracciones de arena media a fina, las cuales responden con rapidez a las variaciones estacionales de oleaje (Short & Jackson, 2013).

A veces las playas se denominan «ríos de arena». El motivo es que la energía de las olas rompientes suele hacer que grandes cantidades de arena se muevan a lo largo del fondo de playa y en la zona de arrastre casi en paralelo a la línea de costa. La energía de las olas también hace que la arena se mueva perpendicularmente a la línea litoral (acercándose y alejándose de ella). (Tarbuck, 2005). El **transporte sedimentario** en ambientes litorales está controlado principalmente por el oleaje y las corrientes litorales. Estos procesos redistribuyen los sedimentos en sentido transversal (playa–mar adentro) y longitudinal (paralelo a la costa), generando cambios en la morfología de la playa y en la estabilidad de perfiles estacionales (Komar, 1998).

4.2.3.2 Morfodinámica de playas

La morfodinámica de playas es la constante interacción entre los procesos físicos del oleaje, las mareas y las corrientes, con la respuesta morfológica del perfil de playa a diferentes escalas temporales (Wright & Short, 1984; Villagrán et al. (2022). Se trata de un sistema dinámico y en equilibrio inestable, donde los sedimentos son constantemente movilizados y redistribuidos, generando cambios que pueden observarse tanto de forma estacional como en respuesta a eventos extremos (marejadas, tormentas o tsunamis).

Las playas arenosas pueden clasificarse en un continuum entre playas disipativas, caracterizadas por un oleaje de alta energía, pendiente suave y sedimentos finos, y playas reflectivas, con oleaje de menor energía, mayor pendiente y sedimentos más gruesos (Wright & Short, 1984.). Esta clasificación permite comprender cómo la energía incidente del oleaje controla la forma del perfil y la dinámica sedimentaria.

4.2.3.2.1 Erosión y acreción

Los procesos de erosión y acreción constituyen las principales expresiones de la morfodinámica costera. La erosión corresponde a la pérdida neta de sedimentos en la playa, manifestada en el retroceso de la línea de costa, reducción de la berma y exposición de estructuras subyacentes. Se produce principalmente durante episodios de oleaje intenso, marejadas anormales o tormentas, cuando la energía excede la capacidad de retención de sedimentos en la zona intermareal (Komar, 1998).

Por el contrario, la acreción implica la ganancia neta de sedimentos, favoreciendo la acumulación en la zona de berma, el ensanchamiento de la playa y la recuperación tras episodios erosivos. Este proceso suele predominar en períodos de oleaje de menor energía, cuando los sedimentos son transportados nuevamente hacia la zona de rompiente y depositados en el frente de playa (Martínez, Quezada, & Vásquez, 2018).

4.2.3.2.2 Perfiles de verano e invierno

La morfodinámica estacional de las playas arenosas se caracteriza por la alternancia entre perfiles de verano y perfiles de invierno, en respuesta a las variaciones en la energía del oleaje. El perfil de verano se desarrolla bajo condiciones de oleaje de baja energía y periodos prolongados de estabilidad atmosférica. Se caracteriza por una playa más amplia, con berma bien definida, pendiente moderada y acumulación de sedimentos en la zona supramareal. En este escenario, los sedimentos son transportados desde la zona de rompiente hacia la parte alta de la playa, favoreciendo la acreción (Komar, 1998; Masselink & Short, 1993).

En contraste, el perfil de invierno refleja la acción de oleaje de alta energía, propio de la temporada de tormentas y marejadas intensas. Estas condiciones generan erosión en la zona de berma, retroceso de la línea de costa y el traslado de sedimentos hacia mar adentro, donde suelen

formar barras submarinas en la zona de rompiente. Como resultado, la playa adquiere un aspecto más estrecho y con mayor pendiente (Komar, 1998; Villagrán et al., 2022)

En el caso de la costa central de Chile, estudios recientes han documentado este comportamiento estacional, señalando que durante el invierno predominan procesos erosivos asociados a marejadas recurrentes, mientras que en verano se produce una recuperación parcial de la playa mediante la deposición de sedimentos más gruesos en la berma (Villagrán et al., 2022). Este patrón de variabilidad estacional constituye un rasgo fundamental de la dinámica de playas arenosas sometidas a alta energía de oleaje.

4.2.3.3 Sismos y tectónica costera

4.2.3.3.1 Subsistencia y alzamiento

La subsistencia tectónica corresponde al hundimiento progresivo o súbito de un bloque cortical, generado principalmente por la dinámica de subducción, reajustes isostáticos o la actividad de fallas. En ambientes litorales, este fenómeno se traduce en pérdida de superficie emergida, inundación de playas, retroceso de la línea de costa y mayor exposición frente a tsunamis y marejadas (Orellana, Hormazábal, Montalva, & Moreno, 2022).

Por el contrario, el alzamiento tectónico implica la elevación del terreno respecto del nivel del mar, asociado a compresión cortical, acumulación de esfuerzos sísmicos y levantamiento cosísmico. En costas, este proceso se manifiesta en la formación de terrazas marinas, plataformas de abrasión emergidas y ensanchamiento temporal de las playas (Farías et al., 2008). Ambos procesos son característicos de márgenes de subducción activos como el de Chile, donde la Placa de Nazca converge con la Sudamericana a velocidades cercanas a 7–8 cm/año, generando deformaciones verticales recurrentes.

Estudios geomorfológicos y geocronológicos indican que la Cordillera de la Costa y sectores de la Depresión Central se elevaron hasta 2 km entre 10 y 4 millones de años atrás, lo que

dio origen a terrazas marinas pleistocenas y relieves escalonados (Farías et al., 2008). A escala histórica, los grandes terremotos de subducción han generado deformaciones verticales significativas. El megasismo del 27 de febrero de 2010 (Mw 8.8, Maule) produjo alzamientos de hasta 2 m en algunos sectores costeros, mientras que en áreas como Pichilemu y Navidad se registró subsidencia cercana a 1 m, lo cual modificó playas, humedales y ecosistemas intermareales (Orellana et al., 2022).

Posteriormente, en el periodo 2018–2021, con técnicas de interferometría satelital (MT-InSAR) y GNSS se detectó subsidencia de hasta -25 mm/año en el tramo comprendido entre Navidad y Pichilemu, asociada tanto a efectos post-sísmicos del evento de 2010 como al terremoto de magnitud Mw 6.9 ocurrido en agosto de 2019 (Orellana et al., 2022). Estos hundimientos localizados incrementan la vulnerabilidad de la zona frente a tsunamis y ascenso del nivel del mar.

La interacción entre subsidencia y alzamiento condiciona directamente la dinámica costera. La subsidencia incrementa la penetración marina y potencia el efecto destructivo de los tsunamis al reducir la cota natural de resguardo del terreno. En contraste, el alzamiento cosísmico puede exponer plataformas de abrasión y fondos marinos, generando cambios abruptos en la línea de costa y en la distribución de hábitats litorales (Farías et al., 2008; Orellana et al., 2022). En la Región de Valparaíso, tsunamis históricos como el de 1730, junto con los terremotos de 1985 y 2017, han estado acompañados de deformaciones verticales que alteraron la estabilidad de las playas.

4.2.4 Antrópicos

Los procesos antrópicos constituyen un factor cada vez más relevante en la dinámica costera, al interactuar con los agentes naturales y amplificar los efectos de la erosión y la inestabilidad de las playas. Entre los más influyentes se encuentran el cambio climático y las infraestructuras construidas en el borde costero, ambos con impactos directos en la configuración geomorfológica y sedimentaria de las playas de Chile central.

4.2.4.1 Cambio climático

El cambio climático global se manifiesta en las costas principalmente a través de diversos mecanismos interrelacionados. Según el Sixth Assessment Report del IPCC (2021), el nivel medio del mar global ha aumentado a una tasa media de 3,3 mm/año entre 1993 y 2018, con proyecciones que indican un incremento mayor hacia finales del siglo XXI. En la zona costera, incluso aumentos modestos de nivel marino se traducen en una pérdida exponencial de superficie de playa, proceso conocido como coastal squeeze (Vousdoukas et al., 2020).

A lo anterior se suma que el cambio en los patrones de circulación atmosférica ha favorecido un aumento en las marejadas anormales en la costa central de Chile, particularmente durante el invierno. Estudios de Martínez, Quezada y Vásquez (2018) documentan que estos eventos han acelerado el retroceso de playas arenosas, con pérdidas de hasta 1,5 m/año en sectores urbanizados de Valparaíso.

En márgenes activos, la combinación de subsidencia tectónica con el ascenso global del nivel del mar agrava la vulnerabilidad costera. Sectores como Pichilemu y Navidad, donde se han medido tasas de subsidencia de hasta -25 mm/año tras el megaterremoto de 2010, representan ejemplos claros de esta interacción que intensifica la pérdida de superficie de playa (Orellana et al., 2022).

4.2.4.2 Infraestructuras

Las infraestructuras costeras como puertos, espigones, rompeolas, malecones y defensas artificiales alteran significativamente el transporte litoral de sedimentos. Estas obras interrumpen las corrientes litorales y generan asimetrías en la redistribución de arenas, produciendo acumulación en sectores a barlovento y erosión en sectores a sotavento (Villagrán et al., 2022). Al bloquear o desviar el movimiento natural de arena, estructuras como los malecones causan

sedimentación corriente arriba, al tiempo que dejan expuestos tramos costeros sotavento a la erosión acelerada.

En la Región de Valparaíso, la urbanización y el desarrollo de instalaciones náuticas han modificado la morfodinámica natural de varias playas. Construcciones como la Cofradía Náutica del Pacífico, en Algarrobo, constituyen ejemplos de infraestructura que interfieren con el transporte de sedimentos y condicionan la estabilidad del perfil de playa adyacente. Estas modificaciones se reflejan en la pérdida de arena, la reducción del ancho de playa y cambios en los patrones de erosión y acreción estacionales.

No obstante, el impacto humano no se limita a obras puntuales: la zona costera es un espacio intensamente intervenido. Con frecuencia, se la trata como si fuera una plataforma estable y apta para el desarrollo urbano, cuando en realidad se trata de un sistema dinámico y frágil, susceptible de transformarse en escalas de tiempo cortas (Tarbuck & Lutgens, 2012). Tormentas excepcionales son capaces de erosionar playas y acantilados a tasas muy superiores al promedio de largo plazo, generando retrocesos abruptos de la línea de costa y ocasionando pérdidas económicas significativas. De hecho, cada año se invierten grandes sumas de dinero no sólo en reparar daños, sino también en implementar medidas de protección que, en muchos casos, intensifican los desequilibrios sedimentarios preexistentes.

5 RESULTADOS.

El presente capítulo expone los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología descrita en secciones anteriores. Para ello, se lleva a cabo dos campañas de terreno en la bahía El Canelo y en la playa adyacente a la Cofradía Náutica del Pacífico (mayo y septiembre de 2023), lo que permite registrar perfiles topográficos de playa y obtener muestras sedimentológicas destinadas a caracterización granulométrica y mineralógica. Durante ambas salidas se levantan en total ocho perfiles representativos, cuyos parámetros geomorfológicos son evaluados con el fin de comparar las condiciones estivales e invernales y así identificar modificaciones morfodinámicas del litoral.

Las muestras obtenidas son sometidas en laboratorio a procesos de secado y tamizado con diferentes aperturas de malla, lo que posibilita construir curvas granulométricas y acumulativas, complementadas con observaciones bajo lupa estereoscópica para determinar la composición mineralógica. Asimismo, se aplica el método geométrico de comparación de perfiles, que transforma las diferencias de elevación en medidas de área y volumen, permitiendo estimar balances sedimentarios y cuantificar los volúmenes de arena erosionados o acrecionados en cada estación del año.

Adicionalmente, se utilizan imágenes satelitales de la plataforma Google Earth, seleccionadas en fechas cercanas a los periodos de muestreo, con el objetivo de analizar la variación de la línea de costa en un marco estacional. Estas imágenes son georreferenciadas y procesadas para medir con precisión longitudes y segmentos en cuatro perfiles delimitados en distintos sectores de Algarrobo (El Canelo y Cofradía Náutica del Pacífico), lo que permite establecer comparaciones válidas sobre los patrones de retroceso y avance de la playa. La integración de estos resultados constituye la base para contrastar la hipótesis planteada y evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos específicos de esta investigación.

5.1 Perfiles verano e invierno

En este apartado se presentan los perfiles de playa obtenidos durante las campañas de terreno realizadas en los sectores de El Canelo (Fig. 6) y la Cofradía Náutica del Pacífico (Fig 7) y sus respectivas ubicaciones. Cada perfil incorpora la ubicación de los puntos de muestreo con sus respectivos códigos, la longitud total registrada y los ángulos de inclinación medidos en cada tramo, lo que permite caracterizar en detalle la morfología costera en distintos periodos del año (Fig 8, 9, 10 y 11). La comparación de estos perfiles posibilita identificar sectores de acumulación y erosión, así como evaluar los cambios en la pendiente y en la distribución topográfica asociados a la dinámica estacional del oleaje y las marejadas.

Los resultados obtenidos muestran una evolución morfológica significativa en un intervalo aproximado de cinco meses entre las campañas de invierno y verano. Las figuras 6 y 7 ilustran las variaciones detectadas en la digitalización de cada perfil para ambas estaciones, evidenciando que durante el invierno se intensifican los procesos erosivos, generando perfiles más empinados y con mayor retroceso de la línea de orilla. En contraste, los perfiles de verano reflejan una tendencia hacia la acreción, con depósitos de sedimento que favorecen una configuración más estable y menos inclinada del sistema costero. Esta información resulta esencial para comprender la dinámica litoral local y constituye una base sólida para estudios comparativos de evolución de playas en el tiempo

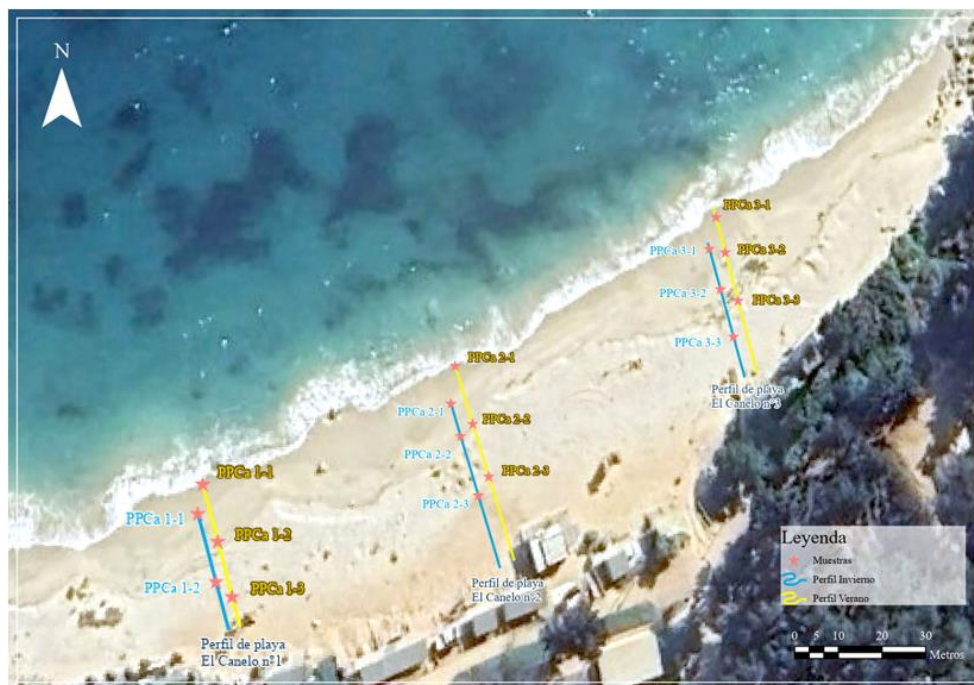


Figura 6. Mapa de la playa El Canelo donde se ilustran los 6 perfiles tomados en el área junto a la ubicación de ellos y de las 17 muestras. En color amarillo están los perfiles correspondientes a las mediciones de verano, en color azul las mediciones tomadas en invierno, además de sus longitudes estimadas, con el símbolo de estrella el lugar de muestreo de cada perfil. Fuente: Elaboración propia.

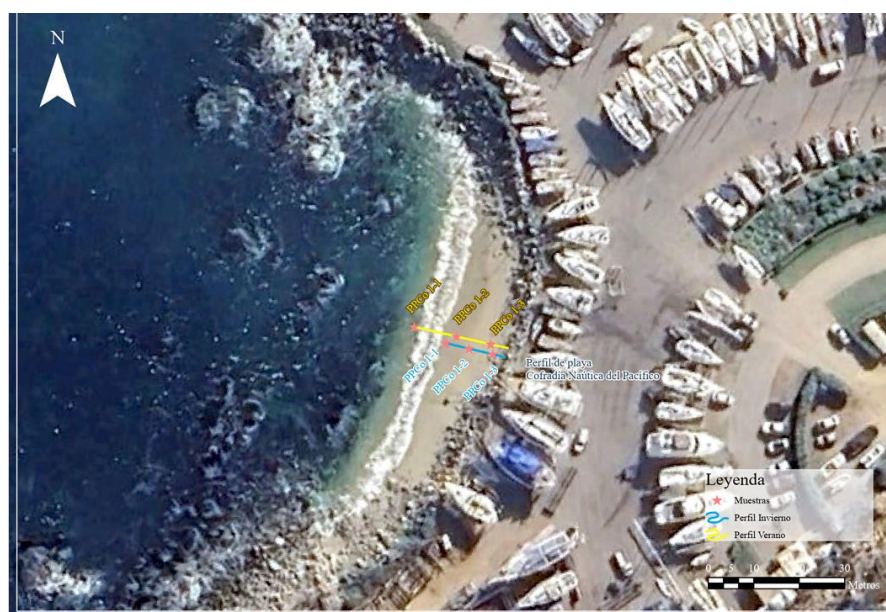


Figura 7. Mapa de la playa de la Cofradía Náutica del Pacífico donde se ilustran los 2 perfiles tomados en el área junto a la ubicación de ellos y de las 6 muestras. En color amarillo están los perfiles correspondientes a las mediciones de verano, en color azul las mediciones tomadas en invierno, además de sus longitudes estimadas, con el símbolo de estrella el lugar de muestreo de cada perfil. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al muestreo, para cada perfil de playa realizado se recolectaron muestras en cada temporada, que se representan en la siguiente Tabla (Tabla 1 y 2), obteniendo un total de 24 muestras separadas ambas tablas por cada temporada y perfiles.

Tabla 1: Tabla de las 13 muestras colectadas en verano con su respectivo código y perfil al que pertenece.

Muestras		
Perfil	Código	
PPCa	PPCa 1	PPCa 1-1
		PPCa 1-2
		PPCa 1-3
	PPCa 2	PPCa 2-1
		PPCa 2-2
		PPCa 2-3
		PPCa 3-1
	PPCa 3	PPCa 3-2
		PPCa 3-3
		PPCa 3-3
PPCo	PPCo 1	PPCo 1-1
		PPCo 1-2
		PPCo 1-3
		PPCo 1-4

Tabla 2: Resumen de las 11 muestras obtenidas en la temporada de invierno, indicando su identificación y el perfil.

Muestras		
Perfil	Código	
PPCa	PPCa 1	PPCa 1-1
		PPCa 1-2
	PPCa 2	PPCa 2-1
		PPCa 2-2
		PPCa 2-3
	PPCa 3	PPCa 3-1
		PPCa 3-2
		PPCa 3-3
		PPCa 3-3
PPCo	PPCo 1	PPCo 1-1
		PPCo 1-2
		PPCo 1-3

Perfil de playa El Canelo N°1

En verano, el perfil alcanza 32,2 m de longitud y presenta una berma marcada con pendientes que varían entre 6° y 10°, lo que evidencia acumulación de arena y un perfil amplio asociado a oleajes de baja energía. En contraste, durante invierno la longitud disminuye a 28 m y la pendiente se hace más constante e inclinada (alrededor de 11°), indicando un retroceso de la línea de costa y una mayor erosión, típica de condiciones de marejadas invernales que arrastran el sedimento mar adentro (Fig. 8)

Perfil de playa El Canelo N°2

Este perfil muestra en verano una longitud de 43,3 m y pendientes suaves (8° , 5° , 2°), propias de un sistema en fase de acreción y estabilización. Sin embargo, en invierno la longitud disminuye a 38,3 m, con tramos más inclinados (9° y 4°) que reflejan un retroceso aproximado de 5 m. Este comportamiento confirma la acción erosiva del oleaje de tormenta, que reduce la superficie de playa y redistribuye los sedimentos hacia zonas más profundas o adyacentes (Fig. 9).

Perfil de playa El Canelo N°3

Durante el verano, este perfil alcanza 37,5 m y se caracteriza por una berma bien definida con pendiente de hasta 25° , señal de acumulación sedimentaria por oleajes de baja energía. En invierno, en cambio, la longitud se reduce a 31,3 m y las pendientes bajan a 5° y 2° , lo que indica la pérdida de la berma y una superficie más homogénea, consecuencia de la erosión generada por temporales que nivelan el perfil y arrastran el material fino hacia el mar (Fig. 10).

Perfil de playa la Cofradía Náutica N°1

La playa de la Cofradía se comporta de manera más frágil, con un perfil de verano corto (22 m) pero con acumulación visible en bermas y pendientes entre 7° y 17° . En invierno, la longitud se reduce drásticamente a 14 m y la pendiente aumenta a 15° , lo que refleja una fuerte erosión y pérdida casi total de la superficie de playa. Este comportamiento evidencia su alta vulnerabilidad geomorfológica frente a la dinámica estacional, con una marcada reducción del espacio arenoso y mayor exposición al oleaje (Fig. 11).

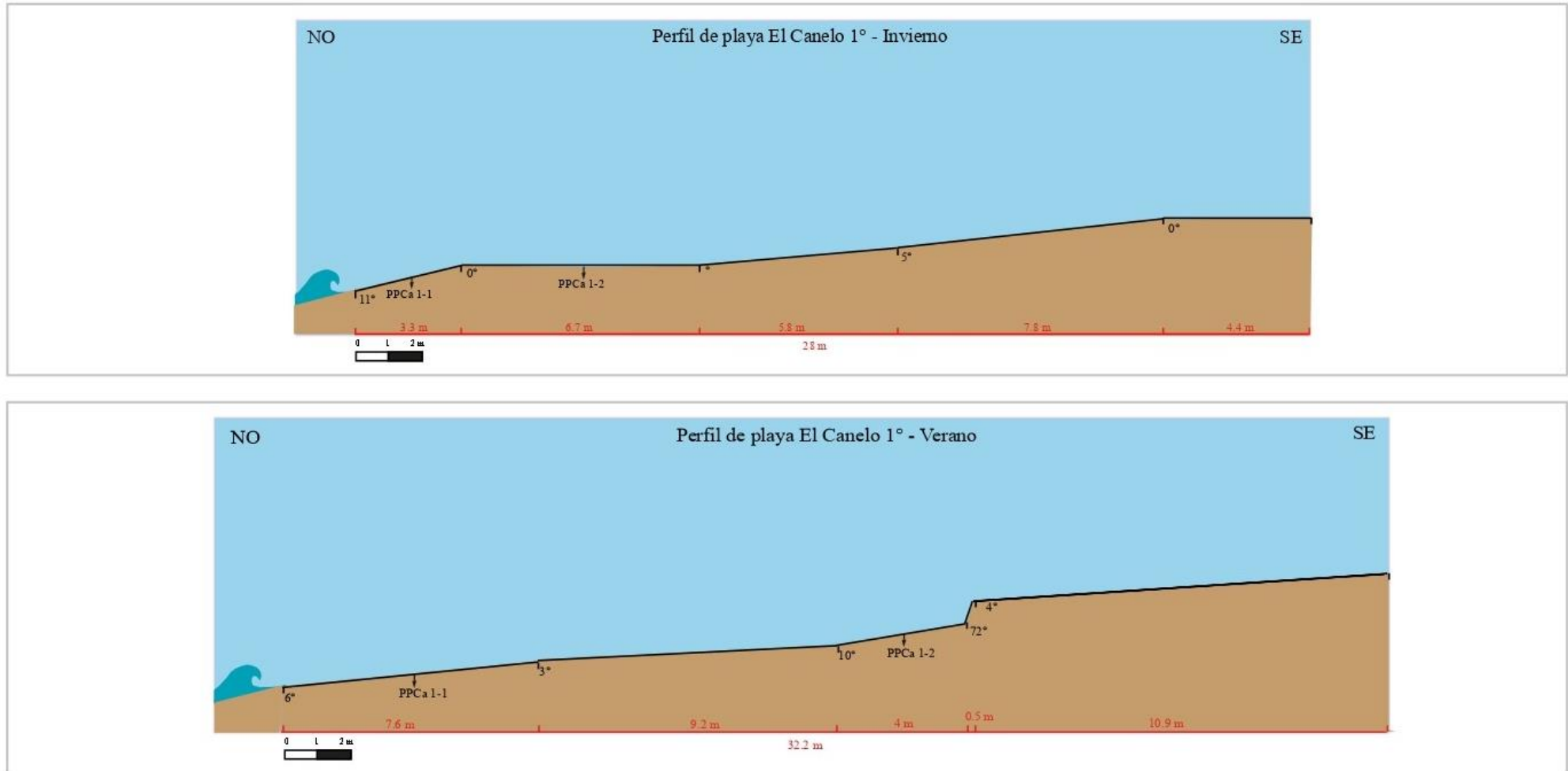


Figura 8. Perfiles de playa El Canelo N°1, arriba invierno y abajo verano.

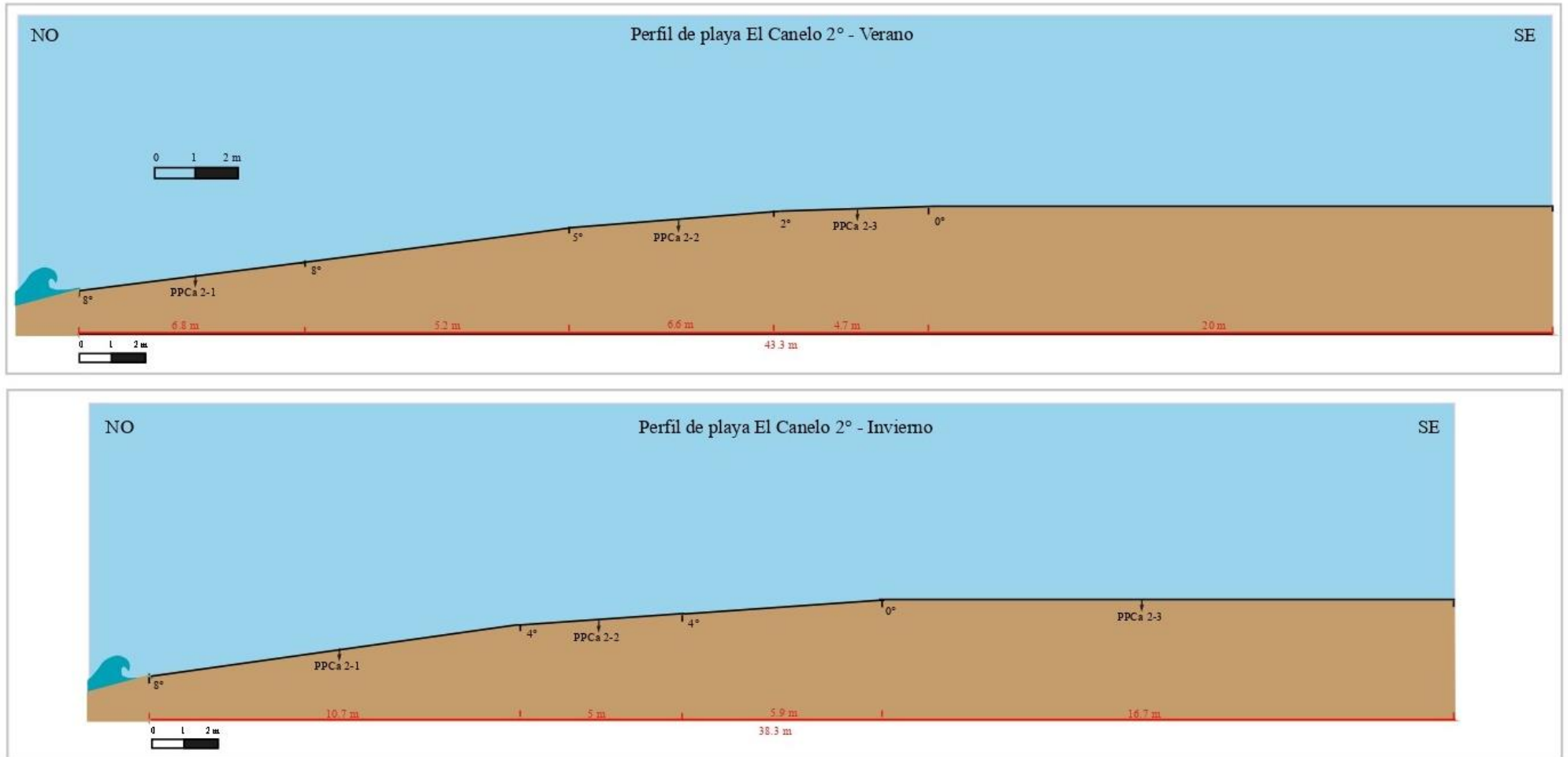


Figura 9. Perfiles de playa El Canelo N°2, arriba verano y abajo invierno.

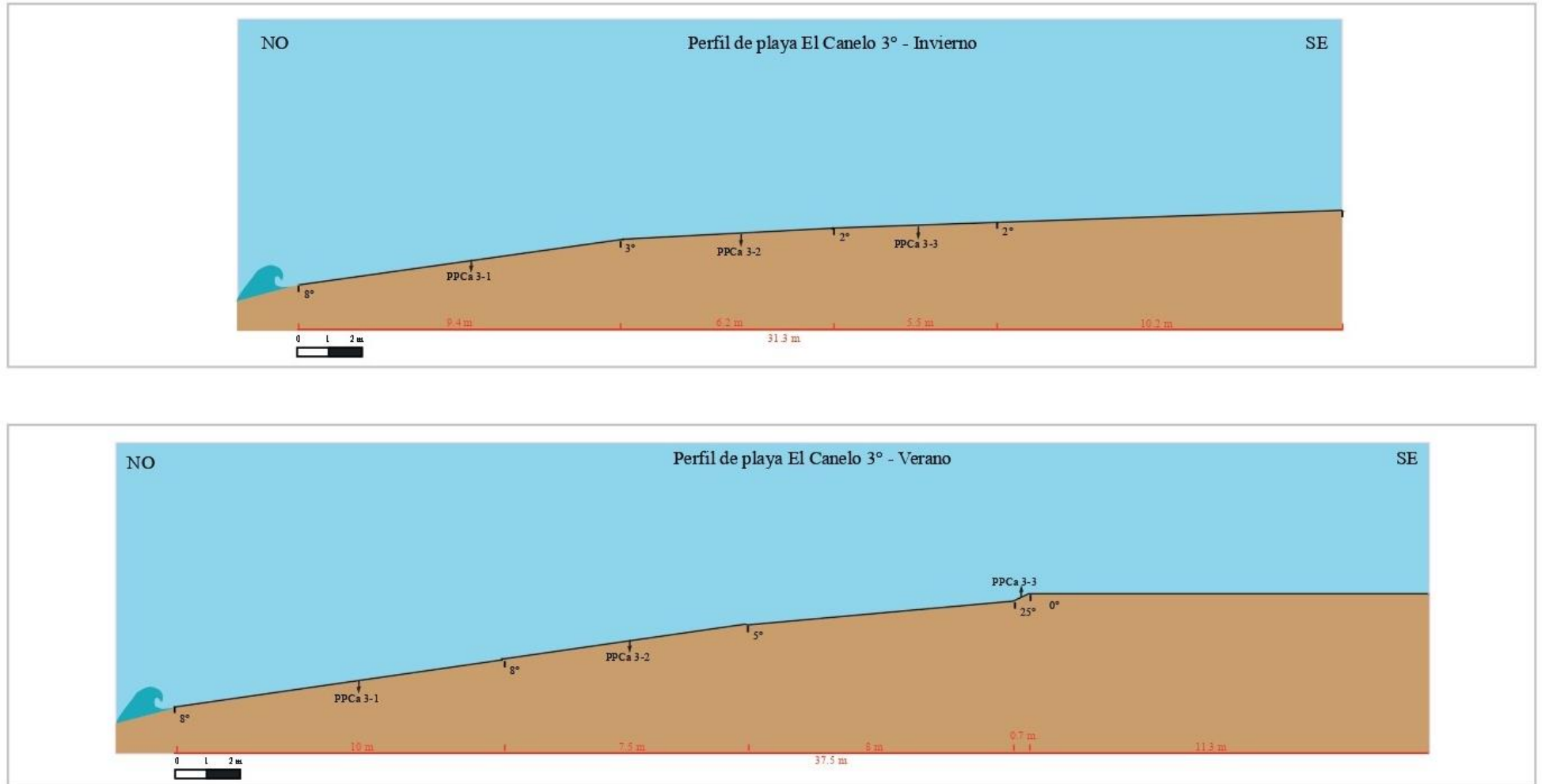


Figura 10. Perfiles de playa El Canelo N°3, arriba invierno y abajo verano.

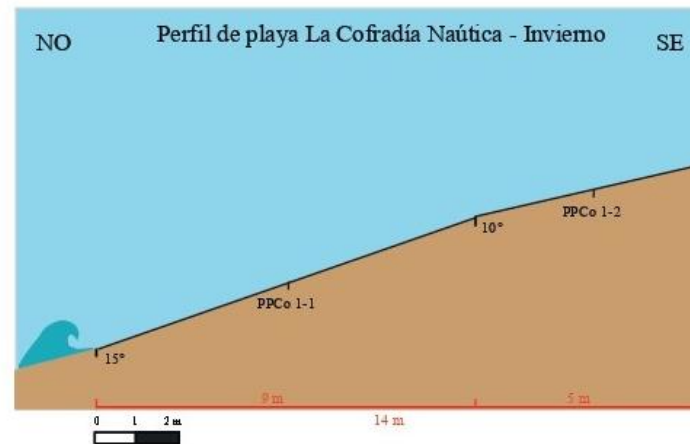
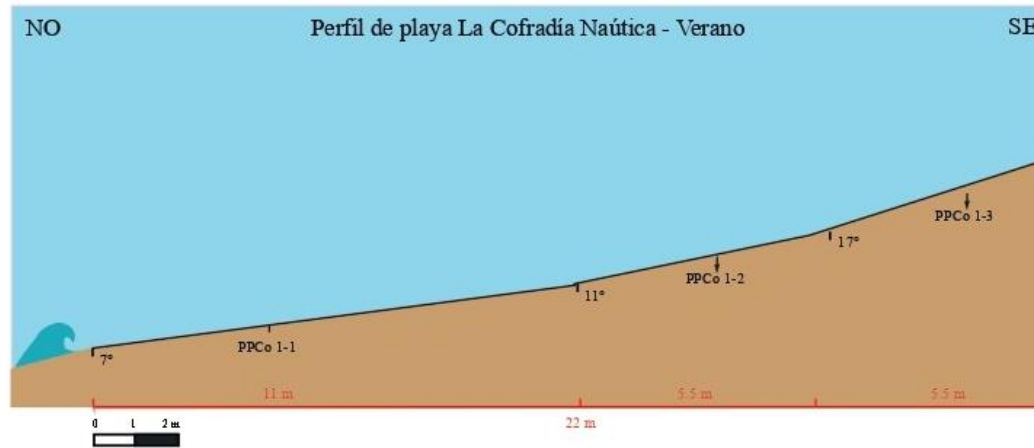


Figura 11. Perfiles de playa El Canelo N°1, arriba verano y abajo invierno.

Los perfiles de playa levantados en verano presentan una mayor extensión, pendientes suaves y bermas bien definidas, lo que refleja un ambiente de acreción asociado a la acción de oleajes de baja energía. En cambio, los perfiles medidos en invierno muestran una reducción significativa de su longitud, superficies más empinadas y pérdida de bermas, rasgos característicos de un ambiente erosivo dominado por marejadas invernales.

En la playa El Canelo, esta dinámica estacional se traduce en un retroceso de entre 4 y 6 m, evidenciando una clara redistribución del sedimento hacia el mar o hacia sectores adyacentes de la bahía. En la Cofradía Náutica, la variación es aún más drástica: la playa se reduce casi a la mitad en invierno, lo que denota su alta fragilidad geomorfológica frente a la acción del oleaje. En conjunto, estos resultados respaldan la hipótesis de la investigación, ya que confirman que la morfología de ambas playas está fuertemente condicionada por la dinámica estacional del oleaje, además de ser influenciada por factores tectónicos y antrópicos que limitan el aporte sedimentario natural.

5.2 Granulometría

5.2.1 Verano

Perfil de playa El Canelo N°1 - verano

La curva acumulada del perfil PPCa 1 (Gráfico 1) muestra una tendencia progresiva y homogénea en las tres muestras analizadas (PPCa 1-1, PPCa 1-2 y PPCa 1-3), con mayor concentración en las mallas intermedias (#50 y #60), correspondientes a arenas medias (0,25–0,35 mm). Esto indica una buena selección granulométrica y condiciones energéticas relativamente constantes a lo largo del perfil.

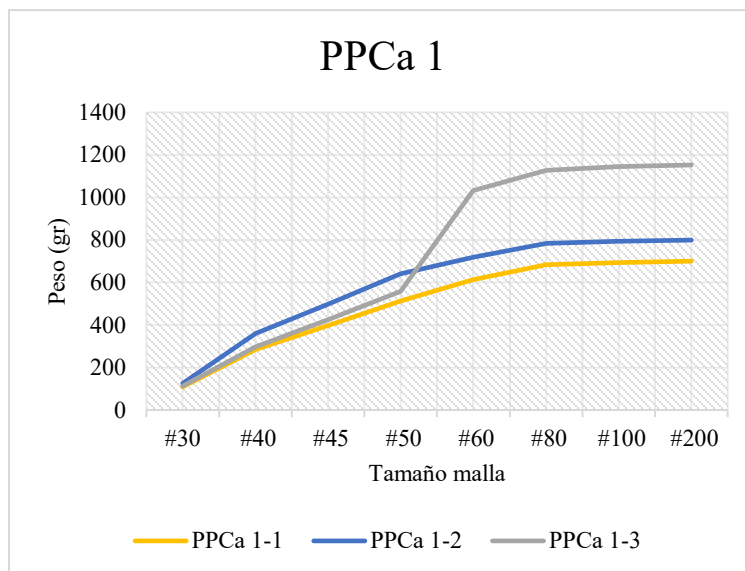


Gráfico 1. Curva de peso acumulada de perfil de verano PPCa.

De manera esquemática, la curva granulométrica del perfil PPCa 1 (Gráfico 2) corresponde a un gráfico semilogarítmico en el que se observa un patrón bastante homogéneo entre las tres muestras (PPCa 1-1, PPCa 1-2 y PPCa 1-3). Las líneas muestran una tendencia paralela, con acumulación predominante en el rango de arenas medias a finas (0,25–0,42 mm), lo que refleja una buena selección y condiciones de transporte similares a lo largo del perfil desde la zona más cercana al mar hasta el sector superior.

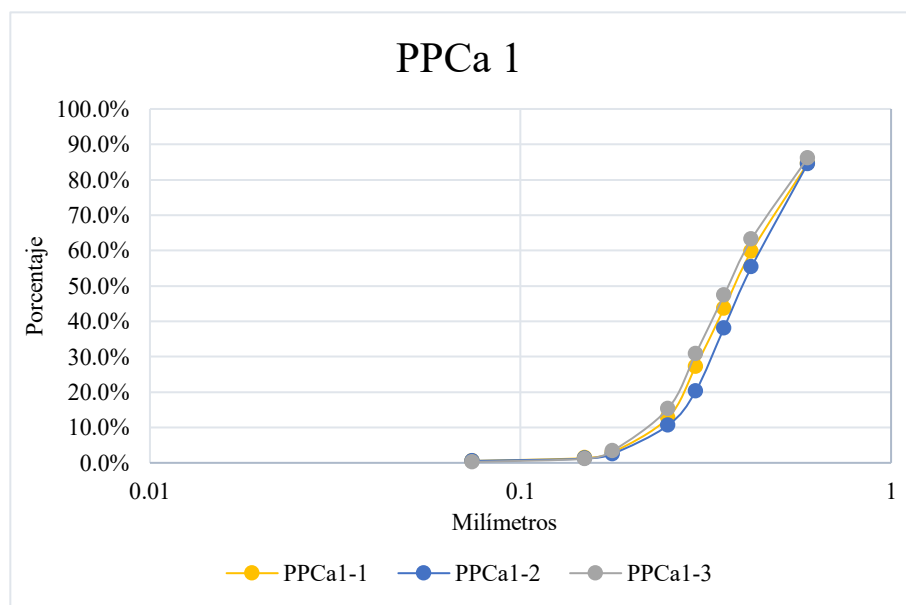


Gráfico 2. Curva granulométrica de perfil de verano PPCa 1.

Las muestras PPCa 1 (Gráfico 3) presentan una clara predominancia de arena media, con valores entre 70 y 74 %, acompañada por una fracción menor de arena gruesa ($\approx 14\text{--}16\%$) y arena fina ($\approx 9\text{--}14\%$). La fracción de arena muy fina es prácticamente residual ($\approx 1\%$) (Tabla 3). Esto indica un sedimento bien seleccionado, propio de condiciones de energía moderada, donde el oleaje deposita material relativamente uniforme.

Tabla 2. Tabla muestra la distribución granulométrica porcentual de las tres submuestras del perfil PPCa 1

	PPCa 1			
	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina
PPCa1-1	15.4%	71.9%	11.4%	1.3%
PPCa1-2	15.6%	73.9%	9.4%	1.2%
PPCa1-3	13.9%	70.7%	14.2%	1.2%

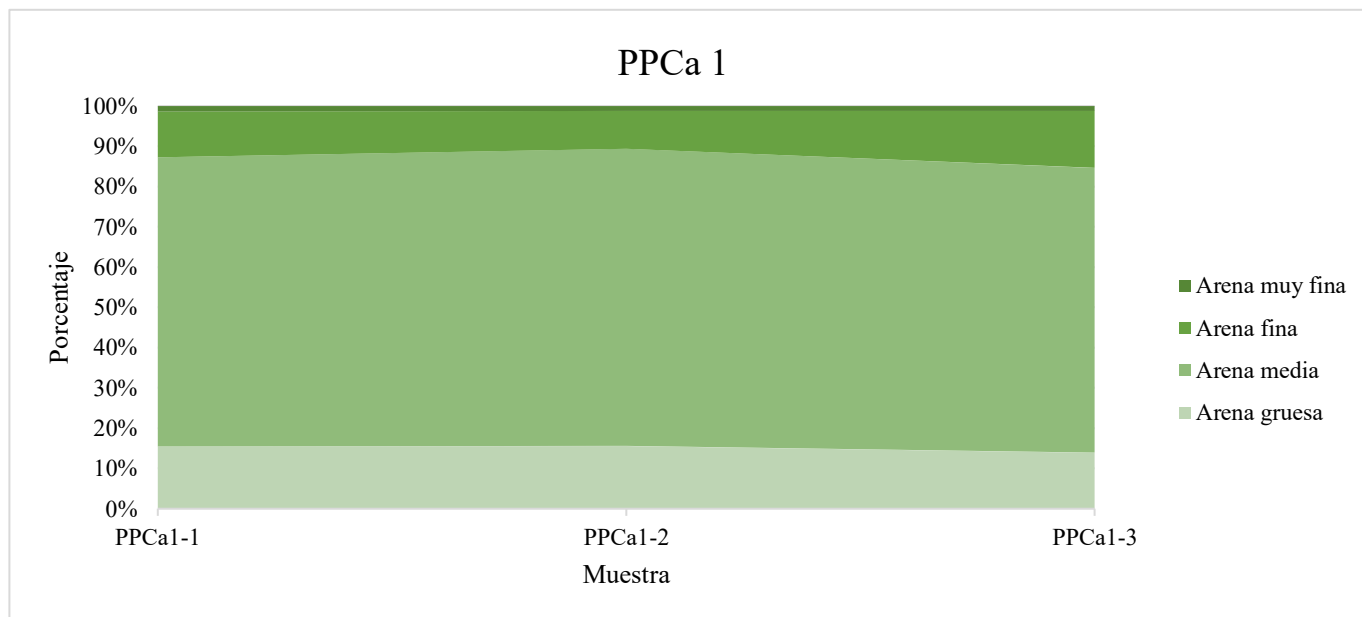


Gráfico 3. Gráfico de áreas apiladas del porcentaje de distintos tipos de clasificaciones de arenas según granulometría del perfil de verano PPCa 1. Se observa una tendencia de arenas tipo media en las 3 muestras colectadas en terreno, sin embargo, en las muestras más distales de la línea de costa se observa una mayor acumulación de arena fina.

Perfil de playa El Canelo N°2 - verano

En el perfil PPCa 2 (Gráfico 4), las curvas presentan ligeras diferencias entre muestras. PPCa 2-1 evidencia un mayor contenido de fracciones gruesas (retención en mallas #30 y #40), mientras que PPCa 2-2 y PPCa 2-3 muestran un incremento progresivo en arenas medias y finas (#50–#100). Esto refleja una distribución heterogénea, con acumulación de material más grueso en la zona más cercana al mar y de sedimentos más finos en sectores más internos de la playa.

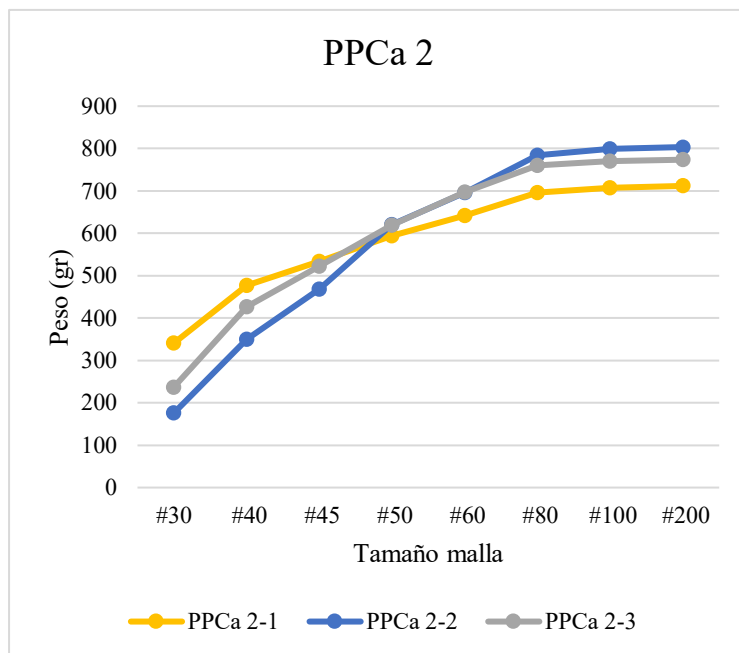


Gráfico 4. Curva de peso acumulada de perfil de verano PPCa 2.

En PPCa 2 (Gráfico 5), las curvas granulométricas exhiben una mayor dispersión entre las muestras. La muestra PPCa 2-2 (zona intermedia) concentra un mayor porcentaje en fracciones medias, mientras que PPCa 2-1 (más próxima al mar) evidencia una mayor proporción de sedimento grueso. Este contraste indica un proceso de selección diferencial, posiblemente asociado a variaciones en la energía del oleaje y al transporte selectivo de material hacia sectores más altos de la playa.

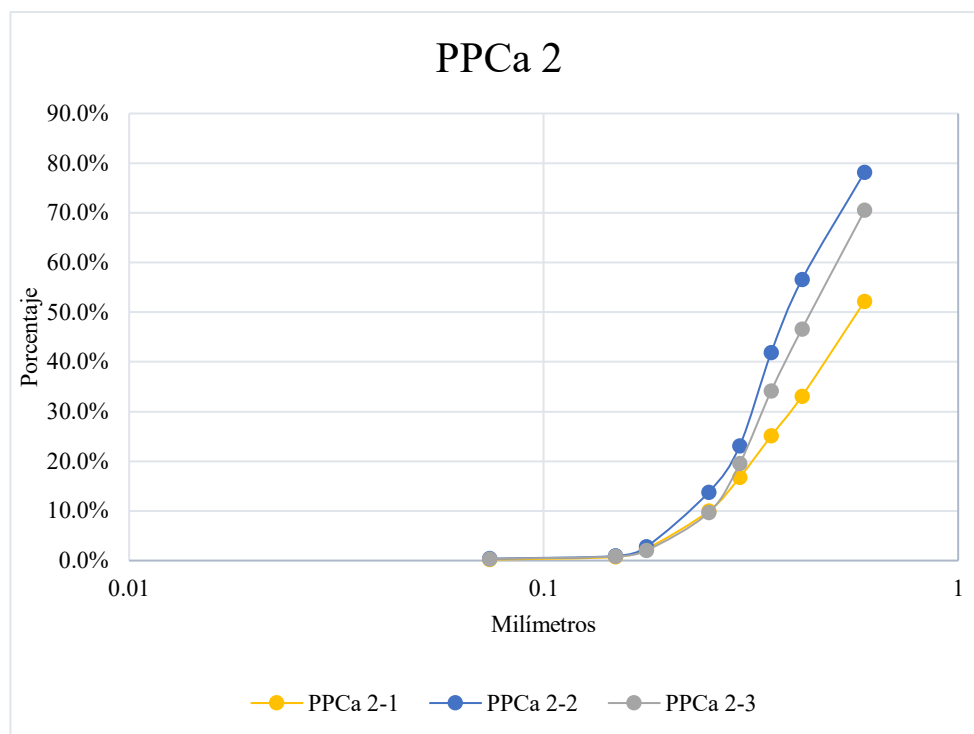


Gráfico 5. Curva granulométrica de perfil de verano PPCa 2.

En el perfil PPCa 2 (Gráfico 6) se observa un patrón granulométrico muy similar al de PPCa 1, con dominio de arena media (70–74 %), aunque con ligeras variaciones en las proporciones de arena fina y gruesa. Las muestras más próximas al mar tienden a contener más arena fina, mientras que las más internas concentran arena media (Tabla 3). Esta distribución refleja un proceso de transporte selectivo, donde la energía del oleaje disminuye hacia la parte alta de la playa.

Tabla 4. Tabla muestra la distribución granulométrica porcentual de las tres submuestras del perfil PPCa 2.

Muestra	PPCa 2			
	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina
PPCa2-1	15.4%	71.9%	11.4%	1.3%
PPCa2-2	15.6%	73.9%	9.4%	1.2%
PPCa2-3	13.9%	70.7%	14.2%	1.2%

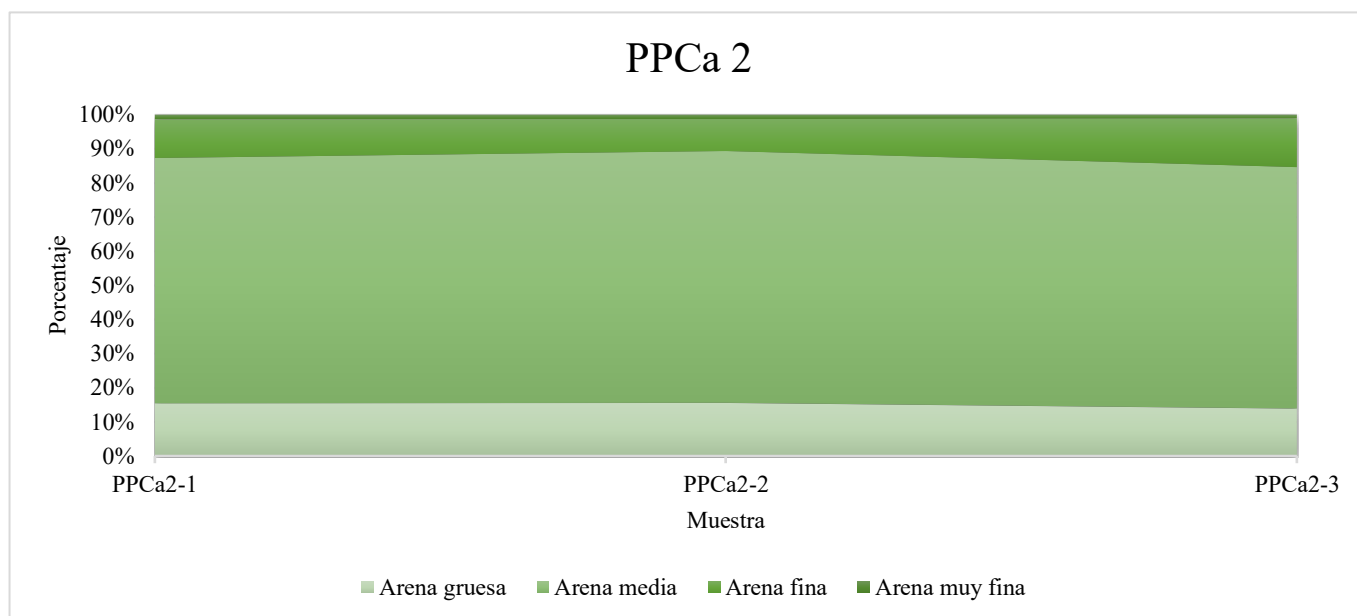


Gráfico 6. Gráfico de áreas apiladas del porcentaje de distintos tipos de clasificaciones de arenas según granulometría del perfil de verano PPCa 2.

Perfil de playa El Canelo N°3 - verano

El perfil PPCa 3 (Gráfico 7) muestra curvas acumuladas relativamente paralelas entre las muestras PPCa 3-2 y PPCa 3-3, que concentran su mayor peso en arenas medias y finas, mientras que PPCa 3-1 presenta una proporción superior de fracciones gruesas retenidas en las mallas iniciales (#30–#40). Esta distribución indica un gradiente textural claro, donde el oleaje deposita arenas más finas en sectores altos de la playa y mantiene materiales gruesos en la zona de rompiente.

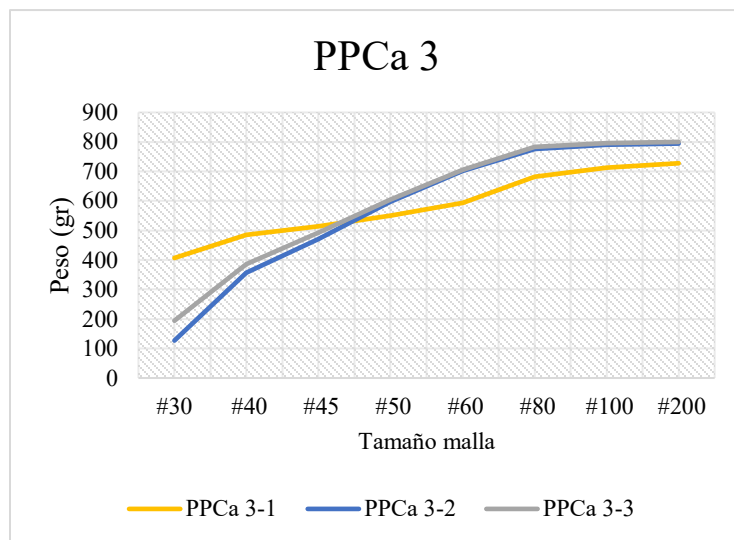


Gráfico 7. Curva de peso acumulada de perfil de verano PPCa 3.

La curva granulométrica del perfil PPCa 3 (Gráfico 8) muestra diferencias más notorias entre las tres muestras. PPCa 3-2 y PPCa 3-3 presentan una tendencia hacia arenas medias bien seleccionadas, mientras que PPCa 3-1 (zona más cercana al mar) refleja un contenido mayor de fracciones gruesas. Esto evidencia que el oleaje deposita materiales más finos hacia la parte alta de la playa, mientras que en el frente costero inmediato se concentra el sedimento más grueso.

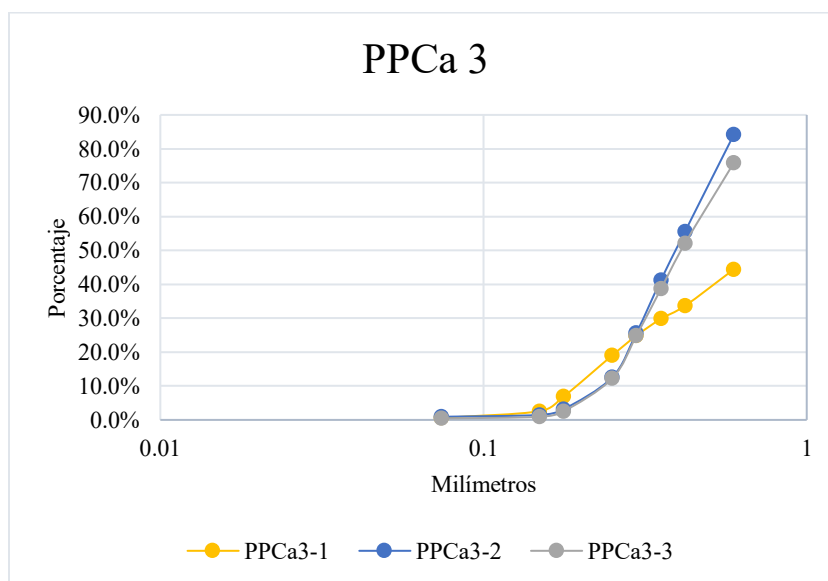


Gráfico 8. Curva granulométrica de perfil de verano PPCa 3.

El perfil PPCa 3 evidencia mayor heterogeneidad (Gráfico 9). La muestra PPCa 3-1, ubicada en el sector más próximo al mar, contiene un alto porcentaje de arena gruesa (55,6 %), con proporciones mucho menores de arena media (25,4 %) y fina (16,4 %). En contraste, PPCa 3-2 y PPCa 3-3 muestran un predominio de arena media (63–71 %), acompañada de fracciones menores de arena gruesa (15–24 %) (Tabla 5). Este contraste señala un gradiente textural donde los sedimentos más gruesos permanecen en la zona de rompiente y los más finos se acumulan en sectores más internos.

Tabla 5. Tabla muestra la distribución granulométrica porcentual de las tres submuestras del perfil PPCa 3.

	PPCa 3			
	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina
PPCa3-1	55.6%	25.4%	16.4%	2.6%
PPCa3-2	15.8%	71.6%	11.1%	1.5%
PPCa3-3	24.2%	63.6%	11.3%	0.9%

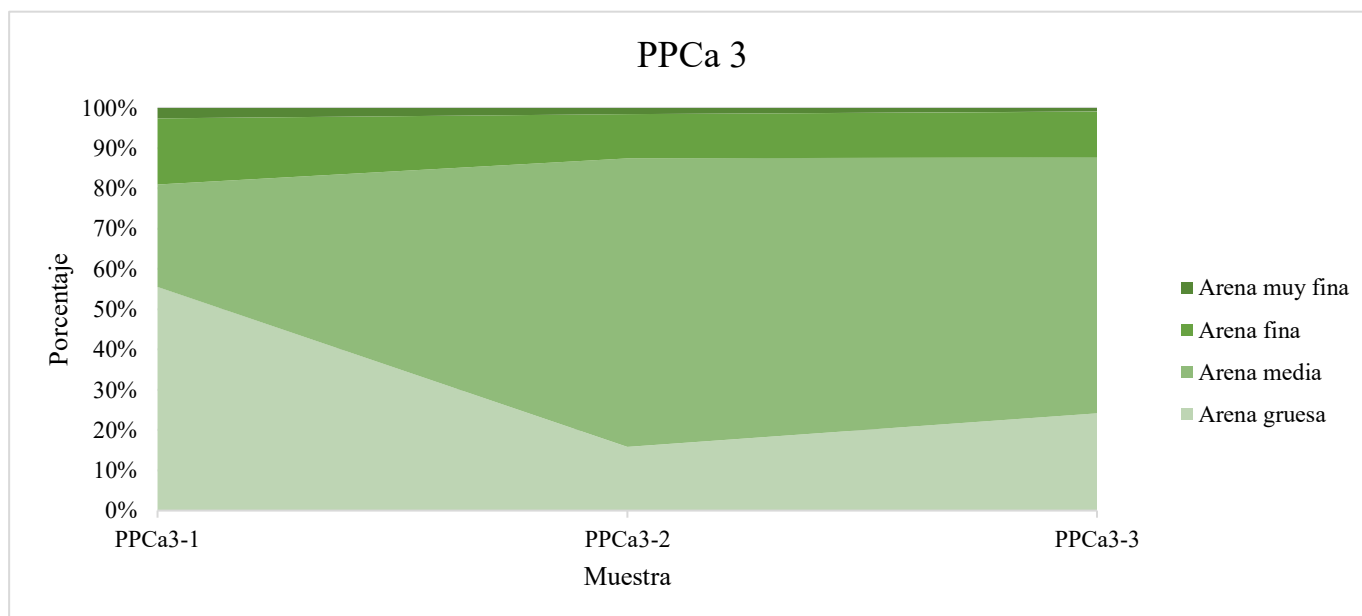


Gráfico 9. Gráfico de áreas apiladas del porcentaje de distintos tipos de clasificaciones de arenas según granulometría del perfil de verano PPCa 3.

Perfil de playa Cofradía Náutica N°1 – verano

En el gráfico n°10 se observa las curvas acumuladas del perfil PPCo 1, fue necesario utilizar mallas adicionales (#10, #20 y #25) debido al gran tamaño de grano observado. Las curvas muestran que la mayor proporción de material se concentra en fracciones muy gruesas a gravosas (>1 mm), particularmente en las muestras PPCo 1-1 y PPCo 1-4. Las muestras más internas (PPCo 1-2 y PPCo 1-3) presentan una selección ligeramente mejor, aunque siguen dominadas por arenas gruesas.

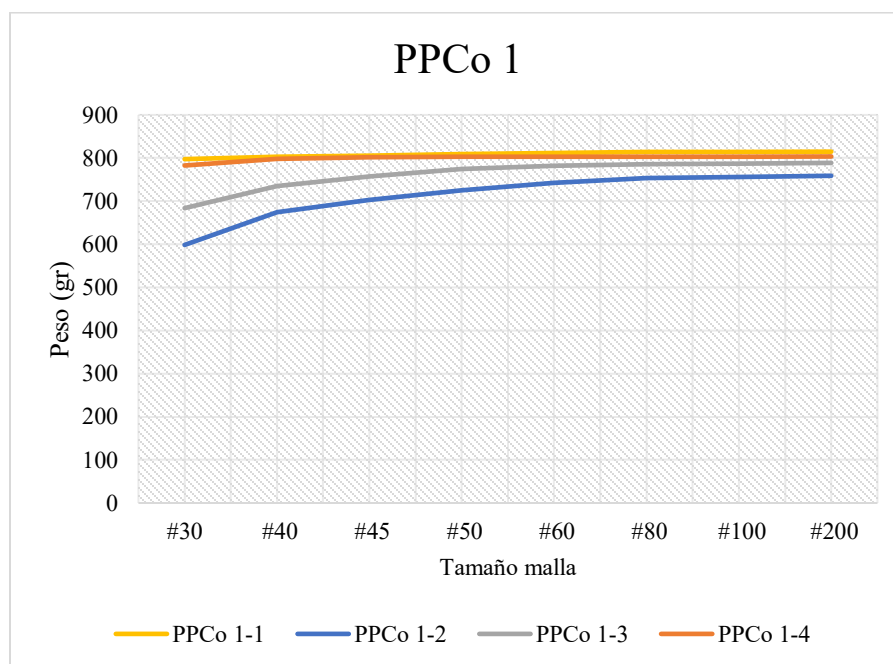


Gráfico 10. Curva de peso acumulada de perfil de verano PPCo 1.

En el caso del perfil PPCo 1 (Gráfico 11), las curvas presentan una marcada inclinación hacia granulometrías más gruesas en comparación con los perfiles de El Canelo. Se aprecia una acumulación importante en tamaños superiores a 1 mm, especialmente en la muestra PPCo 1-1 cercana al mar. Las muestras más alejadas (PPCo 1-2 y PPCo 1-3) muestran una mejor selección hacia arenas medias, aunque con presencia de fracciones gruesas residuales.

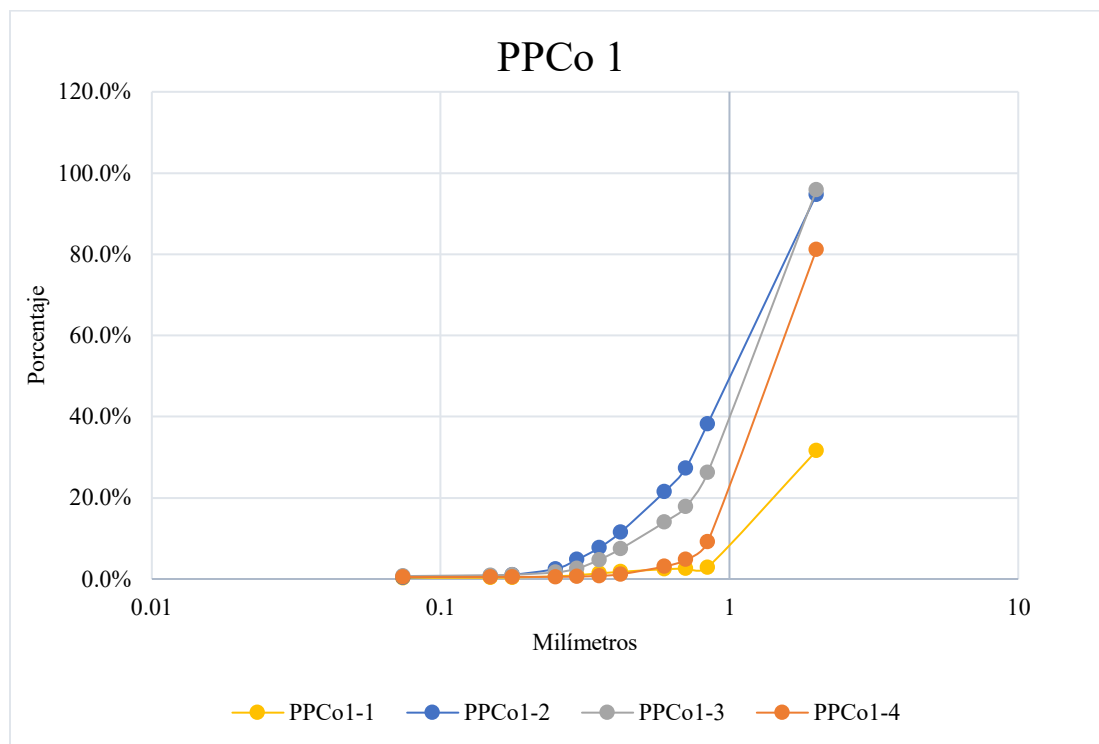


Gráfico 11. Curva granulométrica de perfil de verano PPCo 1.

En la Cofradía Náutica el escenario es completamente distinto. La muestra PPCo 1-1 se compone principalmente de gravas (68,4 %) y arena gruesa (29,1 %), mientras que en PPCo 1-2, PPCo 1-3 y PPCo 1-4 predomina la arena gruesa (73–82 %), acompañada de proporciones menores de arena media (Gráfico 12). Las fracciones finas son prácticamente inexistentes (<3 %) (Tabla 6). Este patrón refleja un ambiente de alta energía, en el que la acción del oleaje impide la acumulación de arenas finas, favoreciendo la permanencia de materiales gruesos y gravas.

Tabla 6. Tabla muestra la distribución granulométrica porcentual de las 4 submuestras del perfil PPCo 1.

Muestra	PPCo 1				
	Gravilla	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina
PPCo-1	68.4%	29.1%	1.8%	0.3%	0.0%
PPCo1-2	5.3%	73.3%	19.0%	1.8%	0.7%
PPCo1-3	4.2%	81.8%	12.3%	0.7%	0.9%
PPCo1-4	18.9%	78.0%	2.6%	0.0%	0.5%

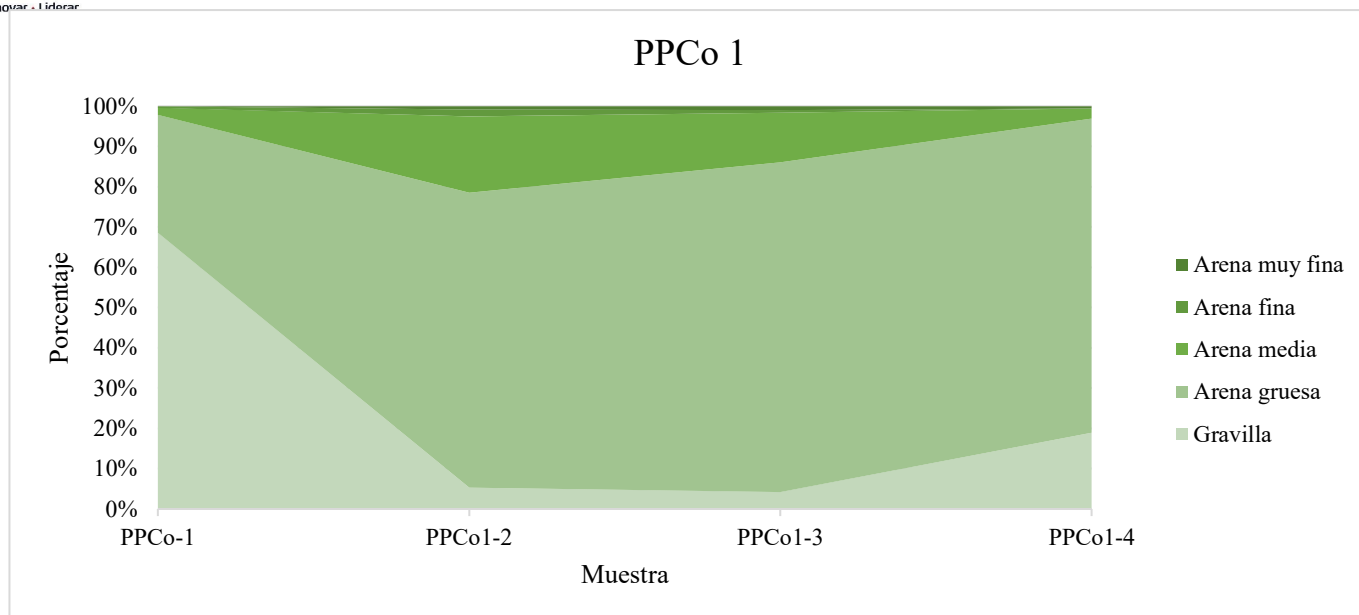


Gráfico 12. Gráfico de áreas apiladas del porcentaje de distintos tipos de clasificaciones de arenas según granulometría del perfil de verano PPCo 1.

5.2.2 Invierno

Perfil de playa El Canelo N°1 - invierno

En el perfil PPCa 1 (Gráfico 13) se aprecia un contraste claro entre las dos muestras analizadas. PPCa 1-1 mantiene un mayor peso en las fracciones gruesas, retenidas principalmente en las primeras mallas (#30–#45), mientras que PPCa 1-2 alcanza valores más elevados en mallas finas, sobrepasando los 700 g en la #80. Esto refleja una distribución bimodal en la que la acción del oleaje invernal concentró arenas gruesas en la zona de rompiente, al tiempo que transportó sedimento más fino hacia la parte superior del perfil.

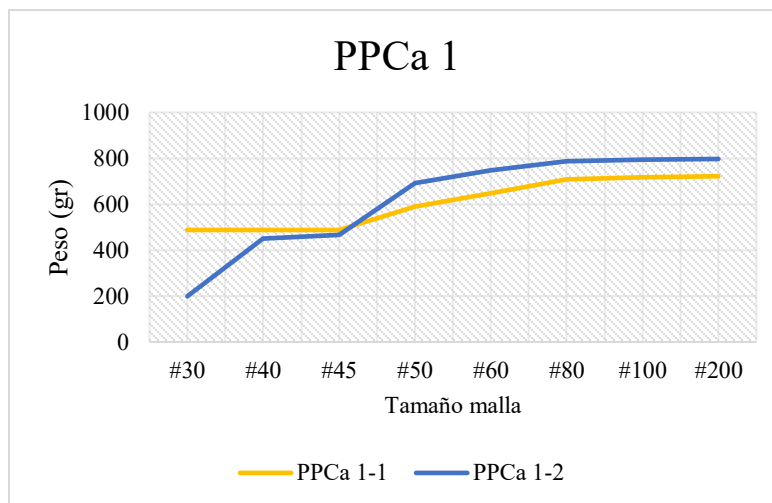


Gráfico 13. Curva de peso acumulada de perfil de invierno PPCa 1.

De manera esquemática, la curva granulométrica del perfil PPCa 1 presenta diferencias entre las muestras PPCa 1-1 y PPCa 1-2. La primera muestra concentra un mayor porcentaje en arenas medias, mientras que PPCa 1-2 muestra un incremento progresivo hacia fracciones más finas, superando el 70 % en torno a 0,25 mm. Esto indica que el temporal invernal redistribuyó el material, dejando sectores con sedimento más fino y mejor seleccionado en comparación con verano (Gráfico 14).

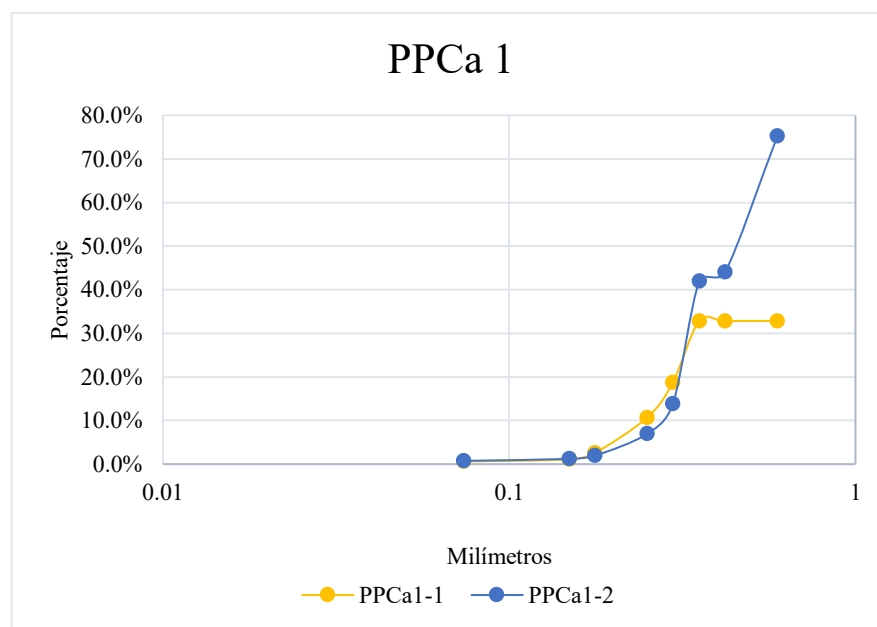


Gráfico 14. Curva granulométrica de perfil de invierno PPCa 1.

En invierno, el perfil PPCa 1 (Tabla 7) muestra un contraste marcado entre ambas muestras: PPCa1-1 está dominada por arena gruesa (67,2 %), mientras que en PPCa1-2 predomina la arena media (68,3 %). La fracción fina es reducida en ambos casos (<10 %) y la arena muy fina apenas alcanza un 1 %. Esta transición evidencia un gradiente energético dentro del perfil (Gráfico 5), donde el oleaje deposita sedimento más grueso en la zona baja de playa y favorece la retención de fracciones medias hacia el sector más interno.

Tabla 7. Tabla muestra la distribución granulométrica porcentual de las 2 submuestras del perfil PPCa 1.

	PPCa 1			
	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina
PPCa1-1	67.2%	22.2%	9.6%	1.1%
PPCa1-2	24.8%	68.3%	5.7%	1.2%

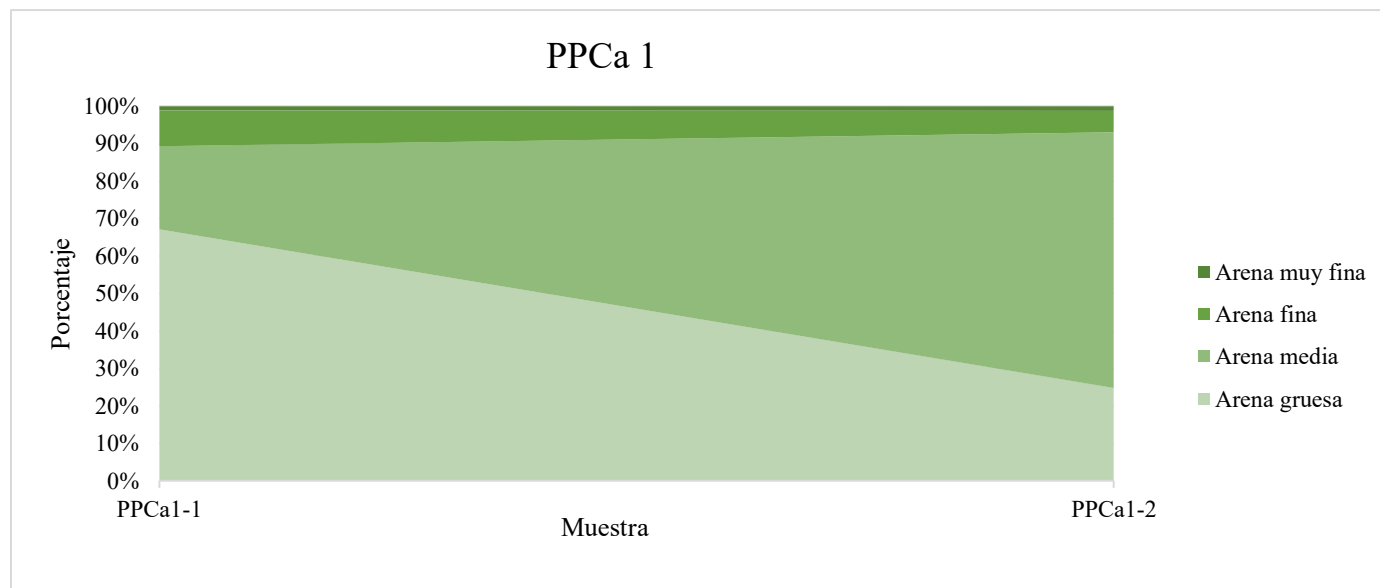


Gráfico 15. Gráfico de áreas apiladas del porcentaje de distintos tipos de clasificaciones de arenas según granulometría del perfil de invierno PPCa 1.

Perfil de playa El Canelo N°2 - invierno

Las curvas acumuladas de PPCa 2 (Gráfico 16) son más homogéneas entre sí, aunque se observa una diferencia progresiva en la tendencia: la muestra PPCa 2-1 evidencia un predominio de fracciones gruesas en las primeras mallas, mientras que PPCa 2-2 y PPCa 2-3 marcan un incremento sostenido en las fracciones medias y finas. Esta disposición indica que el perfil central de El Canelo responde a un patrón de energía intermedia, con el oleaje seleccionando y redistribuyendo el material según la altura del perfil, generando una transición entre arenas gruesas en la base y arenas medias en sectores más interiores.

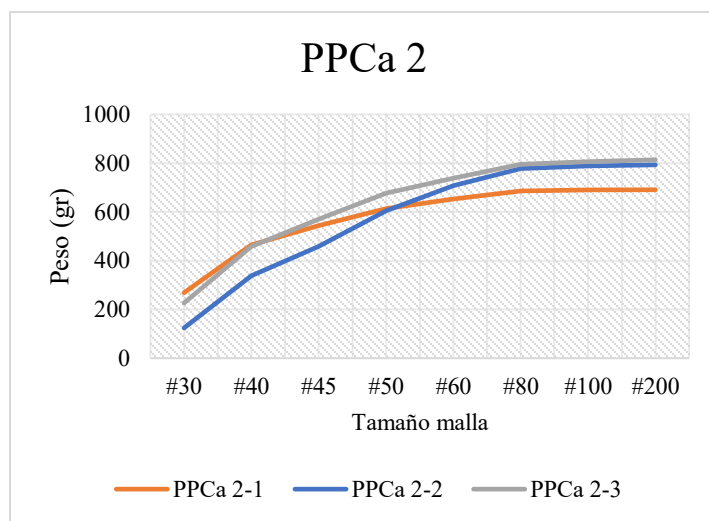


Gráfico 16. Curva de peso acumulada de perfil de invierno PPCa 2.

El perfil PPCa 2 (Gráfico 17) evidencia curvas con una tendencia bastante similar entre las tres muestras (PPCa 2-1, PPCa 2-2 y PPCa 2-3), aunque con pequeñas variaciones. La muestra más cercana al mar (PPCa 2-1) muestra mayor contenido de fracciones gruesas, mientras que las otras dos tienden hacia una mayor acumulación de arenas medias y finas. Este patrón sugiere un

transporte diferencial en el perfil, en el que el oleaje de invierno arrastra fracciones finas hacia la parte alta de la playa.

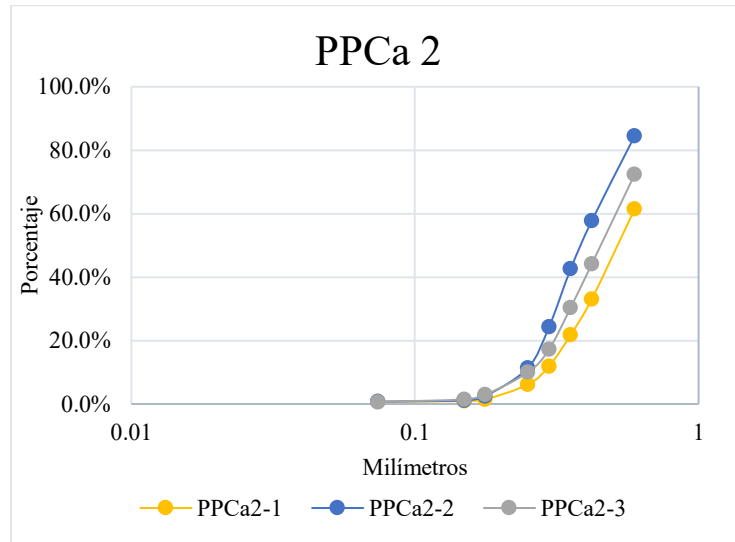


Gráfico 17. Curva granulométrica de perfil de invierno PPCa 2.

Las tres muestras del perfil PPCa 2 presentan una composición más equilibrada (Gráfico 18), aunque con variaciones notables. La muestra PPCa2-1 contiene un 38,6 % de arena gruesa, en tanto que PPCa2-2 se caracteriza por una mayor proporción de arena media (73,1 %) y PPCa2-3 se ubica en una posición intermedia, con un 27,7 % de arena gruesa y 62,4 % de arena media (Tabla 8). Estas diferencias reflejan un patrón de selección lateral, asociado al transporte invernal que concentra material grueso en los sectores más expuestos y sedimento medio hacia áreas más protegidas del perfil.

Tabla 8. Tabla muestra la distribución granulométrica porcentual de las 3 submuestras del perfil PPCa 2.

Muestra	PPCa 2			
	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina

PPCa2-1	38.6%	55.3%	5.2%	0.9%
PPCa2-2	15.5%	73.1%	10.2%	1.1%
PPCa2-3	27.7%	62.4%	8.5%	1.5%

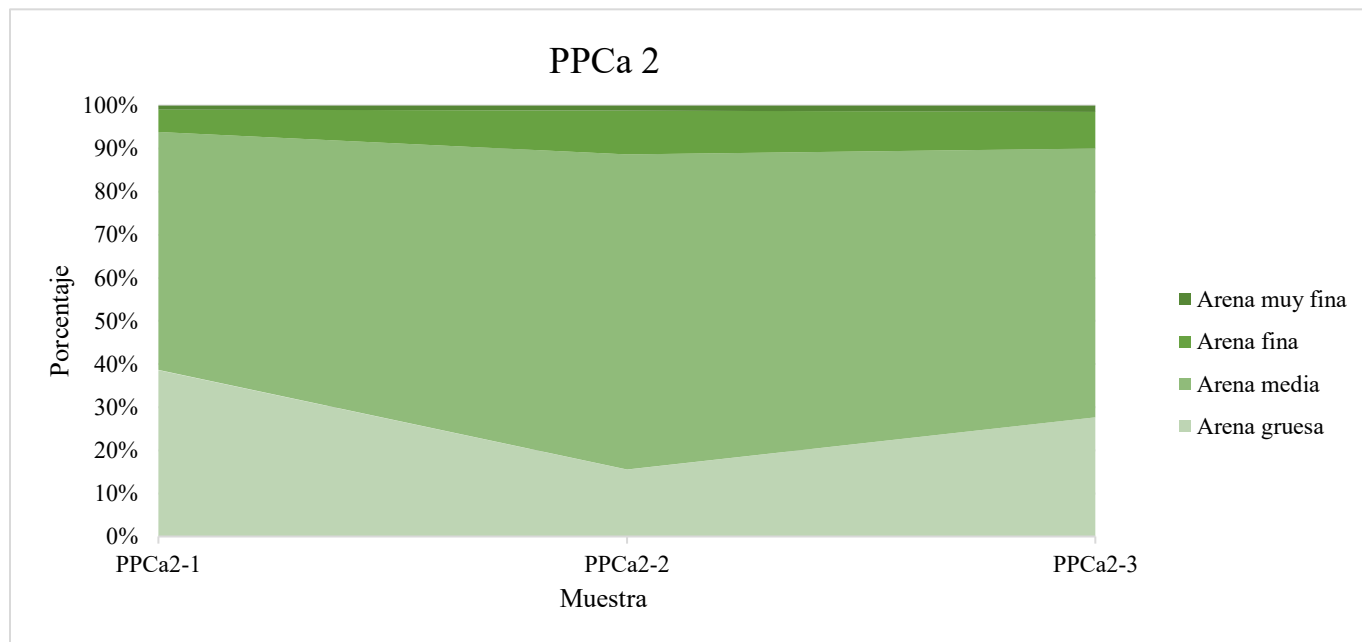


Gráfico 18. Gráfico de áreas apiladas del porcentaje de distintos tipos de clasificaciones de arenas según granulometría del perfil de invierno PPCa 2.

Perfil de playa El Canelo N°3 - invierno

En el gráfico n°19, que corresponde a las muestras del perfil de playa N°3 de El Canelo en invierno se observa una mayor dispersión entre las tres curvas. La muestra más cercana al mar (PPCa 3-1) concentra gran parte del material en mallas gruesas (#30-#40), mientras que PPCa 3-2 y PPCa 3-3 presentan una acumulación más marcada en mallas finas (#80-#200). Esta diferencia resalta un gradiente textural asociado a la dinámica invernal: el oleaje deposita arenas gruesas en el frente costero y, a medida que pierde energía hacia el interior, deja sedimentos más finos mejor seleccionados.

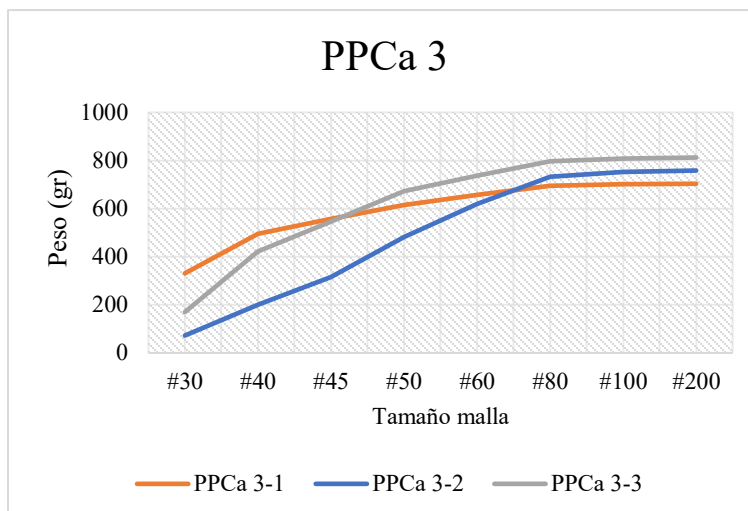


Gráfico 19. Curva de peso acumulada de perfil de invierno PPCa 3.

En el perfil PPCa 3 (Gráfico 20) las curvas reflejan una marcada separación entre la muestra más cercana al mar (PPCa 3-1), que concentra arenas más gruesas, y las ubicadas en sectores más altos (PPCa 3-2 y PPCa 3-3), que muestran una mejor selección hacia arenas medias. La diferencia en pendiente entre las curvas indica que el sedimento fue redistribuido por acción del oleaje, dejando un perfil con mayor heterogeneidad granulométrica que en verano.

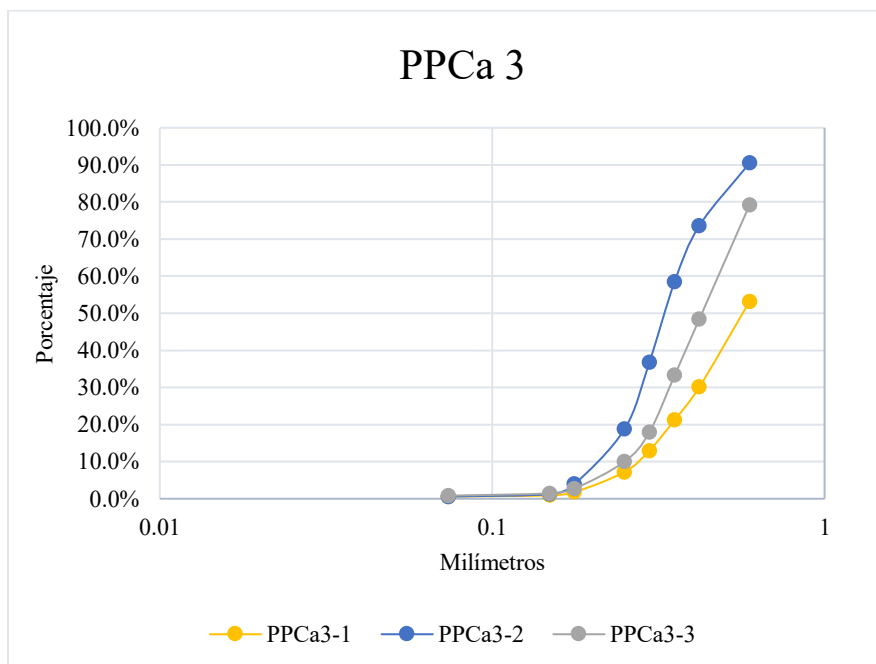


Gráfico 20. Curva granulométrica de perfil de invierno PPCa 3.

El perfil PPCa 3 muestra la mayor variabilidad textural de El Canelo en invierno. PPCa3-1 contiene casi la mitad de su composición en arena gruesa (46,8 %), mientras que PPCa3-2 está dominada por arena media (71,8 %) y un porcentaje elevado de arena fina (17,5 %), siendo la muestra con mayor fracción fina de todo el conjunto (Tabla 9). Por su parte, PPCa3-3 combina un 20,8 % de arena gruesa y 69,3 % de arena media. Este comportamiento sugiere una distribución heterogénea producto de temporales, en donde sectores de alta energía concentran material grueso y otras áreas acumulan fracciones medias y finas transportadas tierra adentro (Gráfico 21).

Tabla 9. Tabla muestra la distribución granulométrica porcentual de las 3 submuestras del perfil PPCa 3.

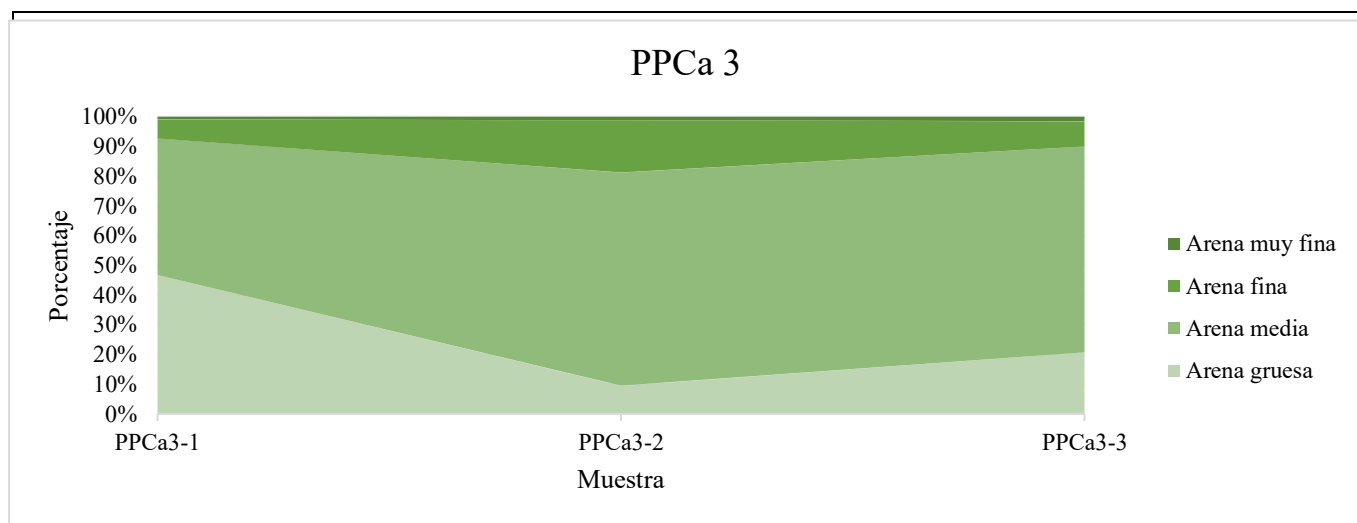


Gráfico 21. Gráfico de áreas apiladas del porcentaje de distintos tipos de clasificaciones de arenas según granulometría del perfil de invierno PPCa 3.

Perfil de playa Cofradía Náutica N°1 - invierno

Las curvas de la Cofradía Náutica (Gráfico 21) muestran un comportamiento muy distinto al de El Canelo. La mayoría del material se concentra de manera abrupta en las mallas más gruesas (#10 y #20), alcanzando rápidamente más de 800 g, mientras que en el resto de las mallas apenas se registra variación.

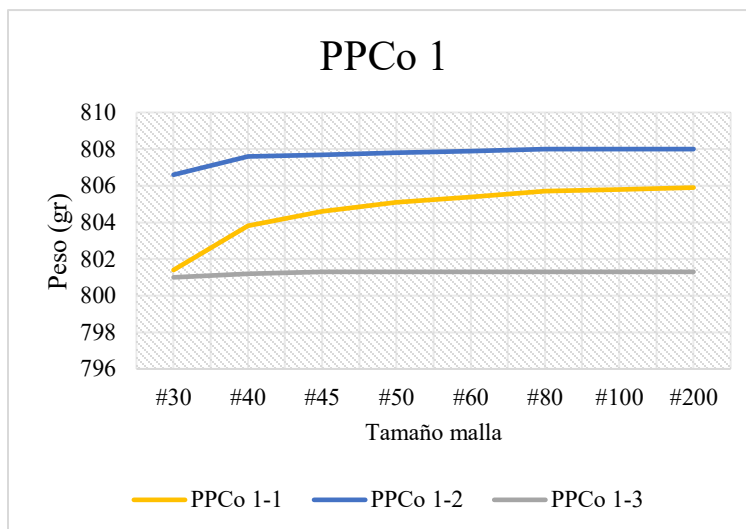


Gráfico 22. Curva de peso acumulada de perfil de invierno PPCo 1.

En el perfil de la Cofradía Náutica, las curvas granulométricas de invierno son claramente distintas a las de El Canelo. Todas las muestras en el gráfico n°22 presentan una fuerte concentración de sedimento en fracciones muy gruesas, superiores a 1 mm, alcanzando hasta un 100 % de acumulación en las muestras más próximas al mar (PPCo 1-1 y PPCo 1-2).

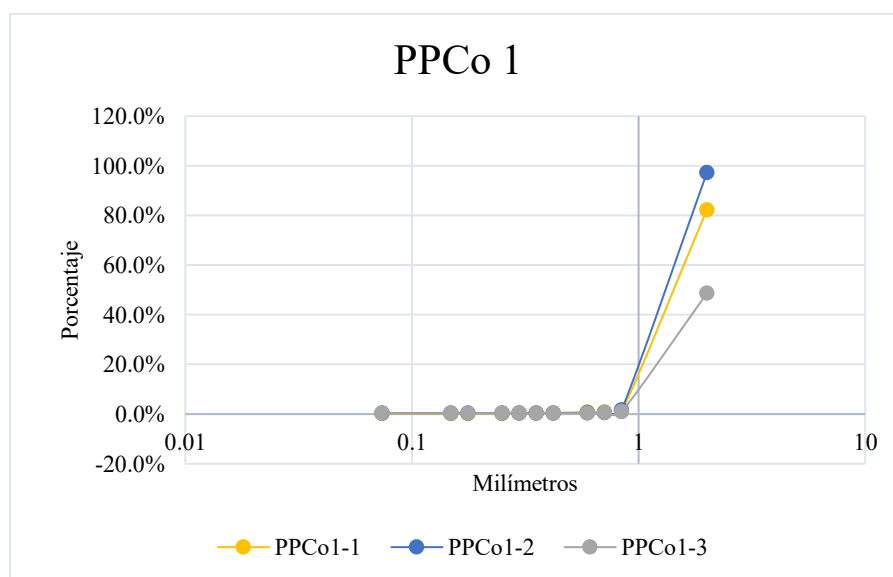
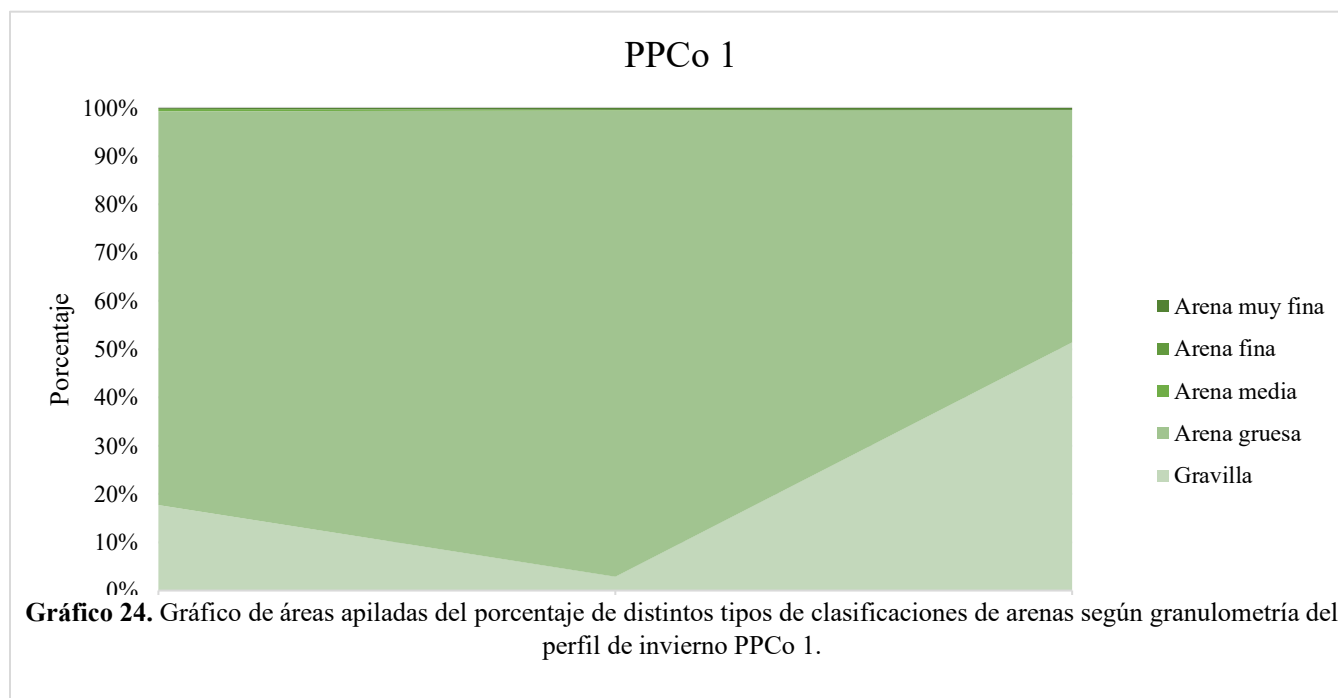


Gráfico 23. Curva granulométrica de perfil de invierno PPCo 1.

En la Cofradía Náutica se observa un escenario distinto, dominado por sedimentos mucho más gruesos. PPCo1-1 presenta una mezcla de gravilla (17,7 %) y arena gruesa (81,6 %), mientras que PPCo1-2 está casi completamente compuesta por arena gruesa (96,6 %). En PPCo1-3, la gravilla alcanza valores muy altos (51,4 %), reduciendo la proporción de arena gruesa a 48,2 % (Tabla 10). La ausencia casi total de fracciones medias y finas (<1 %) confirma que se trata de un ambiente de alta energía, donde las marejadas invernales remueven el material fino y sólo permanecen arenas gruesas y gravas (Gráfico 24).

Tabla 10. Muestra la distribución granulométrica porcentual de las 3 submuestras del perfil PPCo 1.

Muestra	PPCo 1				
	Gravilla	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina
PPCo1-1	17.7%	81.6%	0.5%	0.0%	0.2%
PPCo1-2	2.9%	96.6%	0.1%	0.0%	0.4%
PPCo1-3	51.4%	48.2%	0.0%	0.0%	0.3%



Los resultados obtenidos muestran patrones estacionales consistentes con la dinámica litoral descrita en la literatura. En la playa El Canelo, durante el verano predominan las arenas medias bien seleccionadas (70–74 %), lo que concuerda con ambientes de oleaje de baja energía en los que se favorece la deposición y acumulación sedimentaria (Wright & Short, 1984; Masselink & Short, 1993). En contraste, en invierno se observa una redistribución marcada: los perfiles presentan un incremento relativo en la proporción de arenas gruesas (hasta 67 % en PPCa1-1) y una disminución de fracciones medias y finas, reflejando la acción de marejadas de alta energía que movilizan y remueven el material más fino (Davidson-Arnott, 2010). Estos cambios estacionales demuestran la naturaleza cuasi-cíclica de erosión y acreción de la playa, donde el sedimento es transportado hacia sectores más internos o mar adentro durante el invierno y reinyectado hacia el perfil durante el verano (Komar, 1998).

Por otra parte, el perfil de la Cofradía Náutica presenta un comportamiento distintivo, dominado en ambas estaciones por arenas gruesas y gravas (hasta 68 % de gravilla en PPCo1-1 y 96,6 % de arena gruesa en PPCo1-2). Esta predominancia de fracciones muy gruesas es típica de ambientes de alta energía, donde el oleaje erosivo impide la retención de sedimentos finos (Nicholls & Cazenave, 2010; Villagrán et al., 2022). A diferencia de El Canelo, donde se observa una clara variabilidad estacional, la Cofradía muestra una relativa constancia en la dominancia de arenas gruesas, lo que indica que su dinámica sedimentaria está fuertemente condicionada por la exposición directa al oleaje y la limitada capacidad de retención de fracciones más finas. Esto concuerda con lo señalado por Bird (2008), quien describe a las playas más expuestas como sistemas frágiles y dependientes de la energía del oleaje, propensos a perder sedimento fino y estabilizarse únicamente con granulometrías gruesas.

5.3 Descripción de muestras

Con el fin de evitar redundancias y destacar los contrastes más significativos, se presentan únicamente los resultados correspondientes a las muestras tomadas en los extremos de cada perfil. Estas posiciones representan con mayor claridad las variaciones granulométricas y composicionales, ya que el supralitoral refleja procesos de acumulación asociados a transporte

eólico o eventos de alta energía, mientras que el sublitoral se encuentra condicionado por la acción del oleaje y corrientes marinas. De esta manera, la síntesis expuesta permite visualizar de manera más precisa las diferencias entre estaciones y sectores de la bahía (Tarbuck & Lutgens, 2005).

5.3.1 Verano

Perfil de playa El Canelo N°1 – verano

La muestra PPCa 1-1 presenta una selección media a buena, con granos de esfericidad media y redondez subangulosa, lo que indica un transporte moderado y no excesivamente prolongado. Su composición mineralógica está dominada por cuarzo (55%), seguido de feldespato (20%) y carbonatos (15%), además de menores proporciones de líticos (7%), biotita (2%) y magnetita (1%). La alta proporción de cuarzo refleja un grado de madurez textural medio, mientras que la presencia importante de feldespato y líticos apunta a una fuente cercana de rocas ígneas y metamórficas, probablemente vinculadas al batolito costero (Gana & Tosdal, 1996). Los carbonatos sugieren un aporte biogénico, característico de la zona sublitoral con influencia marina directa.

En contraste, la muestra PPCa 1-3 exhibe una mejor selección (buena), manteniendo granos de esfericidad media y redondez subangulosa. Su composición muestra un contenido de cuarzo más bajo (45%), acompañado de líticos (20%), feldespato (20%), carbonatos (9%) y una proporción más elevada de biotita (3%) y magnetita (3%) respecto a PPCa 1-1. Esta distribución mineralógica evidencia una influencia más marcada de fuentes ígneas locales, dado el mayor porcentaje de minerales máficos (biotita y magnetita), y un aporte carbonático menor, posiblemente relacionado con la ubicación específica de la muestra dentro del perfil, más expuesta a la dinámica del oleaje (Carter, 1988).

Perfil de playa El Canelo N°2 – verano

La muestra PPCa 2-1 presenta una selección media a mala, con granos de esfericidad media y redondez subangulosa. Su composición mineralógica está dominada por cuarzo (45%), acompañado de líticos (22%) y un alto porcentaje de carbonatos (17%), además de feldespato (14%), y menores proporciones de biotita (1%) y magnetita (1%). Según Folk (1974) y Pettijohn et al. (1987) la abundancia de cuarzo refleja una cierta madurez textural típica de ambientes de alta energía, mientras que el elevado contenido de carbonatos se asocia a aportes biogénicos propios de ambientes marinos activos (Carter, 1988).

Por su parte, la muestra PPCa 2-3 muestra también una selección media a mala, con granos de esfericidad media y redondez subangulosa, pero difiere en su composición: mantiene el cuarzo en 45%, pero con un mayor contenido de feldespato (23%) y magnetita (5%), junto a menores proporciones de líticos (15%), carbonatos (10%) y biotita (2%).

Perfil de playa El Canelo N°3 – verano

La muestra PPCa 3-1 se caracteriza por una selección media a mala, con granos de esfericidad media y redondez subangulosa. Su composición incluye un 40% de cuarzo, junto con proporciones relevantes de feldespato (22%) y líticos (20%), además de carbonatos (10%), y menores porcentajes de biotita (5%) y magnetita (3%). La presencia de carbonatos confirma un componente marino, aunque en menor proporción que en otros perfiles de la bahía.

En contraste, la muestra PPCa 3-3 presenta una mejor selección (buena) y una esfericidad alta, manteniendo la redondez subangulosa. La composición mineralógica está dominada por cuarzo (35%), con valores notables de líticos (25%) y feldespatos (20%), además de carbonatos (10%), magnetita (5%) y biotita (5%). A diferencia de PPCa 3-1, aquí destaca una mayor madurez textural, lo que indica un retrabajo sedimentario más intenso (Folk, 1974; Pettijohn et al., 1987).

Perfil Cofradía Náutica N°1 – verano

La muestra PPCo 1-1 se compone principalmente de cuarzo (40%), feldespato (25%) y líticos (20%), con un 13% de carbonatos y trazas menores de magnetita y biotita (1% cada uno).

Presenta mala selección y granos de esfericidad media y redondez subangulosa, lo que indica un transporte limitado y una depositación poco uniforme.

En la muestra PPCo 1-4, en cambio, se incrementa la proporción de cuarzo (45%) y líticos (23%), mientras que el feldespato (20%) y los carbonatos (10%) muestran una disminución respecto a la muestra basal. Su selección, aunque sigue siendo media a mala, es algo más homogénea que en PPCo 1-1.

Los perfiles levantados en El Canelo y la Cofradía Náutica del Pacífico durante el verano evidencia un patrón común, caracterizado por un predominio de arenas cuarzosas con variaciones significativas en la proporción de feldespatos, líticos y carbonatos. En ambas playas, las zonas más próximas al sublitoral muestran mayor presencia de carbonatos, asociados a aportes biogénicos provenientes de organismos marinos y fragmentos de conchas, mientras que hacia el supralitoral aumenta la concentración de feldespatos, líticos y minerales pesados, lo que refleja una mayor influencia terrígena vinculada al batolito costero de la Cordillera de la Costa (Gana & Tosdal, 1996; Leyton et al., 2010).

No obstante, existen diferencias notables entre ambas playas. En El Canelo, las muestras presentan una mejor selección en comparación con la Cofradía, lo que sugiere un retrabajo sedimentario más intenso y un ambiente más expuesto a la dinámica del oleaje, favoreciendo la redistribución de fracciones finas y la homogenización granulométrica. En cambio, la Cofradía Náutica exhibe sedimentos más heterogéneos y de peor selección, con un mayor contenido de feldespatos y líticos, lo que indica un aporte directo y poco retrabajado de fuentes cercanas, coherente con su menor extensión y con la topografía más abrupta de su entorno inmediato.

Mientras El Canelo actúa como un sistema más abierto y dinámico, donde el oleaje promueve la selección y concentración de cuarzo y carbonatos, la Cofradía Náutica refleja un ambiente más restringido y con fuerte impronta continental. Estos contrastes responden a lo

señalado por Komar (1998), quienes destacan que la morfodinámica de playas arenosas está fuertemente condicionada por la energía del oleaje, la topografía local y la disponibilidad de fuentes sedimentarias. Asimismo, la coexistencia de aportes marinos y continentales reafirma lo planteado por Carter (1988), en cuanto a que los sistemas de playa constituyen ambientes mixtos donde convergen procesos oceánicos y continentales.

5.3.2 Invierno

Perfil de playa El Canelo N°1 – invierno

En la muestra PPCa 1-1, los resultados revelan un predominio de cuarzo (45%), seguido de proporciones similares de feldespato (20%) y líticos (20%), con un aporte relevante de carbonatos (13%) y trazas de magnetita y biotita (1% cada uno).

En la muestra PPCa 1-2, la atención se centra en la textura: la selección es media a buena, con granos de esfericidad intermedia y subangulosidad, rasgos que indican un retrabajo mayor respecto a la muestra anterior. Composicionalmente, el cuarzo disminuye levemente hasta un 40%, mientras que el feldespato aumenta al 30%, acompañado de líticos (20%) y un contenido menor de carbonatos (8%).

Perfil de playa El Canelo N°2 – invierno

En la muestra PPCa 2-1 sobresale un 45% de cuarzo, acompañado por feldespato (25%), líticos (18%) y una fracción de carbonatos (10%), además de trazas de magnetita y biotita (1% cada una). La selección es media a buena y los granos presentan esfericidad media y bordes subangulosos, lo que evidencia un transporte moderado.

El sedimento analizado en la muestra PPCa 2-3 se distingue por una selección media a buena, con granos de esfericidad intermedia y bordes subangulosos, rasgos que reflejan un

transporte moderado donde los clastos han sufrido abrasión parcial pero aún conservan aristas originales. En cuanto a su composición, el cuarzo alcanza un 40%, constituyéndose como el mineral predominante, seguido de feldespato (25%) y fragmentos líticos (18%). Se reconocen también carbonatos (9%), asociados probablemente a restos biogénicos marinos, junto con una proporción minoritaria de minerales pesados como biotita (5%) y magnetita (3%).

Perfil de playa El Canelo N°3 – invierno

En PPCa 3-1 predominan los granos de cuarzo (43%), seguidos por feldespato (25%) y líticos (20%), además de carbonatos (10%) y pequeñas fracciones de magnetita y biotita (1% cada uno). La textura evidencia una selección media a mala, con granos de esfericidad media y bordes subangulosos. Este conjunto mineralógico y textural indica un sedimento donde el aporte terrígeno es relevante, especialmente por la abundancia de feldespatos y líticos, pero que también conserva una señal marina a través de los carbonatos.

La muestra PPCa 3-3, en cambio, mantiene composiciones similares aunque con variaciones notables: el cuarzo desciende a 40%, mientras que el feldespato asciende a 27% y los líticos disminuyen a 16%. Se conserva un 10% de carbonatos, pero aumenta la biotita (5%), con magnetita en proporciones bajas (1%). Texturalmente, presenta una esfericidad media a baja y una selección también media a mala, lo que sugiere condiciones de transporte menos eficientes y una depositación más irregular.

Perfil Cofradía Náutica N°1 – invierno

En la muestra PPCo 1-1 se observa una selección deficiente (mala a muy mala), con clastos de esfericidad media a alta y redondez subangulosa. El conjunto mineralógico está compuesto mayoritariamente por cuarzo (41%), acompañado por líticos (30%) y feldespato (23%). la biotita alcanzan un 4%, junto a los carbonatos (1%) y la magnetita (1%) aparecen como accesorios. Esta composición refleja un aporte mixto: por un lado, el alto contenido de cuarzo y feldespatos indica

proximidad de fuentes ígneas; por otro, los carbonatos y bioclastos visibles en la imagen sugieren una contribución marina activa. La baja selección revela un transporte limitado y procesos de depositación poco uniformes.

En la muestra PPCo 1-3, aunque la textura sigue mostrando selección media a mala, se aprecia una distribución más homogénea. El cuarzo desciende al 38%, mientras que el feldespato aumenta a 270%, manteniéndose los líticos en 30% y los carbonatos en 1%. La biotita (3%) y la magnetita (1%) se conservan.

5.4 Método geométrico

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación del método geométrico para la estimación de volúmenes de arena movilizados entre las campañas de verano e invierno en las playas El Canelo y Cofradía. Este procedimiento consiste en la comparación de perfiles topográficos levantados en diferentes fechas, calculando el área comprendida entre las curvas correspondientes y extrapolando dichos valores a lo largo de la playa para obtener una estimación volumétrica (Davidson-Arnott, 2010).

La lógica subyacente es que las diferencias de elevación observadas en los perfiles representan procesos de erosión o acreción en la playa. Así, cuando el perfil de invierno se encuentra por debajo del de verano, se interpreta como pérdida de material (erosión), mientras que cuando ocurre lo contrario se asume una acumulación (acreción). La integración del área entre perfiles permite obtener un valor en metros cuadrados por metro lineal de playa, que luego se convierte en volumen mediante la interpolación entre perfiles consecutivos o la multiplicación por la longitud total del tramo representado (Dean, 1991).

La aplicación de este método en las playas de estudio permitió cuantificar los cambios volumétricos estacionales y expresar dichos valores también en masa movilizada, utilizando supuestos de densidad aparente seca y húmeda típicos de arenas de playa. Los resultados presentados a continuación ofrecen una base cuantitativa sólida para comprender la dinámica

sedimentaria de cada sistema y constituyen un insumo relevante para la discusión de la resiliencia morfodinámica y la influencia de factores naturales y antrópicos en la evolución de las playas.

Se utiliza la fórmula

$$\Delta A_i = \int [z_{\text{ver}}(x) - z_{\text{inv}}(x)] dx$$

Para el cálculo del área (ΔA_i) de cada perfil invierno-verano, dando como resultado de cada perfil:

5.4.1. Playa El Canelo

$$\Delta A_1 = +9,92 \text{ m}^2; \Delta A_2 = -4,12 \text{ m}^2; \Delta A_3 = +18,24 \text{ m}^2$$

El signo de las áreas diferencia ΔA constituye un indicador del proceso predominante en cada perfil. Valores positivos reflejan acreción subaérea, es decir, un aumento de la altura del perfil invernal respecto del estival, mientras que valores negativos señalan erosión, con pérdida de material en la zona emergida. En el caso de El Canelo, PPCa1 y PPCa3 presentaron acreción (positivos), mientras que PPCa2 evidenció erosión (negativo), lo cual sugiere una dinámica heterogénea a lo largo de la playa. En Cofradía, la totalidad del perfil mostró acreción (positivo), lo que indica una acumulación invernal generalizada, probablemente influida por la presencia de infraestructura portuaria que favorece la retención sedimentaria.

Posteriormente, con el fin de determinar el volumen de la playa en su totalidad se utilizan los datos del área previamente calculada y la siguiente fórmula

$$V = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{A_i + A_{i+1}}{2} \right) \cdot \Delta x$$

La distancia de tramos a lo largo de la toda la costa, donde se determina que desde el borde Oeste (izquierdo) hasta el primer perfil (PPCa 1) hay aproximadamente 50 m en línea recta, luego

desde PPCa 1 al perfil PPCa 2 hay 56 m, desde PPCa2 a PPCa 3 hay 58 m y desde PPCa 3 al borde Este (derecho) hay 20 m.

$$\Delta_{Y_{Izq}}=50 \text{ m}, \Delta_{Y_{12}}=56 \text{ m}, \Delta_{Y_{23}}=58 \text{ m}, \Delta_{Y_{der}}=20 \text{ m}.$$

Áreas por perfil:

$$\Delta_{A1} = +9,92 \text{ m}^2; \Delta_{A2} = -4,12 \text{ m}^2; \Delta_{A3} = +18,24 \text{ m}^2$$

Se convierten esas áreas en volumen a lo largo de la playa con la regla del trapecio, la cual es un método matemático de integración numérica. Se utiliza cuando tenemos una función (o un conjunto de puntos medidos, como en perfiles de playa) y queremos calcular el área bajo su curva de forma aproximada. Usando tus distancias a lo largo de costa se obtiene:

Cálculo tramo a tramo:

$$\text{Izq} - \text{PPCa 1}: \frac{1}{2} \Delta_{Y_{Izq}} \Delta_{A1} = \frac{1}{2} (50) (9,92) = 25 * 9,92 = 248,0 \text{ m}^3$$

$$\text{PPCa 1} - \text{PPCa 2}: \frac{1}{2} \Delta_{Y_{12}} (\Delta_{A1} + \Delta_{A2}) = \frac{1}{2} (56) (9,92 - 4,12) = 28 * 5,80 = 162,4 \text{ m}^3$$

$$\text{PPCa 2} - \text{PPCa3}: \Delta_{Y_{23}} (\Delta_{A2} + \Delta_{A3}) = \frac{1}{2} (58) (-4,12 + 18,24) = 29 * 14,12 = 409,5 \text{ m}^3$$

$$\text{PPCa3} - \text{Der}: \frac{1}{2} \Delta_{Y_{der}} \Delta_{A3} = \frac{1}{2} (20) (18,24) = 10 * 18,24 = 182,4 \text{ m}^3$$

Para obtener el **Volumen total de El Canelo** se suman todos los volúmenes calculadores previamente por tramos, siendo como resultado:

$$\Delta V_{\text{El Canelo}} \approx 248,0 + 162,4 + 409,5 + 182,4 = \mathbf{1002,3 \text{ m}^3}$$

Así mismo, se determina la masa de arena perdida en invierno (o ganada en verano) calculando la densidad de grano (p_s), ya que la arena está compuesta en su mayor parte por cuarzo y feldespatos, según el valor estándar en sedimentos siliciclásticos (Komar, 1998) que tienen una densidad de grano cercana a 2650 kg/m^3

$$p_s = 2650 \text{ kg/m}^3 = 2,65 \text{ t/m}^3$$

También, se calcula la densidad aparente seca, ya que, la arena cuenta con porosidad (n) que cambia según el sedimento. La densidad aparente seca se calcula con:

$$\rho_{seca} = (1-n) \rho_s$$

Donde:

n = porosidad típica de arenas de playa (35–42 %) (Komar, 1998).

Para efectos de este trabajo se utiliza $n = 40\% = 0,40$

$$\rho_{seca} = (1-0,40) * 2,65$$

$$\rho_{seca} = 1,59 \text{ t/m}^3$$

Para la determinación de la densidad aparente húmeda ($\rho_{húmeda}$) se hizo un promedio del cálculo en las muestras de la humedad perdida en las muestras al ser secadas en el horno, la cual fue determinada como 29,1% la humedad gravimétrica.

$$w = m_{\text{agua}}/m_{\text{seca}} \approx 29,1\%$$

Con eso, la densidad húmeda se calcula como:

$$\rho_{húmeda} = \rho_{seca} (1+w) = 2,05 \text{ t/m}^3$$

Finalmente, para cada volumen de la playa:

$$M_{seca} = \rho_{seca} * V = 1,59 \text{ t/m}^3$$

$$1,59 \text{ t/m}^3 * 1002,3 \text{ m}^3 = \mathbf{1593,7 \text{ t}}$$

$$M_{húmeda} = \rho_{húmeda} * V = 2,06 \text{ t/m}^3$$

$$2,06 \text{ t/m}^3 * 1002,3 \text{ m}^3 = \mathbf{2057 \text{ t}}$$

5.4.2. Playa de la Cofradía Náutica

Para la Playa Cofradía Náutica (PPCo), se hizo el mismo procedimiento geométrico que en El Canelo, usando los perfiles de invierno y verano

$$\Delta A_{PPCo} = +12,09 \text{ m}^2/\text{m}$$

Para determinar el volumen total a lo largo de la playa consideramos la longitud de la playa de la Cofradía Náutica del Pacífico es 44 m.

$$\Delta V = \Delta A * L = 12,09 \text{ m}^2/\text{m} \times 44 \text{ m} \approx \mathbf{531,9 \text{ m}^3}$$

También se calcula la densidad aparente seca (ρ_{seca}), la cual, es 1,59 t/m³

$$M_{seca} = 1,59 \times 531,9 \approx \mathbf{846 \text{ t}}$$

Con densidad aparente húmeda ($\rho_{húmeda}$) $\approx 2,05 \text{ t/m}^3$

$$M_{húmeda} = 2,05 \times 531,9 \approx \mathbf{1092 \text{ t}}$$

El análisis de los perfiles topográficos levantados en las playas El Canelo y Cofradía Náutica permitió cuantificar, mediante la aplicación del método geométrico, el volumen de arena movilizado entre las campañas de verano e invierno. Este procedimiento consistió en comparar las curvas obtenidas en ambas estaciones, calcular el área comprendida entre ellas en el dominio común de cada perfil y extrapolar estos valores a lo largo de la playa. Para El Canelo, se dispuso de tres perfiles transversales (PPCa1, PPCa2 y PPCa3), por lo que el volumen total se estima aplicando la regla del trapecio entre perfiles consecutivos y medias secciones en los extremos. En Cofradía, en cambio, se cuenta con un único perfil representativo (PPCo), tal que la diferencia de área se multiplica directamente por la longitud de la playa en planta (44 m).

En El Canelo, el balance volumétrico neto resultó en $\Delta V = 1002,3 \text{ m}^3$. El signo positivo indica que, en conjunto, los perfiles de invierno se situaron en promedio más altos que los de verano, reflejando acreción subaérea. Este resultado es consistente con la acreción observada en los perfiles PPCa1 y PPCa3, mientras que el perfil PPCa2 muestra erosión estacional. En Cofradía Náutica, el resultado fue aún más marcado, con un cambio volumétrico de $\Delta V = 531,9 \text{ m}^3$, también positivo, lo que evidencia que el perfil de invierno supera al de verano en gran parte del dominio común, sugiriendo un proceso de acumulación invernal de mayor magnitud.

La conversión de estos volúmenes en masa se realiza utilizando densidades aparentes representativas de arenas de playa. Para la condición seca se consideró una densidad de grano de $\rho_s = 2,65 \text{ t/m}^3$ y una porosidad típica de $n = 0,40$, lo que entrega una densidad aparente seca de $\rho_{seca} = (1-n) \rho_s = 1,59 \text{ t/m}^3$. Bajo este supuesto, la masa seca movilizada en El Canelo es de aproximadamente 1594 t, mientras que en Cofradía alcanza 846 t. Para reflejar la condición real del terreno, se incorpora la humedad gravimétrica promedio determinada experimentalmente a partir de las muestras estivales ($w = 29,1\%$), lo que corrige la densidad a $\rho_{húmeda} \approx 2,05 \text{ t/m}^3$. Con este valor, la masa húmeda movilizada se estima en aproximadamente 2057 t en El Canelo y 1092 t en Cofradía.

La magnitud de estos resultados debe interpretarse considerando tanto las características morfodinámicas propias de cada playa como el contexto en que se insertan. En El Canelo, una playa más extensa y abierta al oleaje oceánico, el volumen movilizado, aunque positivo, es moderado y refleja la coexistencia de procesos de erosión y acreción en distintos sectores. Esta dinámica se ajusta al comportamiento descrito por el modelo clásico de perfil de equilibrio de Dean (1991), donde el oleaje estival favorece la acumulación de berma y el invernal redistribuye sedimento hacia la anteplaya. En Cofradía Náutica, en cambio, se observa un comportamiento diferenciado: a pesar de ser una playa pequeña y confinada, el volumen y la masa movilizada alcanzan magnitudes mucho mayores en relación a su tamaño. Ello se explica por la influencia de la infraestructura portuaria adyacente, que altera los patrones de transporte litoral y favorece la retención de sedimento en invierno, generando una acreción subaérea inusual para esta estación (Kraus, 1998; Pilkey & Cooper, 2012).

El análisis comparativo de los perfiles levantados en invierno y verano muestra un retroceso marcado de la línea de costa en la estación invernal y un proceso de acreción parcial en verano. Este patrón refleja la dinámica típica de playas expuestas a un régimen de oleaje estacional, donde la energía de temporales invernales erosiona y redistribuye la arena hacia zonas más profundas, mientras que el oleaje de menor energía en verano favorece la recuperación parcial del perfil (Short, 1999; Komar, 1998). En la Bahía El Canelo, la pérdida neta de volumen sedimentario registrada durante el invierno concuerda con lo señalado por Winckler et al. (2019a), quienes documentan un aumento en la frecuencia e intensidad de marejadas en Chile central en las últimas décadas. No obstante, la recuperación estival observada fue incompleta, lo que sugiere un estado de desequilibrio crónico, condición que ha sido descrita en otras playas urbanizadas del litoral central (Martínez et al., 2023).

Análisis granulométrico y transporte sedimentario

Los resultados granulométricos muestran predominancia de arenas finas a medias bien seleccionadas, con ligeras variaciones estacionales. Este comportamiento coincide con lo descrito en ambientes dominados por oleaje moderado a alto, donde la selección aumenta en sectores de mayor energía (Davidson-Arnott, 2010). La ligera tendencia hacia arenas más finas en invierno indica un mayor retrabajo y transporte en suspensión, en línea con lo reportado por Kokot (2004) en playas del Atlántico Sur. Asimismo, la persistencia de texturas similares en los distintos perfiles sugiere que la playa recibe un suministro sedimentario relativamente homogéneo, probablemente vinculado tanto al aporte marino como a fuentes continentales, aunque con déficits estacionales que agravan la erosión.

Composición mineralógica y procedencia de sedimentos

El dominio de cuarzo y feldespato, acompañado de carbonatos, líticos y trazas de magnetita, revela una procedencia sedimentaria mixta, donde confluyen procesos continentales (erosión de rocas intrusivas y metamórficas descritas por Gana et al., 1996) y marinos (producción biogénica

de carbonatos). La presencia de minerales pesados como magnetita, aunque minoritaria, puede asociarse a concentraciones locales por acción de corrientes litorales, lo cual coincide con estudios realizados en otras playas de la Región de Valparaíso (Fuenzalida, 2016). Estos resultados confirman que la Bahía El Canelo no depende exclusivamente de un único aporte sedimentario, sino que constituye un sistema abierto y dinámico, vulnerable a cambios en la oferta de sedimentos fluviales y marinos, los que se ven reducidos durante periodos de sequía prolongada (Stuut et al., 2007).

Variaciones en la línea de costa

El análisis mediante imágenes satelitales muestra un retroceso de la línea de costa en sectores expuestos, en concordancia con las tendencias globales que indican que más del 70% de las playas arenosas presentan procesos erosivos (Bird, 1985; Luijendijk et al., 2018). En Chile central, Nicholls (1995) y Winckler et al. (2015) advierten que la urbanización y la falta de planificación han aumentado la vulnerabilidad de playas como El Canelo. Tus resultados evidencian que, aunque existe una recuperación estival parcial, el balance neto sigue siendo erosivo, lo cual proyecta un riesgo de pérdida significativa de playa en las próximas décadas si no se aplican medidas de mitigación.

Infraestructuras costeras

Los datos obtenidos permiten concluir que El Canelo funciona como un sistema estacional con marcada alternancia entre fases de acreción (verano, arenas medias) y erosión (invierno, incremento de arenas gruesas), mientras que la Cofradía Náutica se comporta como un sistema permanentemente erosivo, donde sólo permanecen las fracciones gruesas debido a la alta energía del oleaje y la escasa capacidad de retención sedimentaria. Estos hallazgos respaldan la hipótesis central de la investigación, en el sentido de que la dinámica granulométrica está controlada por factores estacionales del oleaje, pero también condicionada por el marco geomorfológico y tectónico local (Martínez et al., 2018; Yáñez-Arancibia, 2013).

De manera notable, los resultados evidencian un proceso de acreción invernal en Cofradía, lo cual es inusual si se compara con el patrón clásico descrito en playas expuestas, donde el invierno se caracteriza por perfiles más erosionados y la pérdida de berma (Wright & Short, 1984). En este caso, la acreción puede interpretarse como una consecuencia directa del contexto urbano y portuario en que se emplaza la playa. La presencia de infraestructura rígida como muelles y espigones altera la circulación litoral y reduce la eficiencia de la deriva neta, favoreciendo la retención sedimentaria en determinados sectores (Kraus, 1998; Hanson & Kraus, 2001). Así, en lugar de experimentar un retroceso invernal típico, Cofradía mostró una acumulación relativa de arena en superficie, lo que se traduce en un volumen movilizado de 531,9 m³, equivalente a más de mil toneladas de material húmedo.

Este comportamiento contrasta con El Canelo, una playa abierta y más extensa, donde los procesos de erosión y acreción se distribuyen de manera más equilibrada a lo largo de la playa, resultando en un cambio neto positivo de menor magnitud (≈ 1002 m³). En este sistema, el balance se ajusta mejor al modelo de perfil de equilibrio de Dean (1991), que describe la redistribución estacional del sedimento entre la zona de berma en verano y la anteplaya en invierno, como parte de un ciclo natural de ajuste morfodinámico (Davidson-Arnott, 2010). En cambio, el caso de Cofradía confirma lo señalado por Pilkey y Cooper (2012), en cuanto a que las playas urbanizadas y confinadas muestran respuestas morfológicas que se alejan de los patrones naturales, muchas veces inducidas o magnificadas por la construcción de obras duras.

En términos de gestión costera, la magnitud del sedimento movilizado en Cofradía (≈ 1.092 t húmedas) demuestra que incluso playas pequeñas pueden desempeñar un papel relevante en la dinámica litoral urbana. Como señalan Martínez, Quezada y Vásquez (2018), la erosión costera en Chile central está íntimamente vinculada a la presión antrópica y al desarrollo portuario-turístico, por lo que cuantificar los volúmenes estacionales en playas intervenidas constituye un insumo fundamental para comprender los procesos de vulnerabilidad y resiliencia. El caso de Cofradía ilustra que, aunque la playa puede mostrar acreción invernal a escala local, esta acumulación no necesariamente implica estabilidad a largo plazo. Por el contrario, la retención localizada de arena

en sectores adyacentes a la infraestructura puede ir acompañada de déficits en playas vecinas, generando un efecto redistributivo desigual en el litoral (Nicholls & Cazenave, 2010).

En este sentido, los resultados no solo permiten evaluar la dinámica interna de cada sistema, sino también entender la interacción entre procesos naturales y modificaciones humanas. Mientras El Canelo refleja un comportamiento más cercano a un régimen natural de ajuste estacional frente a oleaje oceánico abierto, Cofradía pone en evidencia cómo la urbanización y la infraestructura portuaria pueden alterar radicalmente los balances sedimentarios. Esta dualidad resalta la importancia de considerar tanto las condiciones oceanográficas y morfodinámicas (Davidson-Arnott, 2010) como los efectos antrópicos en la interpretación de los cambios volumétricos y en la planificación costera.

7 CONCLUSIONES.

El presente estudio sobre la Bahía El Canelo permitió constatar que las playas del litoral central de Chile se encuentran sometidas a un delicado equilibrio entre procesos naturales y antrópicos. Los perfiles levantados en las campañas de invierno y verano de 2023 evidenciaron una marcada estacionalidad en la morfología de El Canelo, donde se alternan fases de acreción y erosión, en concordancia con los modelos clásicos de equilibrio de playas descritos por Dean (1991). Sin embargo, los resultados revelaron también un retroceso neto de la línea de costa en sectores expuestos, lo cual se traduce en una pérdida sostenida de sedimentos que concuerda con las tendencias globales de erosión costera (Luijendijk et al., 2018).

Desde el punto de vista granulométrico, el predominio de arenas finas a medias bien seleccionadas indica un sistema altamente dinámico, donde la energía del oleaje actúa como principal agente de redistribución sedimentaria. La presencia recurrente de minerales como cuarzo y feldespato, acompañados de carbonatos y magnetita, sugiere una procedencia sedimentaria mixta vinculada tanto a aportes continentales como marinos. Este resultado refuerza la hipótesis de que la oferta sedimentaria local depende no solo de la dinámica del oleaje, sino también de las condiciones climáticas y tectónicas que afectan la región, incluyendo periodos prolongados de

sequía que limitan el aporte fluvial y episodios sísmicos que modifican la línea de costa (Winckler et al., 2019a).

En el caso particular de la Cofradía Náutica del Pacífico, el comportamiento de los perfiles resultó atípico frente al patrón esperado: se registró acreción invernal en vez de retroceso. Este fenómeno se interpreta como consecuencia directa de la presencia de infraestructura rígida (muelles, espigones y obras portuarias), que altera la circulación litoral y favorece la acumulación localizada de sedimentos (Kraus, 1998). Los volúmenes cuantificados en Cofradía, equivalentes a más de mil toneladas de arena movilizadas, evidencian que incluso playas pequeñas pueden desempeñar un papel significativo en la dinámica litoral urbana, aunque bajo un régimen controlado por la intervención humana. Este hallazgo confirma que las infraestructuras costeras no solo modifican los balances sedimentarios internos de una playa, sino que generan déficits redistributivos en sectores adyacentes, tal como se ha documentado en sistemas urbanos de distintas partes del mundo (Hsu & Evans, 1989).

Las implicancias de estos resultados trascienden la escala local. En primer lugar, muestran que playas abiertas y menos intervenidas, como El Canelo, tienden a ajustarse a ciclos naturales de erosión y acreción estacional, aunque con una tendencia netamente erosiva que plantea un riesgo de desaparición parcial en las próximas décadas. En segundo lugar, demuestran que las playas urbanizadas y confinadas, como Cofradía, responden de manera no lineal a la dinámica del oleaje, condicionadas por las obras construidas en su entorno inmediato. Esta dualidad pone de relieve que la vulnerabilidad del litoral central no puede entenderse sin considerar simultáneamente las forzantes oceanográficas, tectónicas y antrópicas.

Este trabajo aporta evidencia empírica de la fragilidad del sistema costero de la Bahía El Canelo y refuerza la necesidad de diseñar estrategias de gestión adaptativa. Entre las medidas prioritarias se destacan: la implementación de monitoreos periódicos de perfiles y volúmenes de arena, la incorporación de modelos predictivos que integren escenarios de cambio climático y actividad tectónica, y la regulación estricta de infraestructuras y proyectos inmobiliarios en primera

línea de playa. Además, la cuantificación de sedimentos movilizados ofrece un insumo de alto valor para la gestión municipal y regional, ya que permite dimensionar los riesgos asociados a la pérdida de playa en términos económicos, sociales y ecológicos.

Finalmente, este trabajo subraya la urgencia de fortalecer la investigación interdisciplinaria en torno a la erosión costera en Chile central. La combinación de estudios geológicos, oceanográficos y de planificación urbana permitirá no solo comprender mejor la dinámica de sistemas como El Canelo y Cofradía, sino también orientar políticas públicas que garanticen la preservación de este patrimonio natural frente a la creciente presión del cambio climático y el desarrollo humano.

8 REFERENCIAS.

- Araya-Cornejo, C., & Carvajal, M. (2016). Efectos geomorfológicos del tsunami de Chile de 2010 frente a la zona de máximo slip, revelados por imágenes satelitales y observaciones de campo: El caso del litoral arenoso La Trinchera, Región del Maule. *Investigaciones Geográficas (Chile)*, 52, 5-24.
- Barragán, J. M., & De Andrés, M. (2015). Analysis and trends of the world's coastal cities and agglomerations. *Ocean & Coastal Management*, 114, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.06.004>
- Barragán, J. M., & De Andrés, M. (2015). Analysis and trends of the world's coastal cities and agglomerations. *Ocean & Coastal Management*, 114, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.06.004>
- Beyá, J., Álvarez, M., Gallardo, A., Hidalgo, H., Aguirre, C., Valdivia, J., Parra, C., Méndez, L., Contreras, F., Winckler, P., & Molina, M. (2016). *Atlas de oleaje de Chile* (1.^a ed.). Escuela de Ingeniería Civil Oceánica, Universidad de Valparaíso. ISBN: 978-956-368-194-9
- Bird, E. C. F. (1985). *Coastline changes*. New York: John Wiley & Sons. University of Melbourne & United Nations University. ISBN 0-471-90646-8
- Boggs, S. (2006). *Principles of sedimentology and stratigraphy (4th ed.)*. Pearson Prentice Hall. ISBN 0-13-154728-3

- Bravo, L., Ramos, M., Astudillo, O., Dewitte, B., & Goubanova, K. (2016). *Seasonal variability of the Ekman transport and pumping in the upwelling system off central-northern Chile ($\sim 30^\circ$ S) based on a high-resolution atmospheric regional model (WRF)*. *Ocean Science*, 12(5), 1049-1065. <https://doi.org/10.5194/os-12-1049-2016>
- Briceño de Urbaneja, I., Sánchez, E., Pardo, J., Palomar, J., Ugalde, R., Aguirre, C., Pérez, W., & Vidal, P. (2021). Cambios espaciotemporales costeros con imágenes Landsat 8 y Sentinel 2 (2015–2019) en Chile central: Playa Reñaca, Bahía de Concón y Bahía de Algarrobo. *Revista de Geografía Norte Grande*, 80, 199–223. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022021000200199>
- Campos Caba, R. V. (2016). *Análisis de marejadas históricas y recientes en las costas de Chile* [Memoria de título, Universidad de Valparaíso]. Universidad de Valparaíso.
- Carter, R. W. G. (1988). *Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines*. Academic Press.
- Centro de información de Recursos Naturales (CIREN). (2021). Recursos naturales comuna de Algarrobo.
- Consejo de Monumentos Nacionales (CMN). (2001). *Decreto Exento N°104: Declara Zona Típica el Parque El Canelo-Canelillo, comuna de Algarrobo, Región de Valparaíso*. Ministerio de Educación de Chile. Santiago, Chile. Decreto Exento N° 104, 29 de marzo de 2001
Título: *Modifica Decreto N° 212 Exento, de 2000, que declaró Zona Típica Sector de Borde Costero de Algarrobo denominado “Canelo-Canelillo*.
- Consejo de Monumentos Nacionales (CMN). (s.f.). *Zonas típicas*. Consejo de Monumentos Nacionales de Chile. Recuperado de <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/zonas-tipicas>
- Dean, R. G. (1991). Equilibrium beach profiles: Characteristics and applications. *Journal of Coastal Research*, 7(1), 53–84. <https://www.jstor.org/stable/4297767>
- Davidson-Arnott, R. (2010). *An introduction to coastal processes and geomorphology*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511805983>
- Encyclopedia Britannica. (s.f.). *Ocean current: Distribution, causes, & types*. In *Encyclopedia Britannica*. Recuperado el [2025], de <https://www.britannica.com/science/ocean-current>

- Farías, M., Charrier, R., Carretier, S., Martinod, J., Fock, A., Campbell, D., Cáceres, J., & Comte, D. (2008). *Late Miocene high and rapid surface uplift and its erosional response in the Andes of central Chile (33°–35°S)*. *Tectonics*, 27(1), TC1005. <https://doi.org/10.1029/2006TC002046>
- Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957). Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1), 3–26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Gana, P., & Tosdal, R. M. (1996). Geocronología U-Pb y K-Ar en intrusivos del Paleozoico y Mesozoico de la Cordillera de la Costa, región de Valparaíso, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 23(2), 151–164. <https://doi.org/10.5027/andgeoV23n2-a04>
- Gana, P., Wall, R., & Gutiérrez, A. (1996). *Geología del área Valparaíso–Curacaví: Regiones de Valparaíso y Metropolitana* (Mapa geológico N° 1, escala 1:100.000). Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN).
- Hanson, H., & Kraus, N. C. (2001). Coastal engineering practice in the United States. *Journal of Coastal Research*, 17(1), 1–27. <https://www.jstor.org/stable/4300180>
- Hewageegana, V. H., & Canestrelli, A. (2021). Numerical modeling of the influence of tides on cross-shore sediment dynamics of dissipative beaches under moderate wave conditions. *Continental Shelf Research*, 218, 104381. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2021.104381>
- Hsu, J. R. C., & Evans, C. (1989). Parabolic bay shapes and applications. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 87(4), 557–570. <https://doi.org/10.1680/iicep.1989.3036>
- Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. (2016). *Manual on sea-level measurement and interpretation, Volume V: Radar gauges* (IOC Manuals and Guides No. 14, Vol. V; JCOMM Technical Report No. 89). UNESCO
- Intergovernmental Oceanographic Commission. (2019). *Tsunami glossary* (4th ed., IOC Technical Series No. 85). UNESCO.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Jahncke, J., Checkley, D. M., & Hunt, G. L. (2004). Seabird distribution on the Humboldt

- Current in northern Chile in relation to hydrography, productivity, and fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 61(1), 148–164. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2003.08.002>
- Komar, P. D. (1998). Beach processes and sedimentation (2nd ed.). Prentice Hall.
- Kraus, N. C. (1998). Effects of jetties on the shoreline development: Coastal engineering technical note. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station.
- Leonard, L. A., Wren, P. A., & Smith, C. G. (1995). Sediment transport processes in a west-central Florida open marine marsh system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40(6), 599–617. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(06\)80015-2](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(06)80015-2)
- Leth, O., & Shaffer, G. (2001). A numerical study of the seasonal variability in the circulation off central Chile. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C10), 22,229–22,248. <https://doi.org/10.1029/2000JC000562>
- Levermann, A., Griesel, A., Hofmann, M., Montoya, M., & Rahmstorf, S. (2005). Dynamic sea level changes following changes in the thermohaline circulation. *Climate Dynamics*, 24(3–4), 347–354. <https://doi.org/10.1007/s00382-004-0505-y>
- Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G., & Aarninkhof, S. (2018). The state of the world's beaches. *Scientific Reports*, 8, 6641. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6>
- Martínez, C., Contreras-López, M., & Winckler, P. (2023). Coastal erosion hotspots in central Chile: Trends and management challenges. *Journal of Coastal Research*, 39(2), 230–242. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-22-00012.1>
- Martínez, C., Quezada, J., & Vásquez, A. (2018). Coastal erosion in central Chile: Trends and implications. *Revista de Geografía Norte Grande*, 71, 55–72. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022018000200055>
- Martínez, C., Quezada, J., & Vásquez, A. (2018). *Coastal erosion in central Chile: Trends and implications. Revista de Geografía Norte Grande*, 71, 55–72. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022018000200055>
- Masselink, G., & Short, A. D. (1993). The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: A conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, 9(3), 785–800.
- Masselink, G., Scott, T., Poate, T., Russell, P., Davidson, M., & Conley, D. (2016). The

- extreme 2013/2014 winter storms: Hydrodynamic forcing and coastal response along the southwest coast of England. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(3), 378–391. <https://doi.org/10.1002/esp.3836>
- Masselink, G., Scott, T., Poate, T., Russell, P., Davidson, M., & Conley, D. (2016). The extreme 2013/2014 winter storms: Hydrodynamic forcing and coastal response along the southwest coast of England. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(3), 378–391. <https://doi.org/10.1002/esp.3836>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2019a). *Determinación del riesgo de los impactos del cambio climático en las costas de Chile: Volumen 1, Amenazas* (P. Winckler, M. Contreras-López, S. Vicuña, C. Larraguibel, J. Mora, C. Esparza, J. Salcedo, S. Gelcich, J. M. Fariña, C. Martínez, R. Agredano, O. Melo, N. Bambach, D. Morales, C. Marinkovic, & A. Pica, Eds.). Ministerio del Medio Ambiente.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2019b). *Determinación del riesgo de los impactos del cambio climático en las costas de Chile: Volumen 4, Vulnerabilidad y riesgos en playas* (P. Winckler, M. Contreras-López, S. Vicuña, C. Larraguibel, J. Mora, C. Esparza, J. Salcedo, S. Gelcich, J. M. Fariña, C. Martínez, R. Agredano, O. Melo, N. Bambach, D. Morales, C. Marinkovic, & A. Pica, Eds.). Santiago, Chile: Ministerio del Medio Ambiente.
- Molina Pereira, M. A. (2022). *Marejadas en Chile: características, avances y desafíos pendientes*. En C. Martínez, R. Cienfuegos, J. Barragán, S. Navarrete, R. Hidalgo, F. Arenas & L. Fuentes (Eds.), *Hacia una Ley de Costas en Chile: bases para una gestión integrada de áreas costeras* (pp. 207-224). Serie GEOLIBRO, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Morales, E., Winckler, P., & Herrera, M. (2012). *Costas de Chile: Medio natural, cambio climático, ingeniería oceánica y gestión costera*. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA). ISBN: 978-956-235-031-0
- Mulder, J. P. M., Hommes, S., & Horstman, E. M. (2011). Implementation of coastal erosion management in the Netherlands. *Ocean & Coastal Management*, 54(12), 888–897. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.06.009>
- Mulder, J. P. M., Hommes, S., & Horstman, E. M. (2011). Implementation of coastal erosion management in the Netherlands. *Ocean & Coastal Management*, 54(12),

- 888–897. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.06.009>
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (s.f.). *What is a current?* U.S. Department of Commerce. Recuperado el [2025], de <https://oceanservice.noaa.gov/facts/current.html>
- Needham, H. F., & Keim, B. D. (2011). Storm surge: Physical processes and an impact scale. En A. R. Lupo (Ed.), *Recent hurricane research: Climate, dynamics, and societal impacts* (pp. 385–402). InTech. <https://doi.org/10.5772/15925>
- Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328(5985), 1517–1520. <https://doi.org/10.1126/science.1185782>
- Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328(5985), 1517–1520. <https://doi.org/10.1126/science.1185782>
- Nombela, M. A. (2005). Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 13(2), 138–147p. ISSN 1132-9157.
- Orellana, F., Hormazábal, J., Montalva, G., & Moreno, M. (2022). *Measuring coastal subsidence after recent earthquakes in central Chile using SAR interferometry and GNSS data*. *Remote Sensing*, 14(7), 1611. <https://doi.org/10.3390/rs14071611>
- Ortega, S., Campos, C., & Vergara, H. (2016). *Análisis de marejadas históricas y recientes en las costas de Chile* [Memoria de título, Universidad de Valparaíso]. Universidad de Valparaíso.
- Otero, R., Suárez, M., Soto, R., Vargas, A., Hervé, F., Puig, A., & Hidalgo, M. (2021). *Minuta técnica sobre yacimiento paleontológico de Algarrobo, con ocasión de próximo proyecto de muelle en la localidad*. Sociedad Chilena de Paleontología.
- Pang, T., Wang, X., Nawaz, R. A., Keefe, G., & Adekanmbi, T. (2023). Coastal erosion and climate change: A review on coastal-change process and modeling. *Ambio*, 52(12), 2034–2052. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01901-9>
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., & Siever, R. (1987). *Sand and sandstone* (2nd ed.). Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1066-5>
- Pinochet, A., Garcés-Vargas, J., Lara, C., & Olguín, F. (2019). *Seasonal Variability of Upwelling off Central-Southern Chile*. *Remote Sensing*, 11(15), 1737. <https://doi.org/10.3390/rs11151737>
- Rasmussen, D. J., Bittermann, K., Buchanan, M. K., Kulp, S., Strauss, B. H., Kopp, R. E.,

- & Oppenheimer, M. (2018). Extreme sea level implications of 1.5 °C, 2.0 °C, and 2.5 °C temperature stabilization targets in the 21st and 22nd century. *Environmental Research Letters*, 13(3), 034040. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaac87>
- Romo Martínez, C. P. I. (2023). *Análisis de la variación temporal de la línea de costa y caracterización sedimentaria de la playa El Tabo – La Chépica, Región de Valparaíso, Chile* [Memoria de título, Universidad Andrés Bello]. Universidad Andrés Bello.
- Rudolph, E. H. (2015). Current state of knowledge on Virilastacus species (Crustacea, Decapoda, Parastacidae). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(5), 807-818. <https://doi.org/10.3856/vol43-issue5-fulltext-1>
- Salinas, P. (2023). *Parque Canelo-Canelillo · Algarrobo*. Litoralpoeta. <https://litoralpoeta.cl/lugares/parque-canelo-canelillo/13252/>
- Sánchez-Arcilla & Jiménez. (1994) Ingeniería de playas (I): conceptos de morfología costera. Laboratori d'Enginyeria Marítima E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya).
- Segel, L. (2021). Presidenta del SEP: *Los puertos son vitales para la economía de nuestro país. SoyValparaíso*.
- Short, A. D., & Jackson, D. W. T. (2013). Beach morphodynamics. En J. F. Shroder (Ed.), *Treatise on geomorphology* (Vol. 10, pp. 106–129). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00275-3>
- Stuut, J. B. W., Temmesfeld, F., & De Deckker, P. (2007). Sources and modes of transport of late Quaternary dust in the Southern Hemisphere and the associated climate. *Quaternary Science Reviews*, 26(7–8), 865–878. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.06.007>
- Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2012). Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física (9.ª ed.). Pearson Educación.
- Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física* (8.ª ed.). Pearson Educación.
- Villagrán, M., Vergara, W., Lagos, J., & Andrade, C. (2022). Coastal erosion and a characterization of the morphodynamic characteristics of six beaches of the Arauco Gulf, central-southern Chile. *Water*, 15(1), 23. <https://doi.org/10.3390/w15010023>

- Vousdoukas, M. I., Ranasinghe, R., Mentaschi, L., Plomaritis, T. A., Athanasiou, P., Luijendijk, A., & Feyen, L. (2020). Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature Climate Change*, 10(3), 260–263. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0697-0>
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, 30(5), 377–392. <https://doi.org/10.1086/622910>
- Winckler Grez, P., Aguirre, C., Farías, L., Contreras-López, M., & Masotti, Í. (2020). Evidence of climate-driven changes on atmospheric, hydrological, and oceanographic variables along the Chilean coastal zone. *Climatic Change*, 163(2), 633–652. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02805-3>
- Winckler, P., Contreras-López, M., Campos-Caba, R., Beyá, J., & Molina, M. (2015). *El temporal del 8 de agosto de 2015 en las regiones de Valparaíso y Coquimbo, Chile central*. *Revista de la Asociación Española de Ingeniería de Puertos y Costas*, 22, 29–42.
- Winckler, P.; Contreras-López, M.; Vicuña, S.; Larraguibel, C.; Mora, J.; Esparza, C.; Salcedo, J.; Gelcich, S.; Fariña, J. M.; Martínez, C.; Agredano, R.; Melo, O.; Bambach, N.; Morales, D.; Marinkovic, C.; Pica, A. (2019b). Ministerio del Medio Ambiente, 2019. Volumen 4: Vulnerabilidad y riesgos en playas, en “Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile”, Santiago, Chile.
- Wright, L. D., & Short, A. D. (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. *Marine Geology*, 56(1–4), 93–118. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90008-2)
- Wright, L. D., & Short, A. D. (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. *Marine Geology*, 56(1–4), 93–118. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90008-2)
- Yáñez-Arancibia, A. (2013). *Ecología costera y manejo de ecosistemas*. México: Instituto de Ecología, A.C. / Red Mexicana de Recursos Costeros.
- Yáñez-Arancibia, A. (2013). *Ecología costera y manejo de ecosistemas*. México: Instituto de Ecología A.C. / Red Mexicana de Recursos Costeros.
- Zhang, K., & Sheng, Y. P. (2015). Coastal erosion and protection in a changing climate. *Springer Handbook of Ocean Engineering*, 1117–1139.

https://doi.org/10.1007/978-3-319-16649-0_47

Zhang, K., & Sheng, Y. P. (2015). Coastal erosion and protection in a changing climate. En M. C. Cruz, C. A. Brebbia, & E. Tiezzi (Eds.), *Handbook of Ocean Engineering* (pp. 1117–1139). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16649-0_47

VERANO

ANEXO 1: TABLA DE MUESTRA 1 DEL PERFIL 1 DE EL CANELO – VERANO.

			PPCa1-1					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	108.6	108.6	15.4%	15.4%	15.4%	84.6%
#40	Arena media	0.42	174.8	283.4	24.8%	71.9%	40.2%	59.8%
#45	Arena media	0.354	113.8	397.2	16.2%		56.4%	43.6%
#50	Arena media	0.297	115	512.2	16.3%		72.7%	27.3%
#60	Arena media	0.25	102.3	614.5	14.5%		87.3%	12.7%
#80	Arena fina	0.177	68.9	683.4	9.8%	11.4%	97.1%	2.9%
#100	Arena fina	0.149	11.2	694.6	1.6%		98.7%	1.3%
#200	Arena muy fina	0.074	5.8	700.4	0.8%	1.3%	99.5%	0.5%
Total			3.7	704.1	0.5%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 2: TABLA DE MUESTRA 2 DEL PERFIL 1 DE EL CANELO – VERANO.

			PPCa1-2					
Malla		Abertura (mm)	Peso	Peso acum	% Retenido	Σ	%Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	125.1	125.1	15.6%	15.6%	15.6%	84.4%
#40	Arena media	0.42	234	359.1	29.1%	73.9%	44.7%	55.3%
#45	Arena media	0.354	138.6	497.7	17.2%		61.9%	38.1%
#50	Arena media	0.297	143.1	640.8	17.8%		79.7%	20.3%
#60	Arena media	0.25	78	718.8	9.7%		89.4%	10.6%
#80	Arena fina	0.177	64.8	783.6	8.1%	9.4%	97.5%	2.5%
#100	Arena fina	0.149	10.7	794.3	1.3%		98.8%	1.2%
#200	Arena muy fina	0.074	5.2	799.5	0.6%	1.2%	99.5%	0.5%
Total			4.4	803.9	0.5%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 3: TABLA DE MUESTRA 3 DEL PERFIL 1 DE EL CANELO – VERANO.

			PPCa1-3					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	112.5	112.5	13.9%	13.9%	14%	86%
#40	Arena media	0.42	184.8	297.3	22.9%	70.7%	37%	63%
#45	Arena media	0.354	127.9	425.2	15.8%		53%	47%
#50	Arena media	0.297	133.2	558.4	16.5%		69%	31%
#60	Arena media	0.25	125	683.4	15.5%		85%	15%
#80	Arena fina	0.177	96.7	780.1	12.0%	14.2%	97%	3%
#100	Arena fina	0.149	17.8	797.9	2.2%		99%	1%
#200	Arena muy fina	0.074	7.2	805.1	0.9%	1.2%	100%	0%
Total			2.1	807.2	0.3%	100%	100%	0%

ANEXO 4: TABLA DE MUESTRA 1 DEL PERFIL 2 DE EL CANELO – VERANO.

			PPCa2-1					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	340.7	340.7	47.8%	47.8%	47.8%	52.2%
#40	Arena media	0.42	136.3	477	19.1%	42.3%	66.9%	33.1%
#45	Arena media	0.354	57.1	534.1	8.0%		74.9%	25.1%
#50	Arena media	0.297	59.6	593.7	8.4%		83.3%	16.7%
#60	Arena media	0.25	48.5	642.2	6.8%		90.1%	9.9%
#80	Arena fina	0.177	53.9	696.1	7.6%	9.2%	97.6%	2.4%
#100	Arena fina	0.149	11.8	707.9	1.7%		99.3%	0.7%
#200	Arena muy fina	0.074	3.9	711.8	0.5%	0.7%	99.8%	0.2%
Total			1.3	713.1	0.2%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 5: TABLA DE MUESTRA 2 DEL PERFIL 2 DE EL CANELO – VERANO.

			PPCa2-2					
Malla		Abertura(mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	%Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	175.8	175.8	21.8%	21.8%	21.8%	78.2%
#40	Arena media	0.42	174.4	350.2	21.6%	64.5%	43.4%	56.6%
#45	Arena media	0.354	118.4	468.6	14.7%		58.1%	41.9%
#50	Arena media	0.297	151.8	620.4	18.8%		76.9%	23.1%
#60	Arena media	0.25	75.3	695.7	9.3%		86.3%	13.7%
#80	Arena fina	0.177	88.4	784.1	11.0%	12.8%	97.2%	2.8%
#100	Arena fina	0.149	15	799.1	1.9%		99.1%	0.9%
#200	Arena muy fina	0.074	4.4	803.5	0.5%	0.9%	99.6%	0.4%
Total			3.1	806.6	0.4%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 6: TABLA DE MUESTRA 3 DEL PERFIL 2 DE EL CANELO – VERANO.

			PPCa2-3					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	242	242	29.5%	29.5%	29.5%	70.5%
#40	Arena media	0.42	195.5	437.5	23.8%	60.9%	53.4%	46.6%
#45	Arena media	0.354	102.3	539.8	12.5%		65.8%	34.2%
#50	Arena media	0.297	120.4	660.2	14.7%		80.5%	19.5%
#60	Arena media	0.25	80.8	741	9.9%		90.4%	9.6%
#80	Arena fina	0.177	62.3	803.3	7.6%	8.8%	98.0%	2.0%
#100	Arena fina	0.149	9.9	813.2	1.2%		99.2%	0.8%
#200	Arena muy fina	0.074	3.9	817.1	0.5%	0.8%	99.6%	0.4%
Total			2.9	820	0.4%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 6: TABLA DE MUESTRA 1 DEL PERFIL 3 DE EL CANELO – VERANO.

			PPCa3-1					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Total	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	406.8	406.8	55.6%	55.6%	55.6%	44.4%
#40	Arena media	0.42	78.9	485.7	10.8%	25.4%	66.4%	33.6%
#45	Arena media	0.354	27.9	513.6	3.8%		70.2%	29.8%
#50	Arena media	0.297	36.5	550.1	5.0%		75.2%	24.8%
#60	Arena media	0.25	42.7	592.8	5.8%		81.0%	19.0%
#80	Arena fina	0.177	88.6	681.4	12.1%	16.4%	93.1%	6.9%
#100	Arena fina	0.149	31.7	713.1	4.3%		97.4%	2.6%
#200	Arena muy fina	0.074	14.7	727.8	2.0%	2.6%	99.4%	0.6%
Total			4.2	732	0.6%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 7: TABLA DE MUESTRA 2 DEL PERFIL 3 DE EL CANELO – VERANO.

			PPCa3-2					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	%Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	126.9	126.9	15.8%	15.8%	15.8%	84.2%
#40	Arena media	0.42	229.6	356.5	28.6%	71.6%	44.5%	55.5%
#45	Arena media	0.354	114.3	470.8	14.3%		58.7%	41.3%
#50	Arena media	0.297	125.9	596.7	15.7%		74.4%	25.6%
#60	Arena media	0.25	104.7	701.4	13.1%		87.5%	12.5%
#80	Arena fina	0.177	75.2	776.6	9.4%	11.1%	96.8%	3.2%
#100	Arena fina	0.149	13.6	790.2	1.7%		98.5%	1.5%
#200	Arena muy fina	0.074	4.4	794.6	0.5%	1.5%	99.1%	0.9%
Total			7.4	802	0.9%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 8: TABLA DE MUESTRA 3 DEL PERFIL 3 DE EL CANELO – VERANO.

			PPCa3-3					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	194.1	194.1	24.2%	24.2%	24.2%	75.8%
#40	Arena media	0.42	191.1	385.2	23.8%	63.6%	47.9%	52.1%
#45	Arena media	0.354	107.6	492.8	13.4%		61.3%	38.7%
#50	Arena media	0.297	111.5	604.3	13.9%		75.2%	24.8%
#60	Arena media	0.25	101.2	705.5	12.6%		87.8%	12.2%
#80	Arena fina	0.177	77.6	783.1	9.7%	11.3%	97.4%	2.6%
#100	Arena fina	0.149	13.1	796.2	1.6%		99.1%	0.9%
#200	Arena muy fina	0.074	4	800.2	0.5%	0.9%	99.6%	0.4%
Total			3.4	803.6	0.4%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 9: TABLA DE MUESTRA 1 DEL PERFIL 1 DE LA COFRADÍA NÁUTICA – VERANO.

			PPCo1-1					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#10	Gravilla	2	558.3	558.3	68.4%	68.4%	68.4%	31.6%
#20	Arena gruesa	0.841	233.7	792	28.6%	29.1%	97.1%	2.9%
#25	Arena gruesa	0.707	2.8	794.8	0.3%		97.4%	2.6%
#30	Arena gruesa	0.595	1.3	796.1	0.2%		97.6%	2.4%
#40	Arena media	0.42	5.3	801.4	0.6%	1.8%	98.2%	1.8%
#45	Arena media	0.354	3.2	804.6	0.4%		98.6%	1.4%
#50	Arena media	0.297	3.4	808	0.4%		99.0%	1.0%
#60	Arena media	0.25	2.5	810.5	0.3%		99.4%	0.6%
#80	Arena fina	0.177	2.3	812.8	0.3%	0.3%	99.6%	0.4%
#100	Arena fina	0.149	0.4	813.2	0.0%		99.7%	0.3%
#200	Arena muy fina	0.074	0.2	813.4	0.0%		99.7%	0.3%
Total				815.8	0.0%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 10: TABLA DE MUESTRA 2 DEL PERFIL 1 DE LA COFRADÍA NÁUTICA – VERANO.

			PPCo1-2					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#10	Gravilla	2	40.2	40.2	5.3%	5.3%	5.3%	94.7%
#20	Arena gruesa	0.841	430	470.2	56.5%	73.3%	61.8%	38.2%
#25	Arena gruesa	0.707	83	553.2	10.9%		72.7%	27.3%
#30	Arena gruesa	0.595	44.8	598	5.9%		78.5%	21.5%
#40	Arena media	0.42	75.5	673.5	9.9%	19.0%	88.5%	11.5%
#45	Arena media	0.354	29.3	702.8	3.8%		92.3%	7.7%
#50	Arena media	0.297	22.1	724.9	2.9%		95.2%	4.8%
#60	Arena media	0.25	17.4	742.3	2.3%		97.5%	2.5%

#80	Arena fina	0.177	11.2	753.5	1.5%	1.8%	99.0%	1.0%
#100	Arena fina	0.149	2.2	755.7	0.3%		99.3%	0.7%
#200	Arena muy fina	0.074	2.7	758.4	0.4%	0.7%	99.6%	0.4%
Total			2.9	761.3	0.4%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 11: TABLA DE MUESTRA 3 DEL PERFIL 1 DE LA COFRADÍA NÁUTICA – VERANO.

			PPCo1-3					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#10	Gravilla	2	33.2	33.2	4.2%	4.2%	4.2%	95.8%
#20	Arena gruesa	0.841	551.4	584.6	69.6%	81.8%	73.8%	26.2%
#25	Arena gruesa	0.707	66.4	651	8.4%		82.2%	17.8%
#30	Arena gruesa	0.595	30.4	681.4	3.8%		86.0%	14.0%
#40	Arena media	0.42	51.7	733.1	6.5%	12.3%	92.6%	7.4%
#45	Arena media	0.354	21.5	754.6	2.7%		95.3%	4.7%
#50	Arena media	0.297	17	771.6	2.1%		97.4%	2.6%
#60	Arena media	0.25	7.5	779.1	0.9%		98.4%	1.6%
#80	Arena fina	0.177	4.6	783.7	0.6%	0.7%	99.0%	1.0%
#100	Arena fina	0.149	0.8	784.5	0.1%		99.1%	0.9%
#200	Arena muy fina	0.074	1.9	786.4	0.2%	0.9%	99.3%	0.7%
Total			5.6	792	0.7%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 12: TABLA DE MUESTRA 4 DEL PERFIL 1 DE LA COFRADÍA NÁUTICA – VERANO.

			PPCo1-4					
Malla		Abertura (mm)	Peso	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#10	Gravilla	2	152.2	152.2	18.9%	18.9%	18.9%	81.1%
#20	Arena gruesa	0.841	579.7	731.9	72.0%	78.0%	90.9%	9.1%
#25	Arena gruesa	0.707	35	766.9	4.3%		95.2%	4.8%
#30	Arena gruesa	0.595	13.7	780.6	1.7%		96.9%	3.1%
#40	Arena media	0.42	15.4	796	1.9%	2.6%	98.8%	1.2%
#45	Arena media	0.354	3.3	799.3	0.4%		99.2%	0.8%
#50	Arena media	0.297	1.4	800.7	0.2%		99.4%	0.6%
#60	Arena media	0.25	0.5	801.2	0.1%		99.5%	0.5%
#80	Arena fina	0.177	0.1	801.3	0.0%	0.0%	99.5%	0.5%
#100	Arena fina	0.149	0.1	801.4	0.0%		99.5%	0.5%
#200	Arena muy fina	0.074	0.1	801.5	0.0%	0.5%	99.5%	0.5%
Total			4	805.5	0.5%	100%	100.0%	0.0%

INVIERNO

ANEXO 13: TABLA DE MUESTRA 1 DEL PERFIL 1 DE EL CANELO – INVIERNO.

			PPCa1-1					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	488	488	67.2%	67.2%	67.2%	32.8%
#40	Arena media	0.42	0	488	0.0%		67.2%	32.8%
#45	Arena media	0.354	0	488	0.0%		67.2%	32.8%
#50	Arena media	0.297	102.2	590.2	14.1%	22.2%	81.2%	18.8%
#60	Arena media	0.25	58.9	649.1	8.1%		89.3%	10.7%
#80	Arena fina	0.177	58.4	707.5	8.0%	9.6%	97.4%	2.6%
#100	Arena fina	0.149	11	718.5	1.5%		98.9%	1.1%
#200	Arena muy fina	0.074	3.6	722.1	0.5%	1.1%	99.4%	0.6%
Total			4.4	726.5	0.6%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 14: TABLA DE MUESTRA 2 DEL PERFIL 1 DE EL CANELO – INVIERNO.

			PPCa1-2					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	199.1	199.1	24.8%	24.8%	24.8%	75.2%
#40	Arena media	0.42	250.8	449.9	31.2%		56.0%	44.0%
#45	Arena media	0.354	16.7	466.6	2.1%		58.1%	41.9%
#50	Arena media	0.297	225.7	692.3	28.1%	68.3%	86.2%	13.8%
#60	Arena media	0.25	55.5	747.8	6.9%		93.1%	6.9%
#80	Arena fina	0.177	40	787.8	5.0%	5.7%	98.0%	2.0%
#100	Arena fina	0.149	6	793.8	0.7%		98.8%	1.2%
#200	Arena muy fina	0.074	3.6	797.4	0.4%	1.2%	99.2%	0.8%
Total			6.1	803.5	0.8%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 15: TABLA DE MUESTRA 1 DEL PERFIL 2 DE EL CANELO – INVIERNO.

			PPCa2-1					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	268.7	268.7	38.6%	38.6%	38.6%	61.4%
#40	Arena media	0.42	197.3	466	28.4%		67.0%	33.0%
#45	Arena media	0.354	78.2	544.2	11.2%		78.2%	21.8%
#50	Arena media	0.297	68.8	613	9.9%	55.3%	88.1%	11.9%
#60	Arena media	0.25	40.3	653.3	5.8%		93.9%	6.1%
#80	Arena fina	0.177	32.3	685.6	4.6%	5.2%	98.5%	1.5%
#100	Arena fina	0.149	4	689.6	0.6%		99.1%	0.9%
#200	Arena muy fina	0.074	1.2	690.8	0.2%	0.9%	99.3%	0.7%
Total			5.1	695.9	0.7%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 16: TABLA DE MUESTRA 2 DEL PERFIL 2 DE EL CANELO – INVIERNO.

			PPCa2-2					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	124.2	124.2	15.5%	15.5%	15.5%	84.5%
#40	Arena media	0.42	213.6	337.8	26.7%		42.3%	57.7%
#45	Arena media	0.354	120.9	458.7	15.1%		57.4%	42.6%
#50	Arena media	0.297	146	604.7	18.3%	73.1%	75.7%	24.3%
#60	Arena media	0.25	103.6	708.3	13.0%		88.7%	11.3%
#80	Arena fina	0.177	70.5	778.8	8.8%	10.2%	97.5%	2.5%
#100	Arena fina	0.149	10.9	789.7	1.4%		98.9%	1.1%
#200	Arena muy fina	0.074	3.4	793.1	0.4%	1.1%	99.3%	0.7%
Total			5.7	798.8	0.7%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 17: TABLA DE MUESTRA 3 DEL PERFIL 2 DE EL CANELO – INVIERNO.

			PPCa2-3					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	226.5	226.5	27.7%	27.7%	27.7%	72.3%
#40	Arena media	0.42	231.3	457.8	28.2%		55.9%	44.1%
#45	Arena media	0.354	112.4	570.2	13.7%		69.6%	30.4%
#50	Arena media	0.297	107.9	678.1	13.2%	62.4%	82.8%	17.2%
#60	Arena media	0.25	59.6	737.7	7.3%		90.1%	9.9%
#80	Arena fina	0.177	57.2	794.9	7.0%	8.5%	97.1%	2.9%
#100	Arena fina	0.149	12.1	807	1.5%		98.5%	1.5%
#200	Arena muy fina	0.074	6.9	813.9	0.8%	1.5%	99.4%	0.6%
Total			5.1	819	0.6%	100.0%	100.0%	0.0%

ANEXO 18: TABLA DE MUESTRA 1 DEL PERFIL 3 DE EL CANELO – INVIERNO.

ANEXO 19: TABLA DE MUESTRA 2 DEL PERFIL 3 DE EL CANELO – INVIERNO.

			PPCa3-2					
			Σ					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido		% Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	72.4	72.4	9.5%	9.5%	9.5%	90.5%
#40	Arena media	0.42	128.9	201.3	16.9%		26.4%	73.6%
#45	Arena media	0.354	114.9	316.2	15.1%		41.4%	58.6%
#50	Arena media	0.297	166.4	482.6	21.8%	71.8%	63.3%	36.7%
#60	Arena media	0.25	137.4	620	18.0%		81.3%	18.7%
#80	Arena fina	0.177	112.5	732.5	14.7%	17.5%	96.0%	4.0%
#100	Arena fina	0.149	20.7	753.2	2.7%		98.7%	1.3%
#200	Arena muy fina	0.074	5.3	758.5	0.7%	1.3%	99.4%	0.6%
Total			4.4	762.9	0.6%	100.0%	100.0%	0.0%

ANEXO 20: TABLA DE MUESTRA 3 DEL PERFIL 3 DE EL CANELO – INVIERNO.

			PPCa3-3					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#30	Arena gruesa	0.595	170.1	170.1	20.8%	20.8%	20.8%	79.2%
#40	Arena media	0.42	252.5	422.6	30.8%		51.6%	48.4%
#45	Arena media	0.354	124.1	546.7	15.1%		66.7%	33.3%
#50	Arena media	0.297	126.1	672.8	15.4%	69.3%	82.1%	17.9%
#60	Arena media	0.25	64.8	737.6	7.9%		90.0%	10.0%
#80	Arena fina	0.177	59.2	796.8	7.2%	8.5%	97.2%	2.8%
#100	Arena fina	0.149	10.7	807.5	1.3%		98.5%	1.5%
#200	Arena muy fina	0.074	5.1	812.6	0.6%	1.5%	99.2%	0.8%
Total			6.8	819.4	0.8%	100.0%	100.0%	0.0%

ANEXO 21: TABLA DE MUESTRA 1 DEL PERFIL 1 DE LA COFRADÍA NÁUTICA – INVIERNO.

			PPCo1-1					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#10	Gravilla	2	142.9	142.9	17.7%	17.7%	17.7%	82.3%
#20	Arena gruesa	0.841	655.7	798.6	81.3%		99.0%	1.0%
#25	Arena gruesa	0.707	2.1	800.7	0.3%	81.6%	99.3%	0.7%
#30	Arena gruesa	0.595	0.3	801	0.0%		99.3%	0.7%
#40	Arena media	0.42	2.4	803.4	0.3%		99.6%	0.4%
#45	Arena media	0.354	0.8	804.2	0.1%		99.7%	0.3%
#50	Arena media	0.297	0.5	804.7	0.1%	0.5%	99.8%	0.2%
#60	Arena media	0.25	0.3	805	0.0%		99.8%	0.2%
#80	Arena fina	0.177	0.3	805.3	0.0%	0.2%	99.8%	0.2%
#100	Arena fina	0.149	0.1	805.4	0.0%		99.8%	0.2%
#200	Arena muy fina	0.074	0.1	805.5	0.0%		99.9%	0.1%
Total			1.2	806.7	0.1%	100%	100.0%	0.0%

ANEXO 22: TABLA DE MUESTRA 2 DEL PERFIL 1 DE LA COFRADÍA NÁUTICA – INVIERNO.

			PPCo1-2					
Malla		Abertura (mm)	Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#10	Gravilla	2	23.2	23.2	2.9%	2.9%	2.9%	97.1%
#20	Arena gruesa	0.841	772.6	795.8	95.4%		98.3%	1.7%
#25	Arena gruesa	0.707	9	804.8	1.1%	96.6%	99.4%	0.6%
#30	Arena gruesa	0.595	0.3	805.1	0.0%		99.4%	0.6%
#40	Arena media	0.42	1	806.1	0.1%		99.6%	0.4%
#45	Arena media	0.354	0.1	806.2	0.0%		99.6%	0.4%
#50	Arena media	0.297	0.1	806.3	0.0%	0.1%	99.6%	0.4%

- Liderar								
#60	Arena media	0.25	0.1	806.4	0.0%		99.6%	0.4%
#80	Arena fina	0.177	0.1	806.5	0.0%		99.6%	0.4%
#100	Arena fina	0.149	0	806.5	0.0%		99.6%	0.4%
#200	Arena muy fina	0.074	0	806.5	0.0%	0.4%	99.6%	0.4%
Total			3.2	809.7	0.4%	100.0%	100.0%	0.0%

ANEXO 23: TABLA DE MUESTRA 3 DEL PERFIL 1 DE LA COFRADÍA NÁUTICA – INVIERNO.

			PPCo1-3					
Malla	Abertura (mm)		Peso (gr)	Peso acum	% Retenido	Σ	% Retenido acum	% Pasa
#10	Gravilla	2	412.9	412.9	51.4%	51.4%	51.4%	48.6%
#20	Arena gruesa	0.841	382.8	795.7	47.7%		99.1%	0.9%
#25	Arena gruesa	0.707	3.1	798.8	0.4%	48.2%	99.5%	0.5%
#30	Arena gruesa	0.595	1.1	799.9	0.1%		99.6%	0.4%
#40	Arena media	0.42	0.2	800.1	0.0%		99.6%	0.4%
#45	Arena media	0.354	0.1	800.2	0.0%		99.7%	0.3%
#50	Arena media	0.297	0	800.2	0.0%		99.7%	0.3%
#60	Arena media	0.25	0	800.2	0.0%		99.7%	0.3%
#80	Arena fina	0.177	0	800.2	0.0%		99.7%	0.3%
#100	Arena fina	0.149	0	800.2	0.0%		99.7%	0.3%
#200	Arena muy fina	0.074	0	800.2	0.0%	0.3%	99.7%	0.3%
Total			2.8	803	0.3%	100.0%	100.0%	0.0%

ANEXO 24: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCa 1-1 - VERANO

Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCa 1-1	Media a buena	Media	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Feldespatos	Carbonatos	Líticos	Biotita	Magnetita
%	55%	20%	15%	7%	2%	1%

ANEXO 25: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCa 1-3 - VERANO

Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCa 1-3	Buena	Media	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Líticos	Feldespato	Carbonatos	Biotita	Magnetita
%	45%	20%	20%	9%	3%	3%

ANEXO 26: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCa 2-1- VERANO.

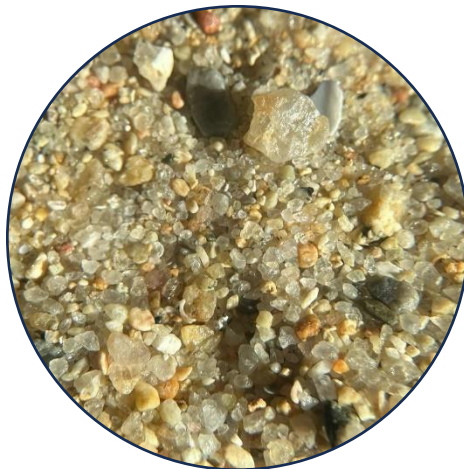
Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCa 2-1	Media a mala	Media	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Líticos	Carbonatos	Feldespato	Biotita	Magnetita
%	45%	22%	17%	14%	1%	1%

ANEXO 27: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCa 2-3- VERANO.

Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCa 2-3	Media a mala	Media	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Feldespato	Líticos	Carbonatos	Magnetita	Biotita
%	45%	23%	15%	10%	5%	2%

ANEXO 28: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCa 3-1- VERANO.

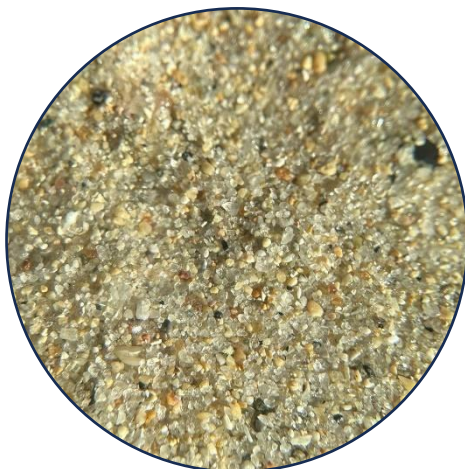
Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCa 3-1	Media a mala	Media	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Feldespato	Líticos	Carbonatos	Biotita	Magnetita
%	40%	22%	20%	10%	5%	3%

ANEXO 29: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCa 3-3- VERANO.

Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCa 3-3	Buena	Alta	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Líticos	Feldespatos	Carbonatos	Magnetita	Biotita
%	35%	25%	20%	10%	5%	5%

ANEXO 30: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCo 1-1- VERANO.

Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCo 1-1	Mala	Media	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Feldespatos	Líticos	Carbonatos	Magnetita	Biotita
%	40%	25%	20%	13%	1%	1%

ANEXO 31: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCo 1-4- VERANO.

Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCo 1-4	Media a mala	Media	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Líticos	Feldespatos	Carbonatos	Magnetita	Biotita
%	45%	23%	20%	10%	1%	1%

Invierno

ANEXO 32: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCa 1-1- INVIERNO.

Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCa 1-1	Media a buena	Media	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Feldespato	Líticos	Carbonatos	Magnetita	Biotita
%	45%	20%	20%	13%	1%	1%

ANEXO 33: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCa 1-2- INVIERNO

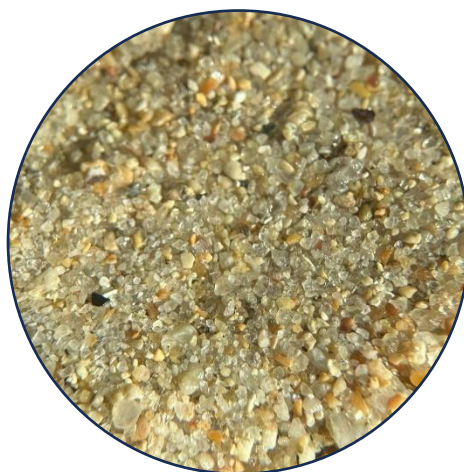
Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCa 1-2	Media a buena	Media	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Feldespato	Líticos	Carbonatos	Magnetita	Biotita
%	40%	30%	20%	8%	1%	1%

ANEXO 34: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCa 2-1- INVIERNO

Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCa 2-1	Media a buena	Media	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Feldespato	Líticos	Carbonatos	Magnetita	Biotita
%	45%	25%	18%	10%	1%	1%

ANEXO 35: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCa 2-3- INVIERNO

Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCa 2-3	Media a buena	Media	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Feldespato	Líticos	Carbonatos	Biotita	Magnetita
%	40%	25%	18%	9%	5%	3%

ANEXO 36: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCa 3-1- INVIERNO

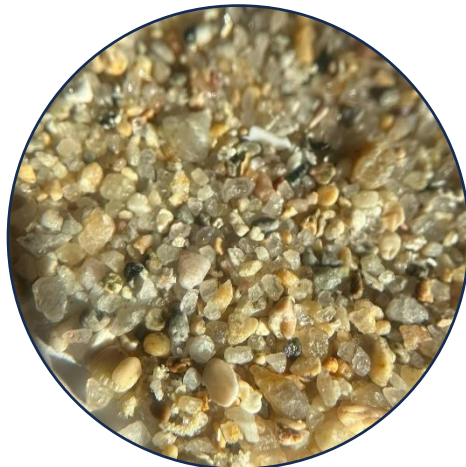
Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCa 3-1	Media a mala	Media	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Feldespato	Líticos	Carbonatos	Magnetita	Biotita
%	43%	25%	20%	10%	1%	1%

ANEXO 37: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCa 3-3- INVIERNO

Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCa 3-3	Media a mala	Media a baja	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Feldespato	Líticos	Carbonatos	Biotita	Magnetita
%	40%	27%	16%	10%	5%	1%

ANEXO 38: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCo 1-1- INVIERNO

Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCo 1-1	Mala a muy mala	Media a alta	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Líticos	Feldespato	Biotita	Carbonatos	Magnetita
%	41%	25%	18%	3%	1%	1%

ANEXO 39: FICHA DE DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL MUESTRA PPCo 1-3- INVIERNO

Muestra	Selección	Esfericidad	Redondez
PPCo 1-3	Media a mala	Media	Subangulosos



Minerales						
	Cuarzo	Líticos	Feldespato	Biotita	Carbonatos	Magnetita
%	38%	30%	27%	3%	1%	1%