



# Recarga artificial de playa en el sector costero de Playa Dorada (partido de Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires): cambios geomorfológicos y sedimentológicos en la dinámica costera natural

**María Paula BUNICONTRO<sup>1,2 (\*)</sup>, Rubén Alberto MEDINA<sup>1,2,3</sup>, Juan Manuel ALBITE<sup>1,4</sup>, Silvia Cristina MARCOMINI<sup>1,2</sup> y Rubén Álvaro LÓPEZ<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas, Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>CONICET-Universidad de Buenos Aires, Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA), Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup>Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Departamento de Agrimensura, Buenos Aires, Argentina.

<sup>4</sup>Servicio de Hidrografía Naval (SHN), Departamento de Oceanografía, Buenos Aires, Argentina

paulabunicontro@hotmail.com; medinaruben01@yahoo.com.ar; jmalbite@gmail.com; scm@gl.fcen.uba.ar; rlopez@gl.fcen.uba.ar

**Editor:** Ricardo A. Astini

Recibido: 12/07/2024

Aceptado: 26/12/2024

## RESUMEN

En este trabajo se estudia el caso de una obra de recarga de playa finalizada en junio de 2022 en el frente costero del barrio Playa Dorada, al sur del partido de Mar Chiquita (37°52' 13"S - 57°30' 53"O) en la provincia de Buenos Aires, Argentina. El objetivo de esta contribución es analizar los cambios geomorfológicos y morfométricos de la playa antes y después de la recarga, las variaciones texturales y composicionales de los sedimentos que la componen, y la evolución del depósito en el tiempo a fin de estimar su durabilidad. Luego de la recarga, se ha detectado una importante participación de procesos continentales en la redistribución de sedimentos (fluvial, eólico y remoción en masa) por sobre los marinos, dando lugar al desarrollo de nuevas morfologías en el perfil de playa, tales como flujos de arena, abanicos aluviales y cárcavas. Los resultados demuestran, en general, un aumento en el tamaño de grano medio, así como un ligero aumento en la pendiente de playa total. Se observó también que las diferencias granulométricas y composicionales entre el material de trituración utilizado para la recarga (grava muy fina arenosa compuesta por cuarzo subanguloso) y el material originario (arena media a fina dominada por fragmentos redondeados de líticos volcánicos y cuarzo) no afectaron considerablemente la durabilidad de la obra. La misma ha sido relativamente buena en comparación a otras similares ejecutadas en la zona e intermedia en términos de Leonard et al. (1990a). Se estima que durante el primer año desde el fin de la recarga se perdió el 34 % del material original incorporado y, respecto de la vida útil, se alcanza a perder el 50% aproximadamente luego de 17 meses de finalizada la obra (fines de noviembre de 2023).

**Palabras claves:** repoblamiento de playa, geomorfología, costa, erosión, manejo costero

## ABSTRACT

*Artificial beach nourishment on the coast of Playa Dorada (Mar Chiquita, province of Buenos Aires): geomorphological and sedimentological changes in natural coastal dynamics.*

This study examines a beach nourishment project completed in June 2022 along the coastal front of the Playa Dorada neighborhood, located in the southern part of the Mar Chiquita district (37°52'13"S - 57°30'53"W), Buenos Aires Province, Argentina. The research aims to analyze the geomorphological and morphometric changes of the beach before and after nourishment, the textural and compositional variations of the sediments, and the evolution of the deposit over time to estimate its durability. Post-nourishment analysis

revealed a significant influence of continental processes (fluvial, aeolian, and mass removal) over marine processes in sediment redistribution. This led to the development of new beach profile morphologies, including sand flows, alluvial fans, and gullies after the recharge. Results indicate an overall increase in mean grain size and a slight steepening of the beach slope. The differences in grain size and composition between the nourishment material (very fine sandy gravel composed of subangular quartz) and the native beach sediment (medium to fine sand dominated by rounded volcanic lithics and quartz) did not significantly impact the project's durability. The nourishment has performed relatively well compared to similar projects in the region and is of intermediate durability according to Leonard et al. (1990a). During the first year after the nourishment, approximately 34% of the added material was lost. By late November 2023, 17 months after the project's completion, an estimated 50% of the material had been lost, suggesting a moderate useful lifespan for the intervention.

**Keywords:** beach nourishment, geomorphology, coast, erosion, coastal management

## INTRODUCCIÓN

La costa sudeste de la provincia de Buenos Aires ha sido alterada por la intervención antrópica a partir de la segunda década del siglo XX tras la construcción del puerto de la ciudad de Mar del Plata. Desde entonces, la escollera sur del puerto ha generado una tendencia erosiva hacia el norte, que ha sido paulatinamente compensada con la instalación de obras ingenieriles de moderación y acorazamiento tales como espigones, paredones verticales, montículos de bloques, entre otras (López y Marcomini 2002, 2014, Isla 2006, Marcomini y López 2007, Bunicontro et al. 2015, Medina et al. 2016). Para las décadas de 1970 y 1980, gran parte de todo este sector costero (desde la ciudad de Mar del Plata hasta la localidad de Santa Clara del Mar) ya se encontraba parcialmente intervenido con espigones (Marcomini y López 1993, Bértola 2006, Bunicontro 2012, Bunicontro et al. 2013, Merlotto et al. 2017, Isla et al. 2018). En combinación con este tipo de obras, las tareas de mitigación de la erosión se han complementado con obras de restauración, especialmente con episodios de recarga artificial de playas (Marcomini y López 1993, 1999, 2006, Isla 2003, Bértola et al. 2016, Medina et al. 2023).

La recarga artificial es un método que ha tomado gran popularidad para tratar problemas de erosión costera en distintos países del mundo (Marcomini y López 2004). La obra tiene como finalidad introducir sedimentos en un sector de playa para mitigar la erosión crónica y generar un depósito que proteja la playa distal de la erosión provocada por futuras tormentas, siendo el único manejo que promueve la saturación de sedimentos de las corrientes del sistema litoral (Marcomini y López 2014). En el caso de la recarga artificial resulta importante contar con información previa que refleje el comportamiento de la playa natural, tales como los volúmenes de arena movilizados, el tipo de sedimento (granulometría y composición), los parámetros morfométricos de playa (ancho y pendiente) y las características hidrodinámicas de la

costa (olas, mareas, corrientes y deriva litoral, ondas de tormenta). También, es especialmente necesaria la realización de monitoreos antes y después de la recarga para predecir la evolución a largo plazo de estos tipos de proyectos y su durabilidad (Marcomini y López 1999).

En este sentido, la vida útil o durabilidad de una obra es definida, según Leonard et al. (1990 a y b), como el tiempo transcurrido entre su finalización y el momento en el que la pérdida de material es de al menos el 50% del volumen original de la recarga, determinando así tres categorías: menos de 1 año, entre 1 y 5 años y más de 5 años. Para ello, se ha visto que los principales factores que condicionan las variaciones en la durabilidad de una recarga artificial de playa son la longitud de la playa recargada, la densidad del relleno, el tamaño de grano, la presencia de espigones y la actividad de tormentas (Leonard et al. 1990a). La longitud de playa recargada está relacionada con la extensión del proyecto y es considerada uno de los factores más determinantes en la durabilidad de la obra (Dean 1983, 1988), resultando que una recarga de playa más extensa tenderá a ser más duradera (Leonard et al. 1990a). La densidad del relleno (volumen por unidad de longitud, según los parámetros para el diseño de recargas de Leonard et al. 1990a) ejerce una influencia significativa en el porcentaje de material que perdurará al cabo del primer año. Para ello, Leonard et al. (1990b) establecieron tres categorías de baja, intermedia y alta densidad inicial, respectivamente: 0-100 m<sup>3</sup>/m, 100-450 m<sup>3</sup>/m y más de 450 m<sup>3</sup>/m. El tamaño de grano (así como la selección) del material utilizado es otro parámetro fundamental en la vida útil de la obra, entendiendo que sedimentos ligeramente mayores a los originales le otorgan mayor estabilidad a la playa mejorando su durabilidad, por ejemplo, ante eventos de tormentas (Marcomini y López 2004). El diseño de la obra de recarga con espigones también ha sido documentado como un factor que favorece la perdurabilidad del material en la playa, especialmente en costas rectilíneas. Finalmente, el régimen de

tormentas es determinante en cuanto a la erosión del material de recarga en el tiempo, y puede expresarse en función del número de tormentas ocurridas durante el primer año de obra o del tiempo transcurrido entre la colocación del relleno y el primer evento de tormenta (Winton et al. 1981, Ashley et al. 1987, Leonard et al. 1988). Se ha visto que recargas cuya categoría de durabilidad es menor de 1 año han sido sometidas a dos o más tormentas antes de los primeros cuatro meses, y que aquellas playas en categorías de 1 a 5 años o mayores de 5 años han sido afectadas mayormente por una o ninguna tormenta durante el primer año (Leonard et al. 1990b).

En el contexto internacional se destacan numerosos ejemplos exitosos de recarga de playas durante las últimas décadas como, por ejemplo, Copacabana en Río de Janeiro, Brasil (Vera-Cruz 1972), Gold Coast en Queensland, Australia (Boak et al. 2001), Miami Beach en Florida, Estados Unidos (Shivlani et al. 2003), la bahía de Hong Kong (Leatherman 1996) y la playa Guanyinshan en Xiamen (Cao et al. 2009, Wang et al. 2009) en China, entre otras recargas efectuadas en Italia y Países Bajos. En general, se han obtenido muy buenos resultados recargando simultáneamente los sectores de playa emergida y sumergida (Charlier y De Meyer 1997).

En Argentina, un claro ejemplo de proyecto de recarga artificial de playas fue realizado en la costa de Mar del Plata en 1998 particularmente en las playas Grande, Varese y Bristol. Allí se volcaron aproximadamente 2500000 m<sup>3</sup> de arena para ampliar en más de 100 m el ancho de esas playas. En este caso, se planificó una recarga a lo largo de 2650 metros de costa, con un volumen estimado de 1670000 m<sup>3</sup> en playa Bristol, 660000 m<sup>3</sup> en playa Grande y 150000 m<sup>3</sup> en playa Varese (Marcomini y López 1999, 2004). El material fue extraído y transportado de un sector del Puerto de Mar del Plata mediante dragado y refulado por cañerías y, para favorecer la retención de sedimentos, se complementó la recarga con la construcción de un nuevo espigón y la extensión de otros existentes (Marcomini y López 1999). En playa Bristol, la tasa de retroceso de la escarpa fue de 2.3 m/mes en el primer año, disminuyendo a una media de 1.18 m/mes durante los tres años subsiguientes. Los resultados mostraron en playa Bristol una pérdida de material de 22.3 % en el primer año, aumentando a 51.9 % en los tres años subsiguientes, mientras que en playa Varese y playa Grande la pérdida fue relativamente menor, entre 10 y 18 % en los primeros tres años (Marcomini y López 2004). De acuerdo con estos autores la durabilidad de este proyecto fue buena a muy buena.

Una de las obras de restauración de playa más recientes de la ciudad de Mar del Plata fue la recarga artificial de la playa del balneario Honu Beach, realizada en 2014, sobre un frente de 80 m (Bértola et al. 2016) con aproximadamen-

te 1200 toneladas de arena. A diferencia de la anterior en la misma ciudad, esta obra tuvo una durabilidad muy baja, fue mucho más reducida en cuanto al volumen de recarga y el material provino de la trituración de rocas cuarcíticas de canteras cercanas, con una composición del 65 % de arena, un 34 % de grava y un 1 % de limo.

Dentro de la provincia de Buenos Aires también se han llevado adelante episodios de recarga de menor magnitud en el partido de La Costa mediante camiones, como en Las Toninas, Mar del Tuyú y Mar de Ajó (Marcomini y López 2007, 2010) y otras con técnicas de by-pass como en Necochea - Quequén (Tomazin et al. 2020) y Mar Chiquita. En general se ha visto que los episodios de recarga que alcanzaron mejores rendimientos en forma inmediata fueron aquellos donde la arena se depositó en la playa distal, fuera del alcance directo de las olas (Marcomini y López 2014).

En el presente trabajo se analizan los resultados de la obra de recarga artificial de playas realizada en el frente costero del barrio Playa Dorada del partido de Mar Chiquita. La obra tuvo una longitud de recarga de 258 m, entre las calles El Gavilán y Ramón Franco y fue planificada en tres tramos de 131, 29 y 98 m de frente costero de sur a norte. Se colocaron 38 m<sup>3</sup> por metro lineal (un volumen bajo según las categorías establecidas por Leonard et al. 1990b) completando un volumen total de 9804 m<sup>3</sup> de material. La obra se ejecutó con recargas mensuales y comenzó en noviembre de 2021. Entre mediados de diciembre hasta marzo estuvo interrumpida y volvió a retomarse en abril de 2022 para finalizar en junio de ese mismo año. De acuerdo con la Evaluación de Impacto Ambiental, realizada por el Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos del Gobierno de la provincia de Buenos Aires (EIA 2021), se propuso ejecutar una mezcla de arenas compuesta por una proporción de hasta un 40 % de arena de trituración de cantera lavada y un 60 % de arena natural, para así lograr una media granulométrica mayor que la arena nativa. Para esta obra se utilizó arena natural de playa extraída de la escollera sur del Puerto de Mar del Plata y arena de trituración de cantera lavada (de rocas cuarcíticas) proveniente de Canteras Yaraví S.A., ubicada en la zona minera de Batán. De acuerdo con la EIA (2021), se consideró un máximo de recurrencia de tres eventos de ondas de tormenta por año para la zona de obra, entendiendo como onda de tormenta a una onda de marea meteorológica superior a los 2 m respecto del plano de referencia (las cuales pueden durar entre 1.5 y 2.5 días en la mayoría de los casos).

Este trabajo tiene como objetivo realizar un estudio evolutivo de la geomorfología y sedimentología del sector de playa del balneario Playa Dorada, al sur de la localidad de Santa Clara del Mar, que ha sido modificado por una obra

de recarga artificial entre 2021 y 2022 empleando arenas de trituración cuarcíticas producidas en canteras de la región y arenas provenientes de areneras del puerto de Mar del Plata. Esta contribución pretende analizar la evolución volumétrica del depósito en el tiempo, las características geomorfológicas previas y posteriores a la recarga, así como los cambios morfométricos del perfil de playa original, y los cambios texturales y composicionales de los sedimentos de los distintos subambientes de playa. Finalmente, se busca determinar la durabilidad de la obra y discutir sobre los beneficios y desventajas de la aplicación de este tipo de medidas de restauración de playas en un ambiente como lo es la costa sureste bonaerense, afectada históricamente por la erosión, altamente demandada por la expansión urbana y económicamente tan importante desde el punto de vista del uso de los recursos costeros.

## ÁREA DE ESTUDIO

Playa Dorada es una pequeña localidad costera que se encuentra en el sudeste de la provincia de Buenos Aires en el municipio de Mar Chiquita y cercano al límite con el municipio de General Pueyrredón, aproximadamente a unos 13

km al norte de la ciudad de Mar del Plata y a 3 km al sur de Santa Clara del Mar (Fig. 1). La zona de estudio ( $37^{\circ}52' 13''\text{S}$  -  $57^{\circ}30' 53''\text{O}$ ) constituye una bahía dominada por acantilados activos en los cabos y una playa de bolsillo de aproximadamente 230 m de largo en el sector central.

Geológicamente los acantilados están constituidos por una secuencia sedimentaria de edad pleistoceno-holocena en la que predominan arenas finas a muy finas con intercalaciones de niveles de origen volcánico, paleosuelos y delgados niveles de material carbonático. Composicionalmente los depósitos están dominados por feldespatos, cuarzo y fragmentos líticos de origen principalmente volcánico (Buniconro 2012). La erosión de estos acantilados aporta entre un 30 y 50 % de arena al sistema costero, siendo la principal fuente de sedimentos a las playas (López et al. 2023).

El clima de la región es templado húmedo, el régimen de mareas es micromareal semidiurno con una amplitud media de 0.78 m (SHN 2024) y la deriva litoral neta es en sentido SSO a NNE. Las mayores alturas de olas se alcanzan fundamentalmente en los eventos de sudestadas que afectan a la costa bonaerense, las cuales aumentan el nivel del mar debido a los fuertes vientos provenientes de ese sector (Isla et al. 2023).



Figura 1. Mapa de ubicación.

## METODOLOGÍA

Se describen a continuación los materiales y métodos utilizados en cada aspecto del estudio. El trabajo de campo incluye datos de una campaña realizada en marzo de 2011 y diversas campañas posteriores (agosto 2022, junio 2023, julio 2023 y agosto 2023), particularmente enfocadas a la caracterización del evento de recarga artificial de Playa Dorada.

### Retroceso de la línea de costa

El retroceso de la línea de costa se cuantificó a través de

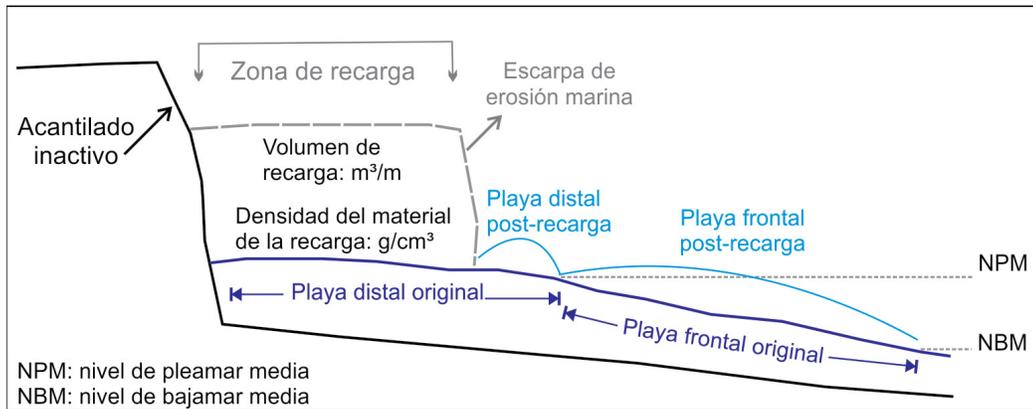
un análisis multitemporal, empleándose una fotografía aérea del Instituto Geográfico Nacional (escala 1:35000) del 13 de junio de 1960 y una imagen de Google Earth Pro (escala submétrica corroborada en campo) del 14 de octubre de 2021, siendo esa fecha anterior y cercana a la recarga.

### Evolución de la recarga artificial de playa

Los cambios morfológicos en la playa se analizaron mediante un seguimiento multitemporal a través de ocho imágenes Google Earth que abarcaron el lapso comprendido entre el 12 de diciembre de 2021 y el 26 de febrero de 2024. En



**Figura 2.** Evolución del balneario Playa Dorada tras la recarga artificial en el sector de playa (período octubre 2021 - febrero 2024). a) Situación previa a la recarga. b) Etapa inicial de la obra de recarga. c) Escarpa de erosión marina parcialmente retrabajada. Ubicación de los perfiles 1 y 2. d) Retrabajo del material de relleno. Ubicación de los sectores de control de la evolución de las escarpas: SS, sector sur; SC: sector central; SN: sector norte (véase figura 5). e y f) Escarpas de erosión marina con retrabajo incipiente. Ubicación de las muestras: M1: material de recarga (roca triturada), M2: abanico aluvial, M3: flujo de arena, M4: rampa mixta, M5: berma, M6: playa frontal.



**Figura 3.** Perfil esquemático en el cual se resumen los términos utilizados en el trabajo.

particular, la evolución de las escarpas se efectuó en tres transectas situadas en el sector norte (SN), central (SC) y sur (SS) del área analizada (Fig. 2d). Por su parte, la cuantificación volumétrica se realizó con un sistema de información geográfica de código abierto, QGIS. Para este análisis se utilizó la información areal obtenida de las imágenes satelitales y las pendientes de playa y alturas de las escarpas de erosión marina obtenidas en el trabajo de campo.

### Perfil de playa y cambios morfológicos

Los perfiles transversales a la línea de costa se realizaron en el sector norte de la bahía (Figura 2c) y fueron medidos con estación total (Spectra Precision modelo Constructor) y georreferenciados a un punto fijo (37°52'9"S-57°30'55"O) con sistema de posicionamiento global en marzo de 2011 (Perfil 1) y julio de 2023 (Perfil 2). Se calcularon y compararon los parámetros morfométricos de ambos perfiles (ancho y pendiente de playa distal y frontal) junto a cambios en los rasgos morfológicos de cada subambiente.

La terminología utilizada se resume en el esquema de la figura 3. Allí se distinguen los sectores correspondientes a la playa distal y frontal previos (es decir, del perfil original) y posteriores a la obra. A su vez, se indica la ubicación de la zona de la recarga dentro del perfil de playa, y qué se entiende por volumen y densidad de los materiales. La escarpa de erosión marina corresponde al desnivel que se genera en el frente del depósito por acción del oleaje.

### Análisis textural de sedimentos

El análisis sedimentológico se realizó mediante la recolección manual y superficial de aproximadamente 500 gramos de sedimento por muestra, antes y después de la recarga. En el perfil natural original (2011) se tomaron muestras de playa distal, rampa mixta (origen eólico y por remoción en masa) y playa frontal (alta, media y baja). Para representar las características composicionales y texturales de los sedimentos correspondientes a las nuevas geoformas generadas luego

de la obra se tomaron muestras de: a) material de trituración, b) abanico aluvial, c) rampa mixta, d) flujo de arena, e) berma y f) playa frontal, durante la campaña de junio de 2023 (Fig. 2e).

El procedimiento en el laboratorio consistió en el secado y cuarteo de todas las muestras por igual hasta la obtención de un peso aproximado de 100 gramos. Se utilizó la división granulométrica de Udden-Wentworth (Wentworth 1922) transformada en escala phi. Los sedimentos fueron tamizados a escala de  $\frac{1}{2}$  phi utilizando Ro-Tap durante 15 minutos en un rango de -3.5 a 4 phi (grava media a arena muy fina). Se calcularon los porcentajes en peso de las clases granulométricas para luego realizar los histogramas de frecuencia porcentual. Para el análisis estadístico se utilizó el programa Gradistat versión 9.1 (Blott 2000, Blott y Pye 2001) y se obtuvieron los parámetros de media, moda, selección, asimetría y curtosis, en base al método gráfico de Folk y Ward (1957). Además, se calcularon los porcentajes de grava, arena y de fracción más fina (limo-arcilla) de cada muestra para su clasificación textural según el triángulo de Folk et al. (1970).

### Análisis composicional de sedimentos

Con el fin de analizar la composición del material de trituración y de los subambientes (y morfologías) generados luego de la obra, se seleccionaron las siguientes fracciones de cada muestra del perfil 2: el material de trituración en 1.5 phi, el abanico aluvial en 1.5 phi, la rampa mixta en 2.5 phi, el flujo de arena en 2.5 phi, la berma en 2 phi y la playa frontal en 2.5 phi. Dichas fracciones fueron seleccionadas en función de las modas de las muestras y, en aquellas muestras más gruesas, se consideraron fracciones similares texturalmente comparables entre sí. En un análisis preliminar, los sedimentos fueron observados a través de una lupa binocular marca Lancet con ocular de 20x. Para un estudio de detalle, se realizaron montajes de grano suelto que fueron analizados como cortes delgados bajo microscopio petrográfico. Para obtener un porcentaje representativo de cada componente se proce-



**Figura 4.** a) Escarpa correspondiente a la recarga original (3.4 m) sobre la cual se labró una escarpa de erosión marina de 1 m de altura. En detalle, se observa el aspecto cordoniforme del depósito de recarga. b) Escarpa de erosión marina (1.9 m) retrabajada parcialmente por procesos de remoción en masa. c) Escarpa de erosión marina (0.9 m) retrabajada incipientemente por procesos de remoción en masa y fluviales.

dió al conteo de al menos 300 individuos por cada muestra.

## RESULTADOS

### Línea de costa y evolución de la recarga

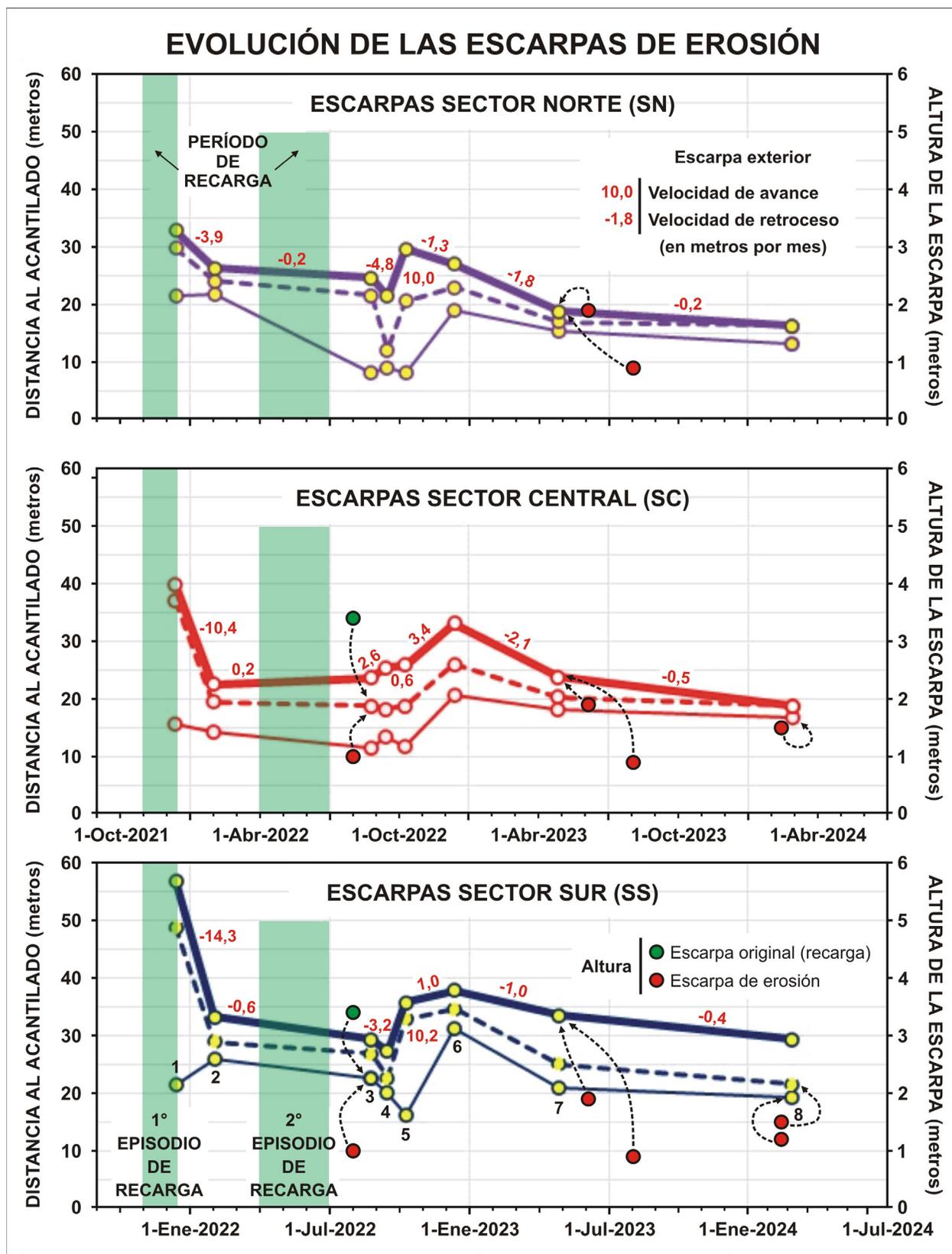
Del análisis multitemporal de las imágenes se obtuvo que en el período comprendido entre el 13 de junio de 1960 y la fecha de la recarga (61.3 años), la línea de costa retroce-

dió en algunos sectores 6 m como máximo, a una tasa anual promedio de 9.8 cm/año, en tanto que en otros sectores el retroceso fue despreciable. Luego de la recarga, el retroceso del acantilado se detuvo, tornándose inactivo.

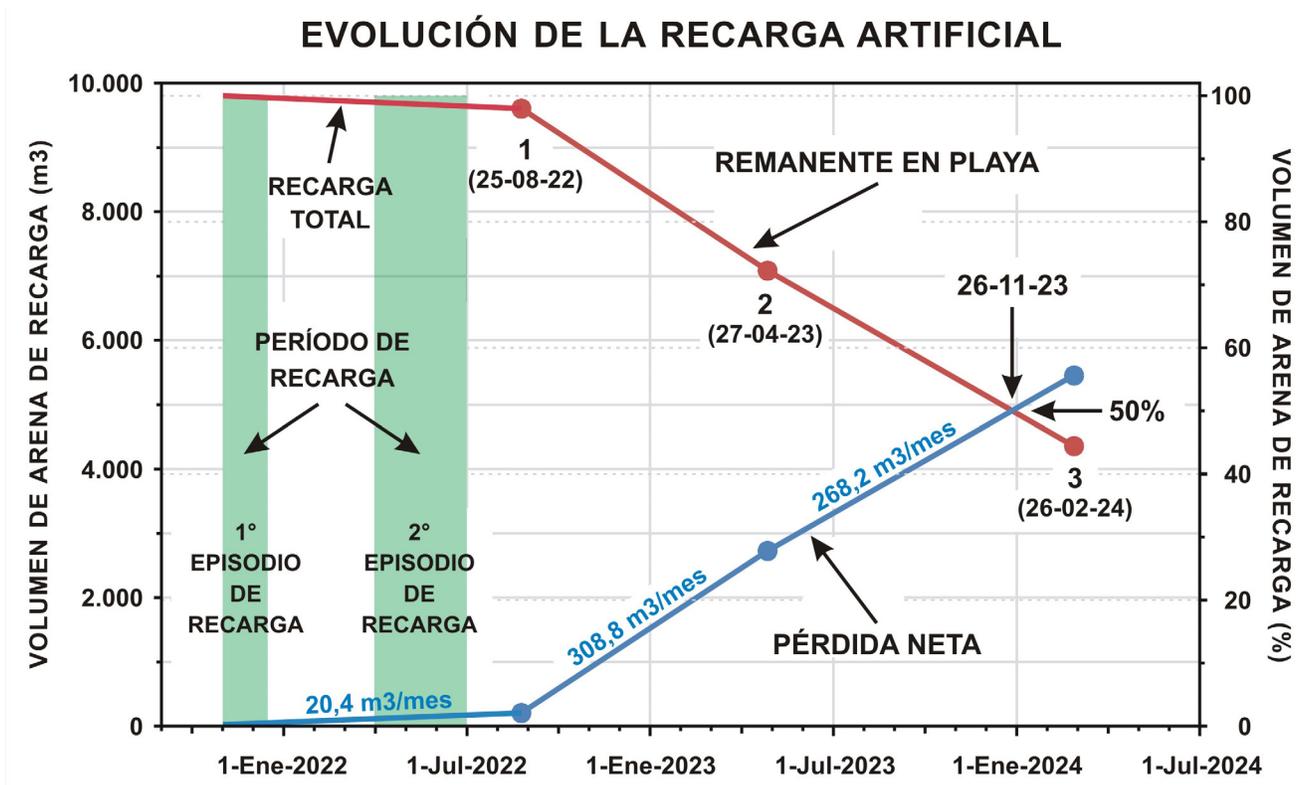
De acuerdo con el plano de obra, inicialmente la recarga cubrió una superficie aproximada de 6000 m<sup>2</sup>. Sin embargo, como producto de la removilización del material en el interior de la bahía, poco tiempo después se verificó que el área abarcada por el depósito alcanzó 8500 m<sup>2</sup>, con una extensión hacia el mar de al menos 57 m.

En cada medición efectuada se identificaron tres o más escarpas a distintas cotas, con diferentes grados de conservación y desniveles comprendidos entre 0.3 m y 3.4 m (Fig. 4). En particular, este último valor correspondió a la altura registrada entre el techo de un depósito cordoniforme, perteneciente al segundo y último episodio de recarga efectuado entre abril y junio de 2022, y el nivel de playa; en tanto que la altura entre dicho depósito y su base en dirección al acantilado fue de alrededor de 1.9 metros. Las demás escarpas se generaron posteriormente por acción marina. Estas escarpas presentaron originalmente una pendiente vertical que fue modificada luego por procesos de remoción en masa, fluviales y eólicos, llegando algunas a desaparecer con el transcurso del tiempo. A diferencia de estas últimas, las escarpas originales del depósito cordoniforme correspondiente a la recarga presentaron pendientes compatibles con la arena en equilibrio (Fig. 4).

Al finalizar el primer episodio de recarga, a mediados de diciembre de 2021, fueron registradas las máximas distancias comprendidas entre las escarpas de erosión marina y el acantilado. Posteriormente, las tendencias muestran tres comportamientos en cuanto a la movilidad de las escarpas: un primer período de retroceso, un segundo período de avance hacia el mar y un tercer período de retroceso (Fig. 5). Entre diciembre de 2021 y septiembre de 2022, se verifican importantes retrocesos en toda la bahía con tasas medias de retroceso de 2.96, 2.53 y 6.03 m/mes, en el sector norte, centro y sur, respectivamente. Estos valores muestran un retroceso promedio general de 3.8 m/mes durante esos primeros 9 meses. Entre los meses de octubre de 2022 y diciembre de 2022 se registra un avance promedio de las escarpas hacia el mar de 5.4 m/mes debido a la redistribución natural y/o antrópica del material de recarga original, con valores de 4.35, 2 y 5.6 m/mes en el norte, centro y sur, respectivamente. Finalmente, desde diciembre de 2022 hasta febrero de 2024 se observó una nueva tendencia al retroceso de las escarpas con tasas medias de 1 m/mes en toda la bahía, vinculada a procesos de erosión marina. Sobre la base de estos resultados, se observa que la tasa de movilidad de las escarpas ha sido rela-



**Figura 5.** Evolución de la distancia de las escarpas respecto al acantilado. En cada medición se identificaron tres o más escarpas con diferentes grados de conservación. Se consideró la escarpa situada a mayor distancia respecto al acantilado (línea continua gruesa), a menor distancia (línea continua fina) y una intermedia (línea entrecortada). Algunas escarpas cuentan con su altura en metros (círculos rojos) obtenida en el campo. Los sitios de medición (sectores sur, central y norte) se indican en la figura 2. Las imágenes Google Earth utilizadas fueron: 1) 12-12-21, 2) 31-01-22, 3) 25-08-22, 4) 14-09-22, 5) 9-10-22, 6) 12-12-22, 7) 27-04-23 y 8) 26-02-24.



**Figura 6.** Evolución del volumen de la recarga en el tiempo. Los porcentajes señalan la proporción de arena de recarga remanente en el sitio (en rojo) y la pérdida neta del relleno artificial de playa (en celeste).

tivamente mayor en los sectores norte y sur, especialmente durante el primer año de registro, mientras que durante el último período dicha tasa ha disminuido, mostrando retrocesos más homogéneos a lo largo de la bahía. Finalmente, si bien se registra un ligero avance en la posición de las escarpas entre octubre y diciembre de 2022, la tendencia general desde el final de la recarga es al retroceso de estas y a la pérdida gradual de material.

En concordancia con el retroceso señalado, los cálculos volumétricos de la evolución de la recarga a lo largo del tiempo revelaron tres tendencias claras. Durante el período que duró la intervención (01-11-2021 al fin de la obra el 30-06-2022) se perdió una pequeña proporción de material (unos 165 m³) a una tasa muy baja de aproximadamente 20.4 m³/mes, la cual se mantuvo hasta agosto de 2022 (25-08) cuando se estima que se conservaba el 97.9 % del depósito original (unos 9602 m³). Posteriormente, en abril (27-04) de 2023 dicho valor se redujo a un 72.2 % (7080 m³) detectándose una velocidad de pérdida mucho más elevada de 308,8 m³/mes durante esos ocho meses. Finalmente, en febrero (26-02) de 2024, luego de dos años y cuatro meses desde el inicio de la obra, se calculó la permanencia en la bahía de un 44.4 % (4353 m³) del volumen inicial de recarga (Fig. 6) con una tasa de pérdida menor estimada en 268.2 m³/mes.

Asimismo, se observa particularmente que en los secto-

res sur y norte de la bahía la pérdida del material ha sido más importante en cuanto a volumen, en concordancia con los resultados de movilidad de las escarpas. Incluso, en un punto del sector norte, se observa que el acantilado ha vuelto a ser activo. Estas diferencias en relación con la pérdida de material observadas a lo largo de la bahía podrían vincularse con procesos erosivos naturales potenciados por factores antrópicos.

Finalmente, sobre la base de los resultados, se registra una velocidad promedio de pérdida de volumen de material de 261.7 m³/mes desde el fin de la intervención (julio 2022) hasta febrero de 2024, con tres tendencias claras de variación: una primera tasa muy baja seguida de una muy alta, para finalizar con una tasa moderada. Se estima que durante el primer año desde el final de la obra (período comprendido entre julio 2022 y julio 2023) se perdió el 34% del material original de recarga. Respecto de la vida útil, se alcanza a perder el 50% del total luego de aproximadamente 17 meses de finalizada la obra, a fines de noviembre de 2023.

### Geomorfología de los perfiles de playa antes (2011) y después de la recarga (2023)

Del análisis del perfil 1 se observa que originalmente la línea de costa estaba delimitada por un acantilado activo (Fig. 7a) y que en la bahía se desarrollaba una típica playa de bol-

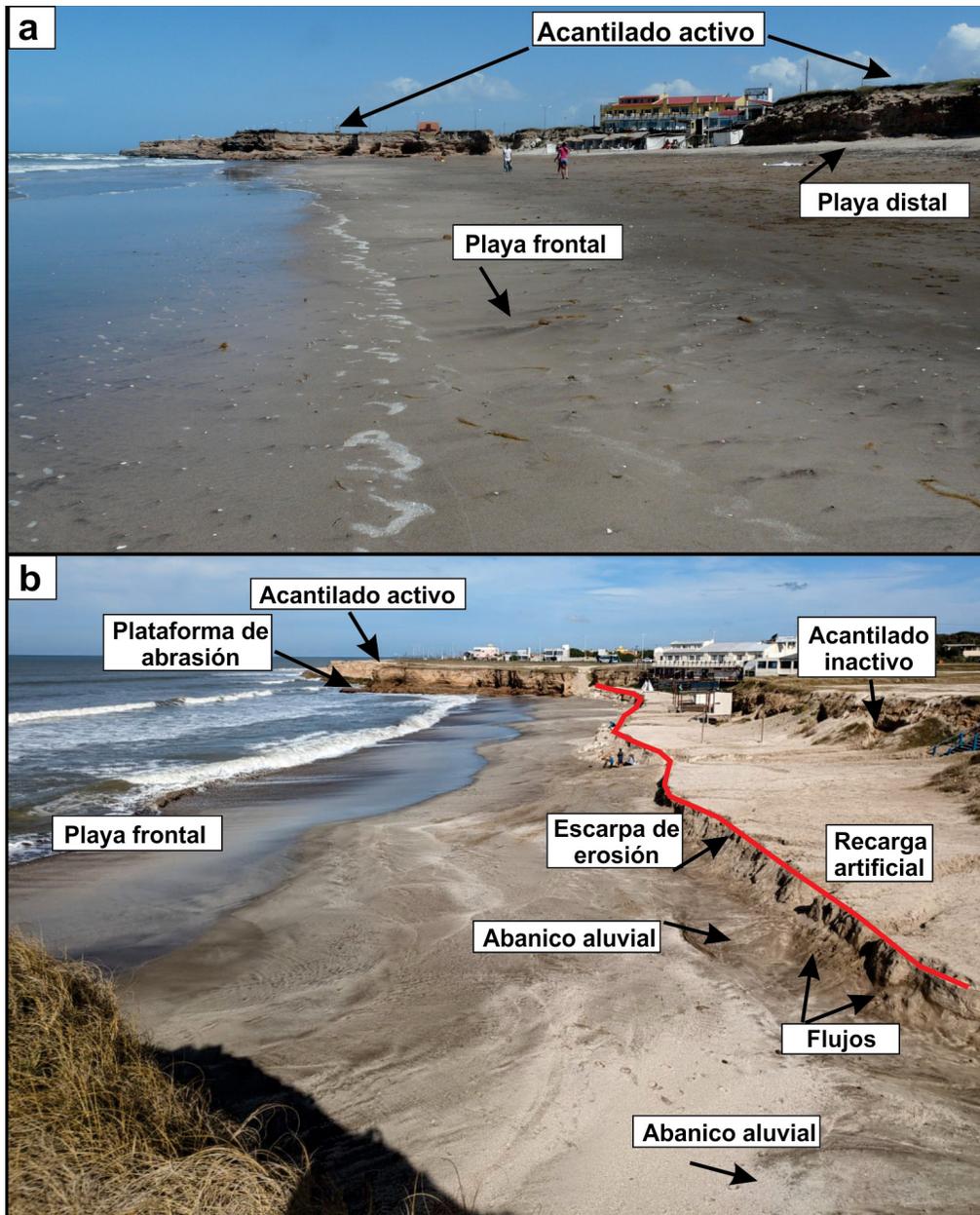


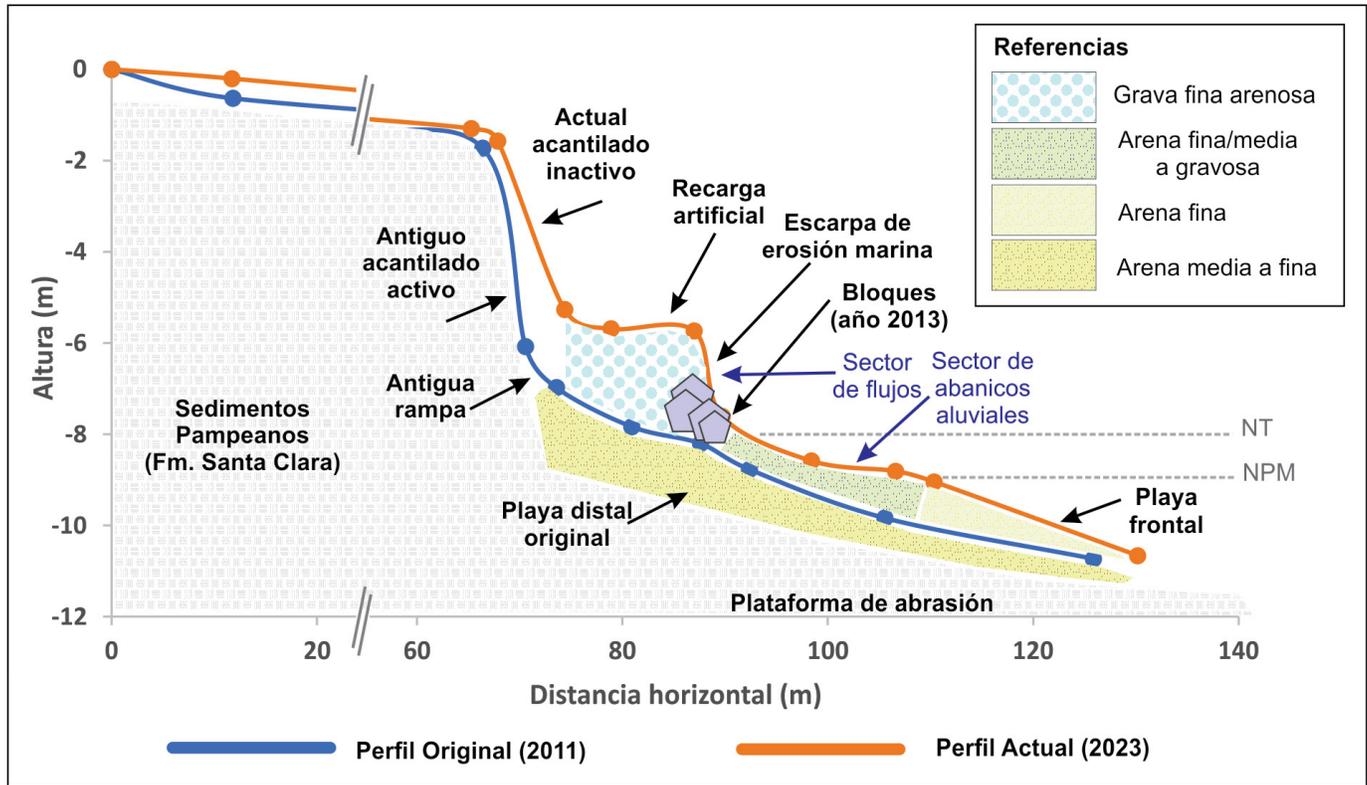
Figura 7. a) Perfil de playa en marzo de 2011; b) Perfil de playa en agosto de 2023.

sillo, en la cual podían distinguirse los subambientes de playa distal y frontal. Al pie del acantilado se desarrollaba una rampa mixta (dominada por procesos eólicos y de remoción en masa) de unos 50 cm de altura y en la playa distal podía identificarse un depósito de berma estacional. En ese momento, la principal alteración de origen antrópico estaba asociada a la degradación de un depósito de manto eólico sobre el techo del acantilado, principalmente debido a la presencia de edificaciones en el sector sur de la bahía y al tránsito vehicular y peatonal.

El perfil 2 (2023) muestra un acantilado inactivo, cuyo frente presenta menor pendiente y algo de vegetación. Su altura es menor respecto de la medición del 2011 ya que su base se encuentra parcialmente cubierta por el depósito de la recarga

(Fig. 7b). A su vez, este depósito modifica las características morfológicas originales de la playa distal, reduciendo su ancho respecto del perfil natural. Por otra parte, si bien la pendiente general de toda la playa es similar a la medida en 2011 (aunque con un ligero incremento), se registra un aumento en la pendiente de la playa frontal y una disminución en la pendiente de la playa distal entre el 2011 y el 2023.

La figura 8 muestra los perfiles de playa (1 y 2) en forma comparativa a la misma escala y referenciados al mismo punto fijo. Se incluye también la granulometría de los distintos sectores de playa y recarga, así como la presencia de otros rasgos particulares. La tabla 1 resume los parámetros morfológicos de los subambientes de playa y características del acantilado.



**Figura 8.** Comparación del perfil de playa 1 (2011) en azul y el perfil de playa 2 (2023) en naranja. NT: nivel de tormenta, NPM: nivel de pleamar media; el punto fijo se encuentra en el origen de coordenadas.

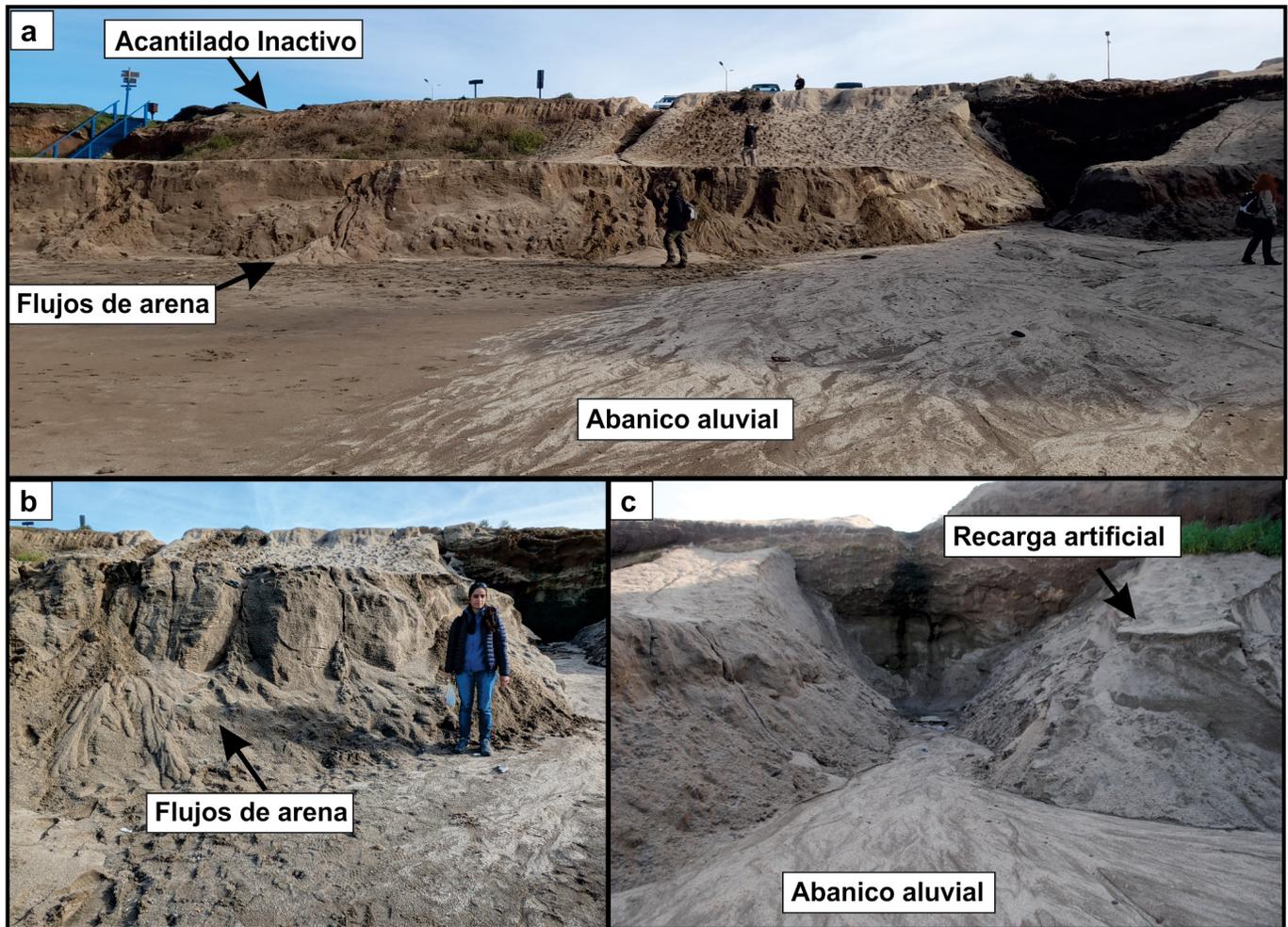
**Tabla 1.** Comparación de parámetros morfométricos del perfil 1 (2011) y perfil 2 (2023).

		Perfil 1 (2011)	Perfil 2 (2023)
Ancho de playa	Frontal	20.3 m	19.8 m
	Distal	31.9 m	20.6 m
	Total	52.2 m	40.4 m
Pendiente de playa	Frontal	2.5°	4.6°
	Distal	5.1°	3.9°
	Total	4.1°	4.3°
Acantilado activo	Altura	4.2 m	
	Pendiente	58°	
Acantilado inactivo	Altura		3.7 m
	Pendiente		29.5°

Respecto de las morfologías, en ambos perfiles se observa una incipiente berma estacional en la playa distal junto a morfologías rítmicas (cuspilitos o beach cups) y no se identifican morfologías dentro del sector intermareal, tal como barras de lavado. Sin embargo, en el perfil 2 es notable la presencia de morfologías continentales dentro del ambiente de playa (Figs. 7b y 9). Como resultado de la erosión hídrica sobre el depósito de la recarga, se observa el desarrollo de diversas cárcavas, de entre 5 y 15 m de largo desde el sector del acantilado hacia la playa distal, las cuales culminan con depósitos de abanicos aluviales de entre 5 y 10 m de diámetro (Figs. 9 y 10a). Dichas cárcavas se encuentran en distintos estadios

de evolución de acuerdo con su tamaño, siendo más anchas y profundas aquellas que presentan más tiempo de desarrollo. En este sentido, algunas atraviesan todo el depósito de la recarga afectando incluso el techo del acantilado y otras (más incipientes y de menor desarrollo) se ubican sobre la escarpa del depósito o sobre el frente del acantilado inactivo (Fig. 10a). Particularmente, es en el sector norte en donde se observa la mayor afectación por procesos fluviales y una densidad de drenaje relativamente más desarrollada. Allí los abanicos presentan mayor desarrollo que en el sector medio y sur y las cárcavas son más pronunciadas, favoreciendo la erosión del material de relleno y dejando, incluso, al antiguo acantilado nuevamente expuesto a la acción marina.

Sobre el frente de la escarpa de erosión que delimita el depósito de la recarga, se observan dos rasgos distintivos. Por un lado, en el sector norte de la bahía, se desarrollan sucesivos flujos de arena producto de la remoción en masa, los cuales conforman abanicos coluviales de aproximadamente 0.5 a 1 m de altura (Figs. 9a y b). Por otro lado, en el sector sur, debajo de la escarpa de erosión se observan numerosos bloques rocosos, especialmente, bloques de rocas cuarcíticas. De acuerdo con las imágenes satelitales, los bloques fueron colocados aproximadamente en 2013 y luego cubiertos por el material de la recarga. En el perfil de playa realizado en agosto de 2023, dichos bloques se encuentran parcialmente



**Figura 9.** Detalle del sector norte de la bahía en donde se observan los flujos de arena al pie de la escarpa de erosión (a y b) y el depósito de abanico aluvial (c) (fotografías de junio de 2023).

al descubierto producto del retroceso de la escarpa de erosión (Figs. 10b y c). Recientemente, en imágenes de febrero de 2024, se puede observar que se encuentran totalmente al descubierto sobre la playa (Fig. 2f). Es importante destacar que sobre el perfil de la escarpa en el sector sur de la bahía puede apreciarse la intercalación de material de trituración, proveniente de las cuarcitas, con material originario de playa, proveniente de la arenara del puerto (Fig. 10d). Esto es consecuencia de las distintas etapas de vertido del material de relleno y muestra una mezcla incompleta de los materiales propuestos en la obra.

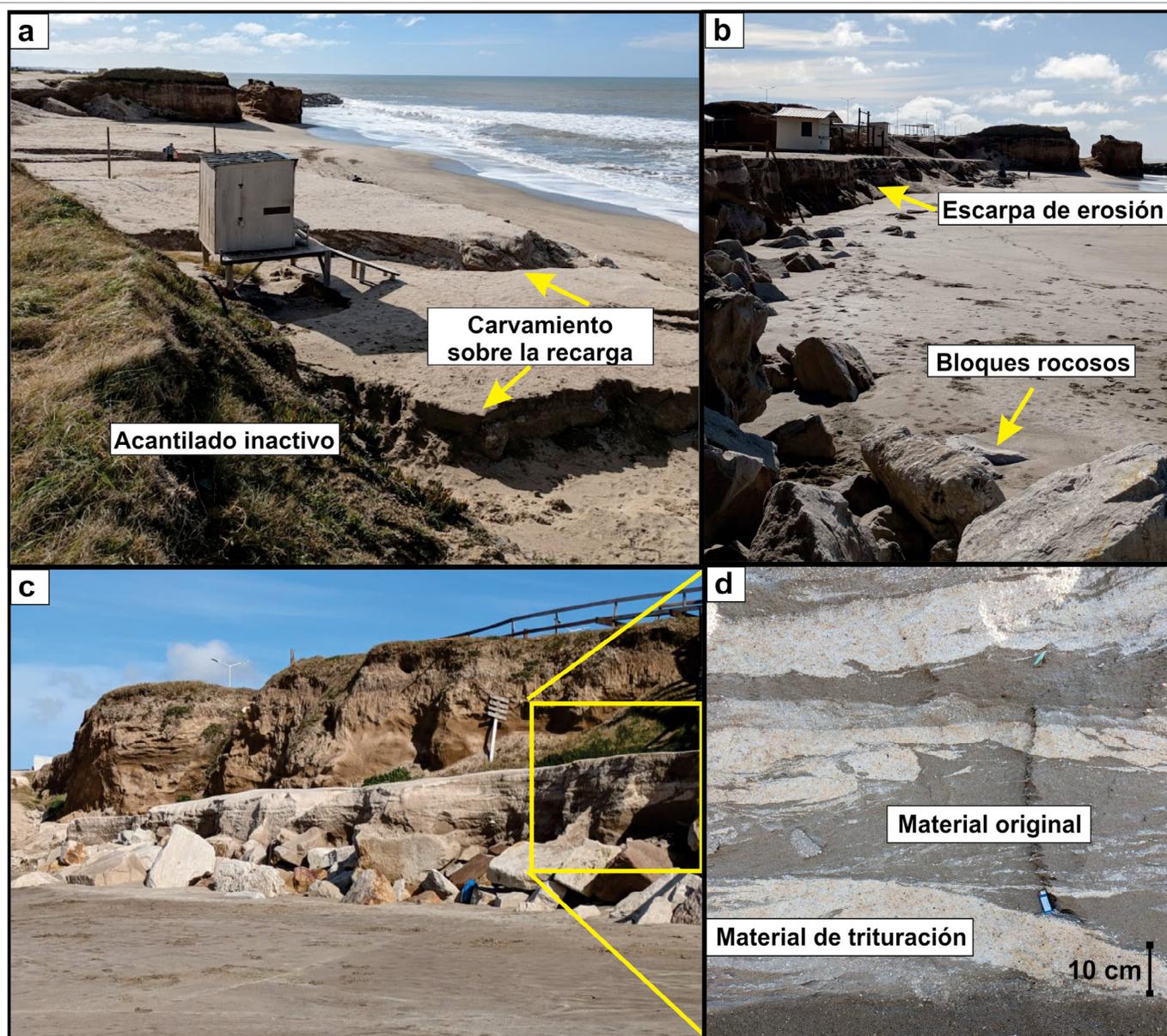
### Análisis textural

Se describen a continuación los resultados obtenidos de los análisis granulométricos de las muestras tomadas de los perfiles de playa.

Los sedimentos de la playa original (Perfil 1) presentan distribución unimodal, simétrica, mesocúrtica, de moderadamente a bien seleccionada y varían de arena media a fina

(modas entre 1.5 y 3 phi), a excepción de la muestra de playa frontal baja que posee una asimetría ligeramente negativa, una distribución leptocúrtica y la selección es pobre. Todas las muestras presentan más del 96 % de arena (Tabla 2). Las distribuciones granulométricas a lo largo del perfil 1 se muestran en la figura 11.

Los sedimentos de playa post recarga tomados a lo largo del perfil 2 (Fig. 12) evidenciaron una variación marcada en sus parámetros granulométricos (Tabla 3) en comparación con las muestras originales (Tabla 2). En general, si bien las muestras presentan gran contenido de arena, algunas tienden a tener una importante participación de sedimentos gruesos (gravas) en su distribución, alcanzando valores de entre 9 y 49% de grava en todos los subambientes, a excepción de la playa frontal. Esta dispersión en los tamaños de grano genera distribuciones bi y polimodales con pobre selección y asimetrías negativas a muy negativas. Puntualmente, el material de trituración (material artificial de la recarga) contrasta notablemente con las características del sedimento original



**Figura 10.** a) Carcavamiento sobre el depósito de recarga; b y c) Presencia de bloques rocosos al pie de la escarpa de erosión en la zona sur de la bahía; d) Detalle del perfil de la escarpa de erosión en el cual se observa una intercalación de arena natural (de textura más fina y gris oscuro) con el material de trituración (de textura más gruesa y gris claro) dada la mezcla incompleta del material de la recarga en los sucesivos eventos de relleno (fotografías de agosto de 2023).

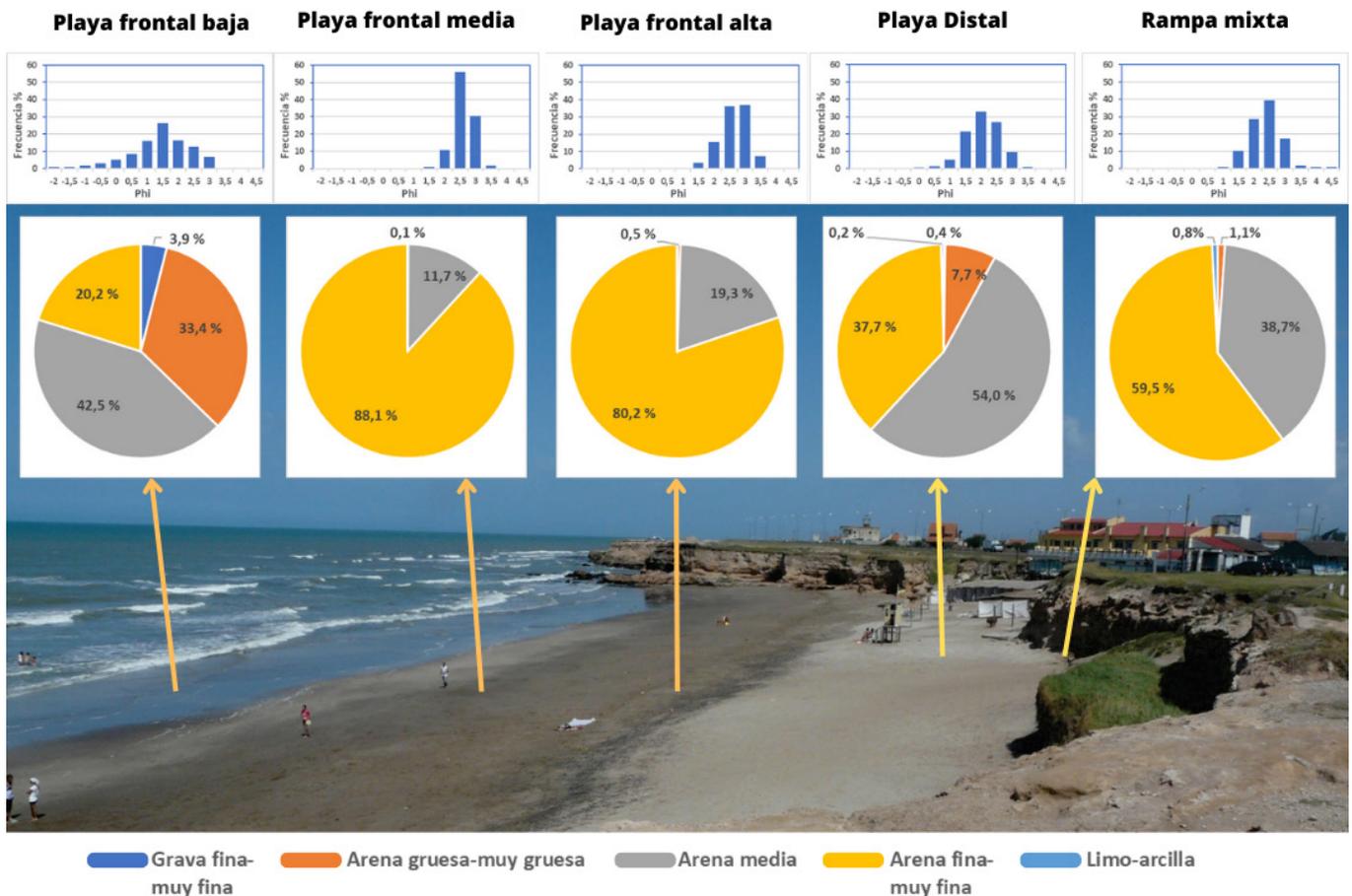
de la playa. La distribución pasa de ser unimodal con arenas medias, una moda en 2 phi y una media en 1.8 phi en la zona de playa distal original (100 % de arena) a ser un sedimento con una distribución bimodal con 64 % de arena y 32 % de grava, pobre selección, con una moda principal en -2 phi y una media en 0.18 phi.

En relación con las nuevas morfologías, el abanico aluvial, la rampa mixta y el flujo de arena son sectores que se ven influenciados directamente por el material proveniente de la recarga y presentan algunas similitudes entre sí. En este sentido, se percibe una mezcla de materiales con participación de gravas (entre 9 y 15 %) y arenas medias y finas con

modas en 1.5 y 2.5 phi. En el caso del flujo de arena y el abanico aluvial, morfologías previamente inexistentes en el perfil 1, la mezcla de sedimentos se asocia mayormente al proceso fluvial. En comparación con el perfil 1, el subambiente de rampa, si bien mantiene una moda principal en 2.5 phi, presenta mayor dispersión con una selección más pobre y una mayor participación de gravas que el material original. Esto podría asociarse a que no solo influye el proceso eólico, sino también hay una influencia del proceso de remoción en masa más notable producto de la removilización del material de la recarga hacia el resto de los subambientes de la playa que favorece una mayor dispersión de los sedimentos de

**Tabla 2.** Parámetros estadísticos de las muestras del perfil 1 (2011). Abreviaturas: MBS (moderadamente bien seleccionado), BS (bien seleccionado), PS (pobremente seleccionado), S (simétrica), AN (asimetría negativa), M (mesocúrtica), L (leptocúrtica).

Muestras - Perfil 1 (2011)					
	Rampa mixta	Playa distal	Playa frontal alta	Playa frontal media	Playa frontal baja
Distribución	Unimodal	Unimodal	Unimodal	Unimodal	Unimodal
Moda 1 ( $\phi$ )	2.5	2	3	2.5	1.5
Media	2.1	1.8	2.38	2.36	1.2
Selección	0.52	0.62	0.49	0.36	1.01
	MBS	MBS	BS	BS	PS
Asimetría	-0.05	-0.04	-0.05	0.09	-0.12
	S	S	S	S	AN
Curtosis	1.05	1.03	0.98	1.06	1.15
	M	M	M	M	L
Clasificación	Arena fina	Arena media	Arena fina	Arena fina	Arena media
% de las fracciones					
Grava	0.0	0.2	0.0	0.0	3.9
Arena	99.2	99.4	100.0	100.0	96.1
Limo-arcilla	0.8	0.4	0.0	0.0	0.0



**Figura 11.** Distribución granulométrica de los subambientes del perfil 1 (2011).

esta muestra. En particular, la berma es el sector con mayor participación de clastos gruesos mostrando igual proporción de grava que de arena. Aquí los clastos alcanzan tamaños de grava media y la distribución presenta muy pobre selección.

Esto se relaciona directamente con la dinámica propia de este subambiente influenciado por una mayor energía del oleaje. El subambiente de playa frontal media es el único sector con características similares en ambos perfiles; es decir, con una

**Tabla 3.** Parámetros estadísticos de las muestras del perfil 2 (2023). Abreviaturas: MBS (moderadamente bien seleccionado), PS (pobrememente seleccionado), MPS (muy pobrememente seleccionado), S (simétrica), AN (asimetría negativa), AMN (asimetría muy negativa), AP (asimetría positiva), P (platicúrtica), M (mesocúrtica), L (leptocúrtica), MP (muy platicúrtica).

Muestras - Perfil 2 (2023)						
	Material de trituración	Abanico aluvial	Flujo de arena	Rampa mixta	Berma	Playa frontal
<b>Distribución</b>	Polimodal	Unimodal	Unimodal	Polimodal	Polimodal	Unimodal
<b>Moda 1 (<math>\phi</math>)</b>	-2.00	1.50	2.50	2.50	2.00	2.50
<b>Moda 2 (<math>\phi</math>)</b>	1.50			-2.00	-2.00	
<b>Moda 3 (<math>\phi</math>)</b>					3.00	
<b>Media</b>	0.18	0.92	1.73	0.99	-0.56	2.17
<b>Selección</b>	1.83	1.30	1.35	1.65	2.19	0.55
	PS	PS	PS	PS	MPS	MBS
<b>Asimetría</b>	0.05	-0.42	-0.52	-0.39	0.18	-0.15
	S	MN	MN	MN	P	AN
<b>Curtosis</b>	0.74	1.10	1.49	0.90	0.65	1.06
	P	M	L	M	MP	M
<b>Clasificación</b>	Grava muy fina arenosa	Arena media gravosa	Arena fina gravosa	Arena fina gravosa	Grava fina arenosa	Arena fina
% de las fracciones						
<b>Grava</b>	32.1	9.6	9.4	15.6	49.4	0.0
<b>Arena</b>	64.8	89.4	88.6	82.3	49.9	99.9
<b>Limo-arcilla</b>	3.0	1.0	2.0	2.1	0.7	0.1

única moda en arena fina, buena selección y con casi el 99 % de su composición en tamaño arena. Esto se debe a la alta dinámica que caracteriza este subambiente, re TRABAJADO EN TODO MOMENTO POR LA ACCIÓN DEL OLEAJE.

Es importante mencionar que en un análisis de densidad de los materiales ( $\text{g/cm}^3$ ), el material de trituración de la recarga y la arena proveniente de la playa frontal, no presentan diferencias, siendo en promedio de  $2.25 \text{ g/cm}^3$ .

### Composición mineralógica de los subambientes muestreados (2023)

El material de trituración de la recarga es un depósito formado casi en un 100% por clastos de cuarzo subangulosos, irregulares, con bordes crenulados y transparentes (Fig. 13a). En el estudio bajo lupa binocular de las distintas fracciones granulométricas (grava y arena gruesa, media y fina) de dicho material, no se han encontrado diferencias significativas en la composición, siendo predominante la participación de cuarzo subanguloso. Por otro lado, en sección delgada (Fig. 13b, c y d), la muestra está caracterizada por presentar clastos de cuarzo subangulosos con bordes irregulares y de aspecto límpido que predominan en toda la sección. En menor proporción se observan clinopiroxenos (augitas diopsídicas o diópsidos), ortopiroxenos, conchillas carbonáticas de formas redondeadas y elongadas, y fragmentos líticos con textura

porfírica fuertemente alterados a sericita y arcillas. El cuarzo más abundante es monocristalino con extinción tipo flash, y en menor proporción se observan clastos de cuarzo policristalino y con extinción fragmentosa (Tabla 4).

Los flujos de arena están conformados por diversos componentes en proporciones variables, siendo el cuarzo de bordes redondeados, el cuarzo de bordes irregulares y transparente y los clastos de líticos volcánicos de color castaño oscuro los más abundantes. En menor proporción se reconocen fragmentos prolados de conchillas carbonáticas de color blanco (Fig. 14a). La sección delgada (Fig. 14b) muestra clastos de cuarzo subangulosos con bordes regulares y de aspecto límpido. Una fracción de los clastos de cuarzo presenta un aspecto más alterado, con bordes irregulares y más redondeados, en algunos casos engolfados. Los fragmentos líticos corresponden a rocas volcánicas de textura afírica o porfírica con pastas de microlitos de plagioclasa. Muchos de ellos se observan fuertemente alterados a arcillas y a óxidos definidos como fragmentos alterados sin asignación. Se distinguen en menor proporción fragmentos de conchillas, minerales opacos, microclinos, plagioclasas y diópsidos (Tabla 4).

El abanico aluvial presenta un predominio de clastos de cuarzo subangulosos de bordes irregulares y transparentes. En menor proporción aparecen fragmentos prolados e irregulares de conchillas blancas de material carbonático, frag-

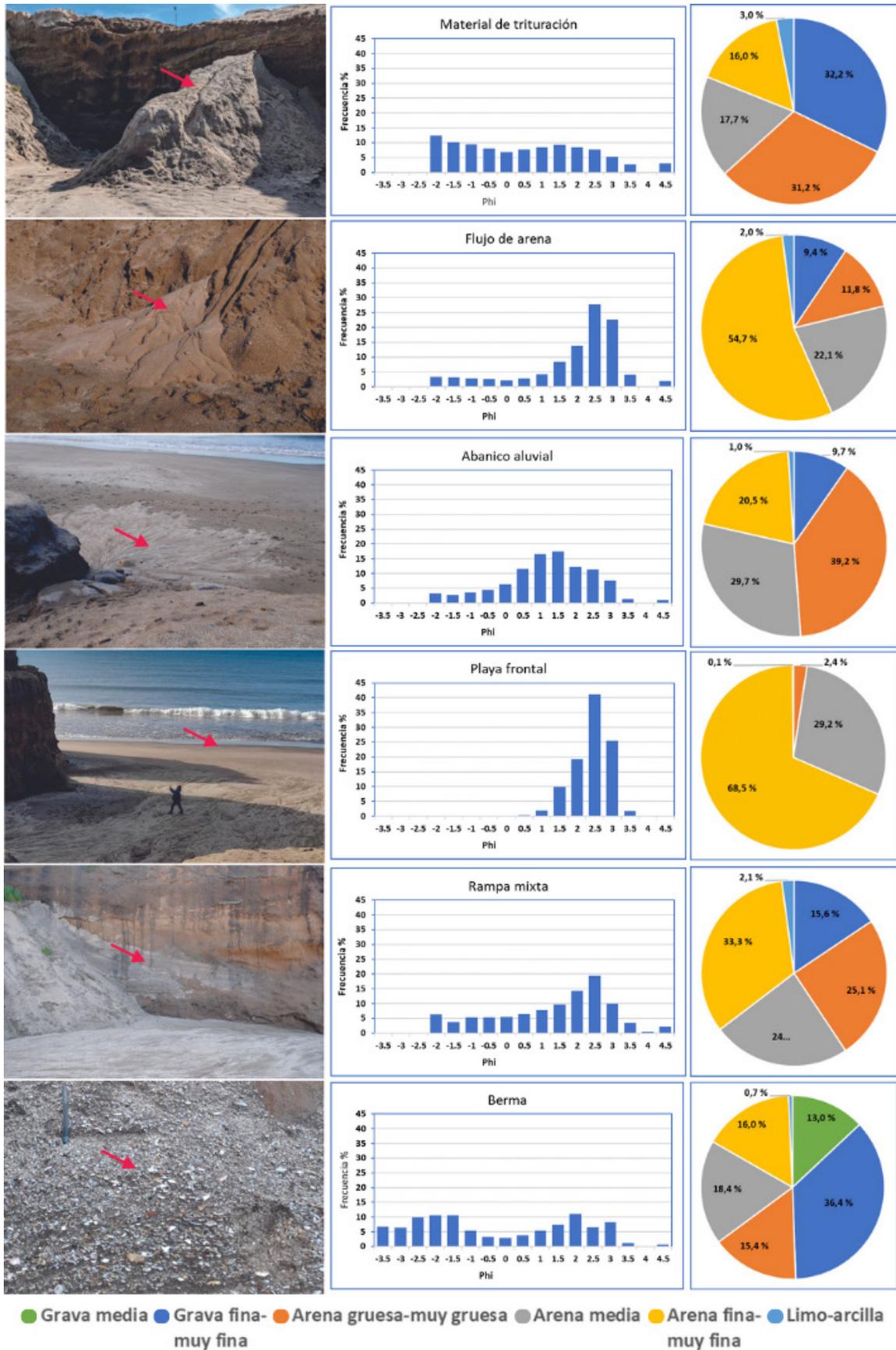
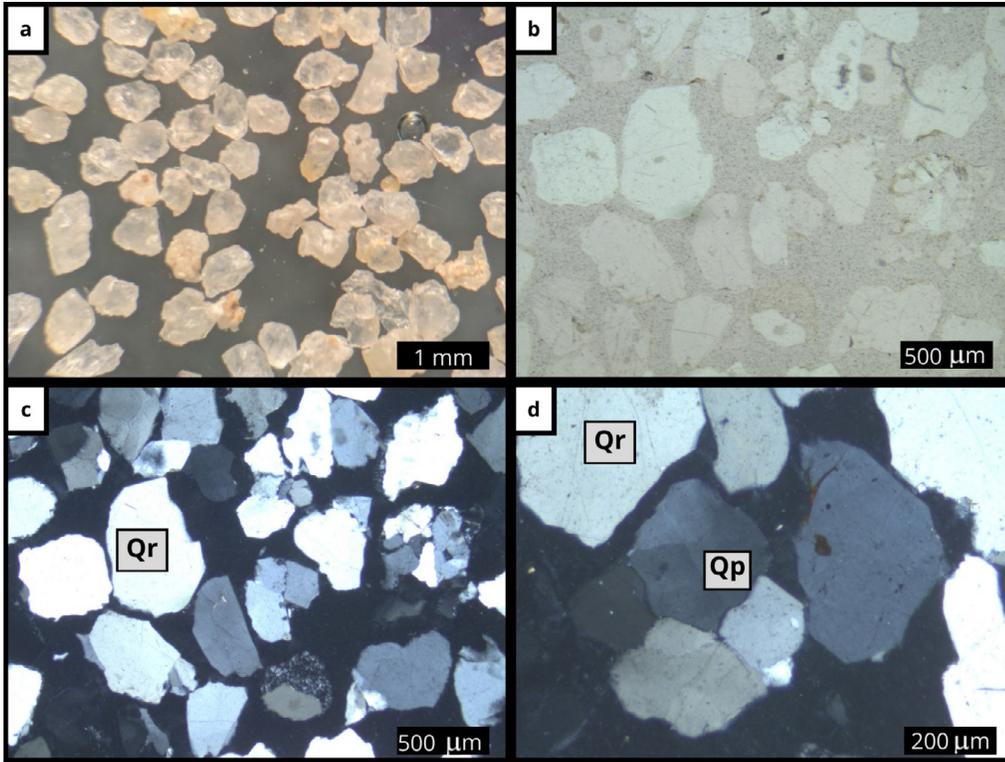


Figura 12. Distribución granulométrica de los subambientes del perfil 2 (2023).



**Figura 13.** a) Aspecto de la muestra del material de trituración de la recarga bajo lupa binocular (20x) y secciones delgadas de la fracción modal (b, c y d). Qr: cuarzo de la recarga y Qp: cuarzo policristalino.

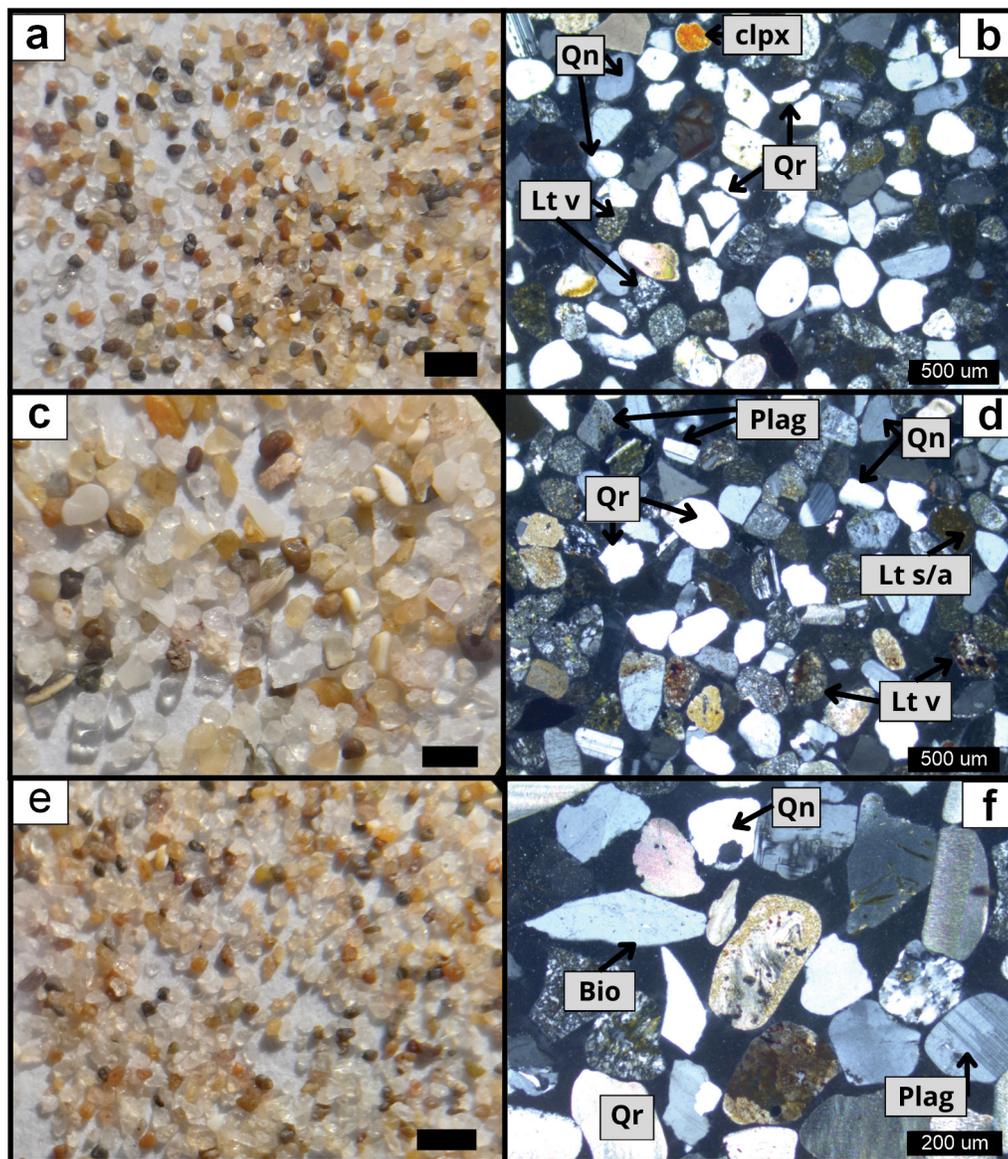
mentos líticos de color castaño oscuro y rojizo y otros clastos de color castaño claro, posiblemente correspondientes a feldespatos (Fig. 14c). En sección delgada (Fig. 14d) se observan abundantes clastos de cuarzo subangulosos con bordes regulares y de aspecto límpido, seguidos de fragmentos de conchillas, cuarzo policristalino con extinción fragmentosa, clastos de líticos volcánicos y otros clastos alterados sin asignación. Los clastos de cuarzo monocristalinos y redondeados son escasos, así como los clastos de orto y clinopiroxeno, minerales opacos y feldespatos (Tabla 4).

La rampa mixta está formada mayormente por clastos de cuarzo subangulosos de bordes irregulares, prolados a lige-

ramente oblatos y transparentes. En menor medida, por feldespatos potásicos ligeramente prolados, subesféricos y de color castaño rojizo, por líticos volcánicos de color castaño oscuro y por fragmentos de conchillas subangulosas prolados de color blanco. Se reconoció además una baja proporción de clastos de cuarzo subesféricos de bordes regulares y redondeados, y también oblatos de color castaño y transparentes (Fig. 14e). En sección delgada se reconocen clastos de cuarzo subangulosos monocristalinos de bordes irregulares que componen la fracción más abundante. En proporción menor aparecen clastos de cuarzo de aspecto más alterado, cuarzo policristalino, escasos clinopiroxenos, líticos volcánicos y

**Tabla 4.** Composición de cada muestra expresada en porcentajes estimados a partir de la observación de cortes petrográficos. S/A: sin asignación.

Componentes	Recarga	Abanico aluvial	Rampa mixta	Flujo de arena	Berma	Playa Frontal	
Cuarzo	Monocristalino regular redondeado	2.9	5	33.6	37.5	37.3	
	Monocristalino irregular subangular	86.3	44.7	59.6	16.8	7	
	Policristalino	6.1	7.8	2		3.1	
Microclino		1.9	2	0.7	2.1	1,1	
Líticos	Volcánicos		3.9	13.3	25.5	13.5	30.6
	Alterados S/A	1.4	6.8	2	8	4.2	8.5
Plagioclasas		1	6.1	2.7	7.3	6	
Clinopiroxenos	1.4	1	1	1.3	1		
Ortopiroxenos	2.7	1					
Conchillas	2.1	28	8	6.7	19.8	5.1	
Minerales opacos		1	1	4.7	1	3.4	



**Figura 14.** Aspecto de los materiales bajo lupa binocular y en sección delgada de la fracción modal de (a y b) flujo de arena, (c y d) abanico aluvial y (e y f) rampa mixta. Escala de fotografía en lupa: la barra negra representa 1 mm. Qr: cuarzo del material de trituración de la recarga, Qn: cuarzo natural, Lt s/a: fragmento lítico sin asignación, Bio: bioclasto, Lt v: fragmento lítico volcánico, Plag: plagioclasa, clpx: clinopiroxeno.

**Tabla 5.** Comparación de parámetros texturales y estadísticos del material original de playa distal, playa frontal y de trituración de Honu Beach y Playa Dorada, previo a las obras.

Parámetros Estadísticos y Texturales (previo a la obra)						
	Playa Distal		Playa Frontal		Material de trituración	Material de trituración
	Honu Beach	Playa Dorada	Honu Beach	Playa Dorada	Honu Beach	Playa Dorada
Media (phi)	1.1	1.8	3	2.36	0.15	0.18
Selección (phi)	1.01	0.62	0.37	0.36	1.77	1.83
Asimetría	-0.02	-0.04	-0.21	0.09	0.06	0.05
Curtosis	1.4	1.03	2.50	1.06	0.64	0.74
% de las fracciones						
Grava	3.5	0.2	0	0	33.85	32.1
Arena	96.5	99.4	100	100	65.06	64.8
Limo-arcilla	0	0.4	0	0	1.09	3.0

fragmentos de conchillas alargados (Fig. 14f).

La berma está formada por clastos de cuarzo de alta esfericidad y bordes subredondeados y otros de cuarzo más

angulosos con bordes irregulares; ambos transparentes. En menor proporción se observan clastos de cuarzo oblatos de color castaño, fragmentos líticos de origen volcánico de color

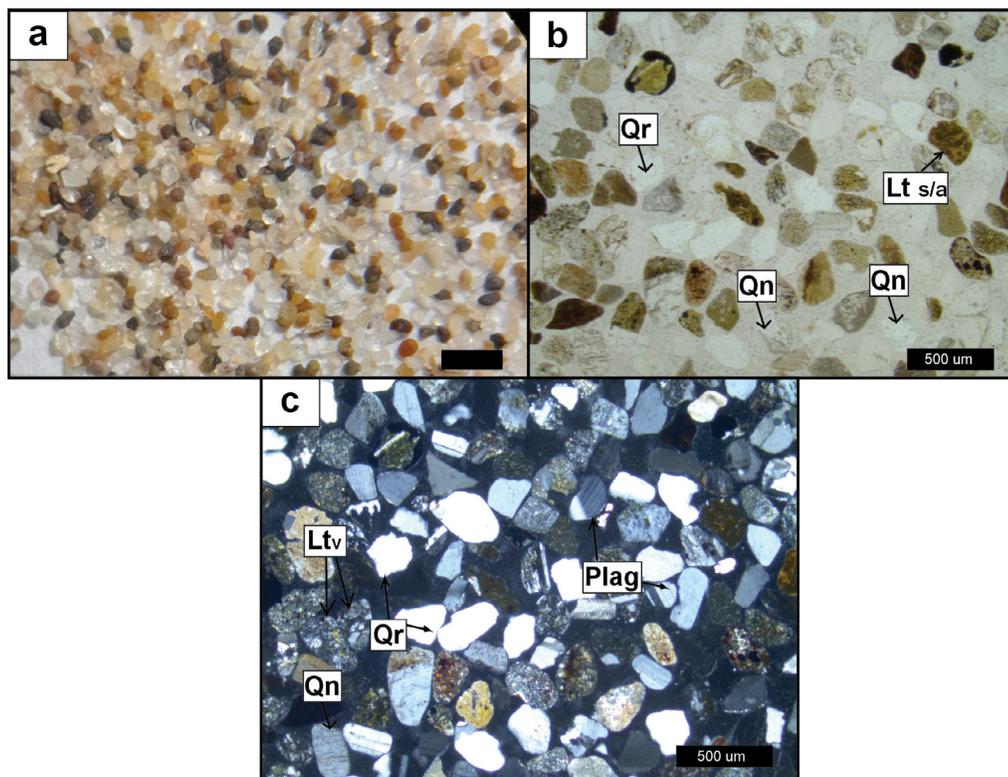
castaño oscuro y fragmentos de conchillas proladas de material carbonático y color blanco (Fig. 15a). En sección delgada (Fig. 15b y c) se reconoce abundante cuarzo de alta esfericidad monocristalino y subredondeado y, de forma subordinada, otros con bordes irregulares y subangulosos. Son abundantes los fragmentos líticos de rocas volcánicas porfíricas y los bioclastos carbonáticos formando un porcentaje significativo de la composición. Se observan también clinopiroxenos, plagioclasas y minerales opacos (Tabla 4).

La playa frontal presenta un predominio de clastos de cuarzo subredondeados esféricos y oblados, transparentes a castaños, seguido de una muy baja proporción de cuarzo transparente subanguloso de bordes irregulares y subesférico. Se destacan también abundantes fragmentos de líticos volcánicos de color gris a castaño oscuro y otros más escasos de posible proveniencia intrusiva. Además, se observan fragmentos de conchillas proladas subredondeadas y feldspatos subangulosos a ligeramente redondeados de color castaño claro (Fig. 16a). En sección delgada (Fig. 16b, c y d) los sedimentos se caracterizan por presentar dominio de clastos de cuarzo de dos tipos. Por un lado, y en mayor proporción, se observa cuarzo monocristalino equigranular de aspecto ligeramente alterado y extinción flash. Por otro lado, y en menor proporción, hay cuarzo monocristalino irregular y límpido, transparente con extinción flash y en menor medida fragmentosa. Asimismo, se describen abundantes fragmentos líticos

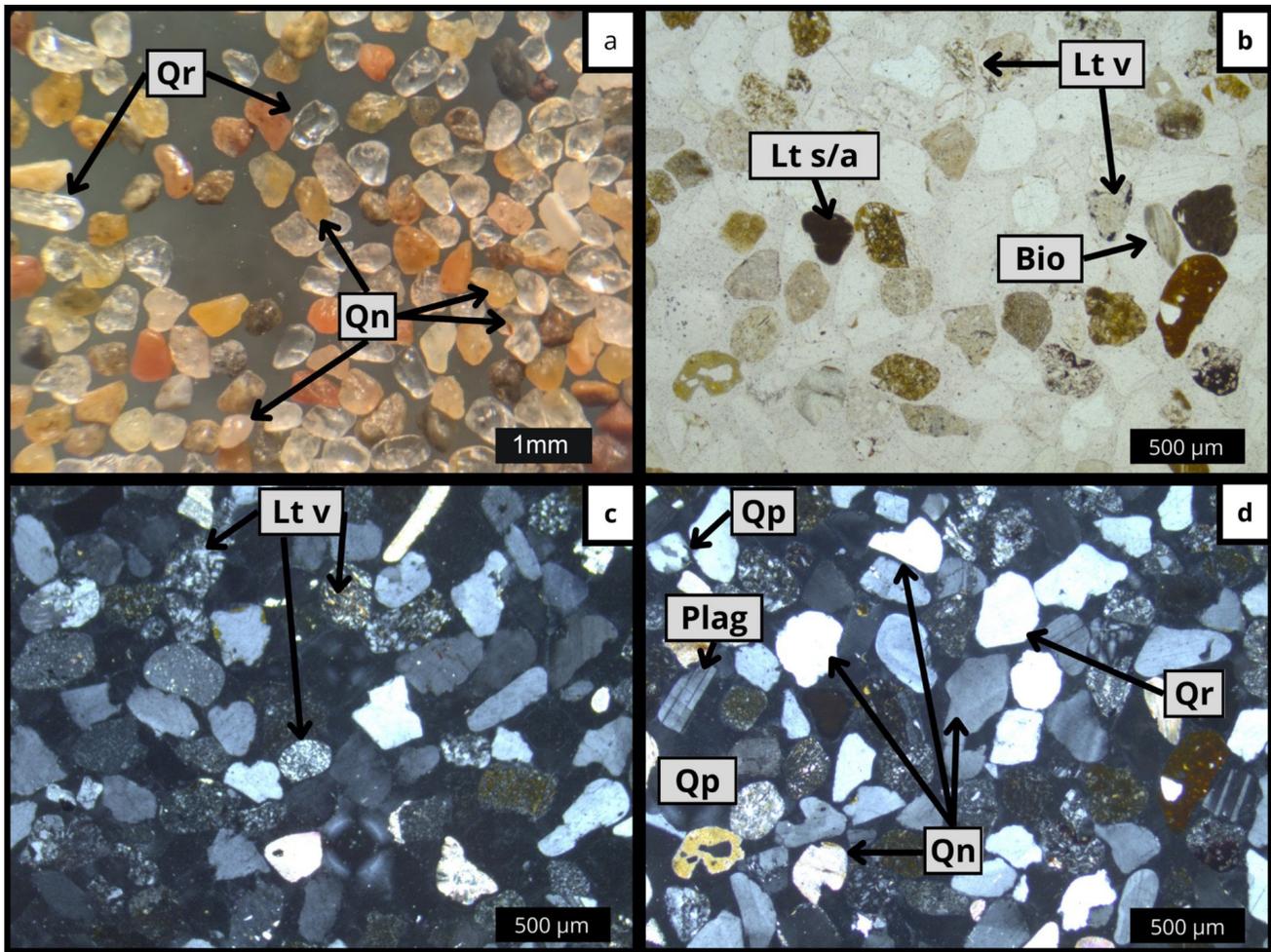
de rocas volcánicas porfíricas, afíricas o microgranosas con pasta de microlitos de plagioclasas, algunos fenocristales escasos de plagioclasas y fenocristales máficos reemplazados por minerales opacos. Muchos de estos líticos se encuentran fuertemente alterados a arcillas y óxidos y se observa escasa cantidad de líticos indeterminados. También se distinguen algunos clastos de microclino caracterizados por presentar macla en arpillera, de plagioclasas con maclas polisintéticas, de clinopiroxenos de la serie augita-diópsido, de minerales opacos, de cuarzo policristalino y de conchillas carbonáticas, elongadas y de bordes regulares (Tabla 4).

## DISCUSIÓN

En este apartado se analizan los resultados obtenidos en base a cuatro temas de especial interés. En primer lugar, se discute sobre los aspectos hidrodinámicos de la recarga y los cambios morfológicos dentro del perfil de playa. Luego, se abordan los aspectos composicionales desde el punto de vista de la diferenciación de ambientes, mezcla de sedimentos y procesos actuantes. En tercer lugar, se compara la recarga de Playa Dorada de 2021-2022 con la recarga de Honu Beach (Mar del Plata) de 2014, ya que ambas fueron realizadas con el mismo tipo de material de trituración, aunque con resultados distintos. Finalmente, se abordan cuestiones rela-



**Figura 15.** Aspecto de la muestra de la fracción modal de la berma en (a) lupa binocular y (b y c) sección delgada. Escala de fotografía en lupa: la barra negra representa 1 mm. Qr: cuarzo del material de trituración de la recarga, Qn: cuarzo natural, Lt s/a: fragmento lítico sin asignación, Ltv: fragmento lítico volcánico, Plag: plagioclase.



**Figura 16.** Aspecto del material de la playa frontal bajo lupa binocular (a) y secciones delgadas de la fracción modal (b, c y d). Qr: cuarzo del material de trituración de la recarga, Qn: cuarzo natural, Lt s/a: fragmento lítico sin asignación, Lt v: fragmento lítico volcánico, Plag: plagioclasa.

cionadas a la durabilidad de las obras de recarga de playas realizadas en el sudeste bonaerense.

### Aspectos hidrodinámicos

El desarrollo de nuevos subambientes da cuenta de que, ante una alteración externa dentro del perfil (como es un depósito artificial), otros procesos geomorfológicos comienzan a interactuar con el proceso marino a un ritmo mayor al habitual. En ese caso, la remoción en masa, el proceso fluvial y el proceso eólico resultan muy importantes en lo que respecta a la erosión y transporte del material de la recarga a lo largo del perfil de playa, siendo mayor su participación en el modelado del paisaje. Estos procesos permiten la atenuación de la escarpa de erosión y el aporte de material de la recarga a la zona intermareal fomentando la mezcla textural y composicional. A su vez, las precipitaciones repentinas en corto tiempo favorecen el escurrimiento superficial y la generación de flujos de arena en la zona de la escarpa, intensificando los procesos de remoción en masa, y dando lugar también a

la generación de distintos niveles de abanicos aluviales. Por su parte, la acción fluvial fomenta el desarrollo de cárcavas desde el frente del depósito hacia la zona del acantilado inactivo, generando nuevas y ampliando las anteriores. Esto no solo redistribuye el material hacia la zona intermareal, sino que permite que ante eventos de tormenta haya zonas de debilidad que favorecen la erosión, aumentando así también, el ancho de las cárcavas. Además, el retroceso del frente del depósito hacia el acantilado inactivo y la distribución del material sobre la playa distal y frontal fuerzan a la incipiente red de drenaje a continuos reajustes en el perfil de equilibrio.

Por su parte, la acción del oleaje contribuye a la generación de bermas y escarpas de erosión luego de los eventos de tormenta (asociados generalmente con sudestadas), en donde el nivel del mar se eleva y la altura de ola aumenta. En este sentido, la hidrodinámica natural del sistema costero se modifica observándose que, en períodos de mareas ordinarias predomina la remoción en masa en el frente de la escarpa, mientras que cuando la energía del oleaje aumenta, los

depósitos de flujos son retrabajados dando lugar a una nueva escarpa de erosión.

Respecto del material erosionado que puede ingresar al sistema litoral es importante considerar que, particularmente, el material artificial (de trituración) que compone la recarga es inerte y no muestra alteraciones o minerales de alteración que puedan modificar la geoquímica en contacto con el agua de mar. Por otro lado, desde el punto de vista físico, y si bien el material es ligeramente más grueso y anguloso, su densidad es similar a la densidad del material originario, y su ingreso a la deriva litoral no representa un impacto negativo, sino por el contrario, favorece a la saturación parcial de la corriente. Sin embargo, respecto a este punto, cabe mencionar que, según un estudio del Ministerio de Transporte, Obras Públicas y Obras Sanitarias de los Países Bajos (1997), el transporte litoral estimado entre Mar del Plata y Santa Clara del Mar es del orden de 150000 a 200000 m<sup>3</sup>/año. Teniendo en cuenta que el depósito total de la recarga alcanzó los 9804 m<sup>3</sup> de material inicial y que durante el primer año se erosionó un 34% del total, el aporte real a la saturación de la deriva litoral y su impacto a nivel regional son mínimos.

### Aspectos composicionales

Para analizar los resultados composicionales del nuevo perfil de playa, es importante tener presente algunas cuestiones. Por un lado, que los sedimentos que constituyen este tipo de playas bonaerenses provienen naturalmente y, en mayor medida, de la erosión de los afloramientos de los acantilados expuestos al oleaje (Bunicontro 2012, Isla y Cortizo 2014, Bunicontro et al. 2015, López et al. 2023). Por otro lado, que, si bien el depósito de la recarga está compuesto por una porción de material de trituración y una porción de arena natural del puerto, ambas partes no están previamente mezcladas entre sí, sino que se encuentran intercaladas según distintos eventos de relleno (Fig. 10d). Y finalmente, que el material de trituración de la recarga artificial presenta una composición homogénea de cuarzo consistente con el origen documentado a partir de la molienda de rocas cuarcíticas de la Formación Balcarce en las canteras de la zona.

Las variaciones composicionales entre las modas de cada una de las muestras analizadas indican una mezcla de componentes entre dos "extremos" dentro del perfil, uno de índole natural (la playa frontal) y otro de índole artificial (el material de trituración de la recarga). Esto se basa, en primer lugar, en los tipos de cuarzo monocristalinos reconocidos, en segundo lugar, en la proporción de cuarzo policristalino y, por último, en la proporción de fragmentos líticos. Por un lado, los clastos de cuarzo monocristalino equidimensionales con alta esfericidad, de bordes regulares y subredondeados son ca-

racterísticos del subambiente de playa frontal. Estos clastos pueden ser de aspecto límpido como ligeramente alterados, en general con extinción tipo flash. Por otro lado, los clastos de cuarzo monocristalino subangulosos, de bordes y formas irregulares, de aspecto límpido y con predominio de extinción flash constituyen casi el 90% del depósito del material de trituración, siendo su propiedad más notable. A su vez, la proporción de clastos de cuarzo policristalino es más alta en el material de trituración que en el sector intermareal, aunque no es dominante. Finalmente, los fragmentos líticos volcánicos son un componente característico en la mezcla de sedimentos de los distintos subambientes ya que, por ejemplo, están parcialmente presentes en el abanico aluvial y el flujo de arena, alcanzan un máximo de 30% de la composición de la playa frontal, pero están totalmente ausentes en el material de trituración. En conclusión, la identificación de los distintos tipos de cuarzo, especialmente por su forma y redondeamiento, da cuenta de la removilización y mezcla del material, y del grado de transporte de los clastos. La participación de los fragmentos líticos volcánicos, provenientes de la erosión de los acantilados y del aporte de la deriva litoral, es característica de los depósitos de playa de origen natural de la zona.

Los subambientes y morfologías desarrolladas a partir de la recarga, muestran una composición más heterogénea, que varía entre sedimentos originales y aquellos propios del material de trituración. La rampa mixta es muy similar a los sedimentos que conforman el material triturado, siendo el subambiente con menor influencia del material natural de la playa frontal, aunque con una leve participación de clastos líticos y conchillas. Se interpreta que este depósito se encuentra parcialmente afectado por removilización del material artificial, por procesos de remoción en masa y eólico, y eventuales eventos de tormenta. El abanico aluvial también presenta una alta participación del material de trituración debido, fundamentalmente, a la removilización directa por acción fluvial del depósito de la recarga desde el borde del acantilado inactivo hacia la playa frontal. Sin embargo, presenta una pequeña participación de clastos de material lítico que podría explicarse como proveniente del material natural que contiene el depósito de la recarga (aquella arena proveniente del puerto intercalada con el material de trituración). A su vez, la interacción con el oleaje le aportaría al abanico una importante cantidad de material bioclástico. En los flujos de arena, ubicados al pie de la escarpa de erosión, la mezcla de materiales entre los dos extremos mencionados es muy importante y se da en proporciones similares. En este caso particular, y dado el limitado transporte de los sedimentos, la composición muestra que hay una importante participación de cuarzo redondeado y fragmentos líticos volcánicos, así

como de cuarzo subanguloso, conchillas y otros minerales. Esta composición proviene directamente del material de la recarga en su conjunto. Finalmente, el depósito de berma es consistente con su génesis asociada al proceso marino, con una composición mucho más similar a la de la playa frontal en cuanto al tipo de cuarzo y los fragmentos líticos, conchillas y feldespatos, y mucha menor proporción de material de trituración por retrabajo del oleaje.

### Comparación con recarga en Honu Beach, Mar del Plata

Si bien naturalmente se espera que una playa recargada tienda a erosionarse porque no se encuentra en equilibrio con las condiciones hidrodinámicas naturales (Eitner 1996), los resultados pueden ser diversos. En el caso de la recarga ocurrida en el balneario Honu Beach en Mar del Plata (Bértola et al. 2016), las características texturales del material originario de la playa eran similares a los estudiados en Playa Dorada, mientras que el material de trituración vertido (clastos mayormente angulares a subangulares de cuarcita en tamaños de arena muy gruesa a mediana) presentaban, incluso, parámetros estadísticos y texturales casi idénticos tales como la media, selección, asimetría y curtosis (Tabla 5). Luego de unos meses desde el fin de obra, en ambos casos se constató la mezcla de sedimentos en los distintos subambientes de playa, en general, con un aumento del tamaño de grano. Particularmente en el caso de Honu Beach, el material de la recarga se fue erosionando de la zona sur para migrar, siguiendo el sentido de la deriva litoral, hacia la zona norte. Sin embargo, se detectan dos diferencias entre los resultados de las obras sobre cada perfil de playa. Por un lado, la principal diferencia morfológica entre ambos estudios es que en Playa Dorada se generaron nuevos subambientes dentro del perfil transversal, tales como los abanicos aluviales y los flujos de arena, que no fueron descritos en Honu Beach. Por otro lado, en Playa Dorada las pendientes de la playa total y frontal aumentaron respecto del perfil original sin obra (Tabla 1), mientras que en Honu Beach las mismas pendientes disminuyeron ligeramente luego de la obra (pasando de  $3.49^\circ$  a  $3.14^\circ$  en la playa total y de  $5.99^\circ$  a  $5.42^\circ$  en la playa frontal). Para comprender estas diferencias es importante tener en cuenta que la dinámica de la recarga fue diferente, así como el sector de playa recargado. La obra en Honu Beach consistió en un solo episodio de recarga (noviembre de 2014) ubicada en el sector de playa frontal entre la línea de alta marea de sicigias y la baja marea (Bértola et al. 2016), mientras que en Playa Dorada se realizaron varios eventos de recarga particularmente en el sector de playa distal cercano a la línea de costa.

### Durabilidad de obras de recarga de playas en el sureste bonaerense

Las obras de recarga de playa en la zona de Mar del Plata han tenido una durabilidad variable. En el caso de la recarga de 1999, en playa Bristol se registró una durabilidad buena a muy buena, con una pérdida de material de 22.3% en el primer año, aumentando a 51.9% en los tres años subsiguientes, mientras que en playa Varese y playa Grande la pérdida fue menor, entre 10 y 18% en los primeros tres años (Marcomini y López, 2004). En el caso de Honu Beach, el 98% del material se perdió en el primer año aumentando a un 100% en los siguientes diecinueve meses, registrando una durabilidad baja (según los rangos de Leonard et al. 1990a). En consecuencia, las tasas obtenidas para la recarga en la zona estudiada de Playa Dorada son buenas y relativamente más altas con respecto a Honu Beach, con la permanencia en la playa de entre un 65 a 70% del material original hasta el primer año.

Los principales factores que condicionaron la durabilidad de estas obras han sido: a) el diseño de la recarga, b) la densidad de la recarga ( $m^3/m$ ), c) la orientación de la costa y exposición al oleaje del sudeste, d) la configuración de la costa, e) el tiempo de ocurrencia de las primeras tormentas y f) la densidad ( $g/cm^3$ ), composición y textura del material de recarga. En el caso de la recarga analizada en el presente trabajo, la durabilidad podría mejorarse aumentando el volumen del relleno inicial y monitoreando la efectividad del diseño de obra elegido.

## CONCLUSIONES

El diseño empleado en la obra de repoblación de playa del balneario Playa Dorada ha modificado los rasgos morfológicos y los procesos asociados especialmente en la playa distal. Esto es, incrementando la participación de los procesos continentales por sobre los procesos marinos. Como consecuencia, se han observado nuevas morfologías en la playa, como abanicos aluviales, cárcavas y flujos de arena, que modifican la dinámica y sedimentación natural del sistema litoral.

La textura del material de trituración empleado para la recarga contrasta fuertemente con las arenas medias a finas bien seleccionadas de la playa original. Se destaca un mayor tamaño de grano (dado por un 32% de gravas), una peor selección y mayor angulosidad en el sedimento artificial recargado, lo que da lugar a un aumento en el tamaño de grano de los subambientes de playa luego de la recarga.

La composición del material de recarga difiere amplia-

mente con el material originario. El primero está compuesto principalmente por cuarzo, mientras que el segundo contiene una fracción importante de líticos volcánicos y conchillas. Los componentes que permiten determinar el material de recarga son los clastos de cuarzo monocristalino subanguloso de bordes irregulares, mientras que la arena originaria se caracteriza mayormente por clastos de cuarzo monocristalino con alto redondeamiento y esfericidad y fragmentos líticos de origen volcánico.

Las diferencias granulométricas y composicionales entre el material de trituración utilizado para la recarga y el material originario no afectaron considerablemente la durabilidad de la obra, la cual ha sido intermedia en los términos de Leonard et al. (1990a). A su vez, se observa que los materiales introducidos a la corriente de deriva litoral por erosión del depósito en el tiempo no implicarían un impacto físico y químico negativo siendo, además, muy mínimo el aporte real a la saturación de la deriva en el sentido regional. Se considera que la utilización de materiales de trituración provenientes de fuentes mineras cercanas resulta una buena alternativa para recargas artificiales debido también a que la densidad de dicho material no altera sustancialmente la densidad de material original.

Se recomienda para futuros proyectos de recarga monitorear la obra durante el primer año y disponer de al menos un 20% del volumen perdido en dicho período para restaurar el perfil con nuevos episodios de recarga. Se sugiere esta acción, en especial, durante los dos primeros años. Esto facilitaría al sistema costero un ajuste progresivo al cambio morfométrico de la playa, permitiendo una redistribución de los sedimentos de manera más gradual. En estas condiciones es necesario realizar un monitoreo semestral para evaluar la eficiencia de la obra, ajustar los volúmenes de recargas posteriores y evaluar la continuidad del mantenimiento futuro. Desde el punto de vista social y turístico, luego de la obra, se recomienda realizar una evaluación de la percepción de los ciudadanos locales y turistas sobre el aspecto y funcionalidad de la playa como sitio de recreación estival.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo agradecen al Ing. Roberto Sciarrone y al Lic. Juan Manuel Fernández del Departamento de Costa Marítima de la Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas de la provincia de Buenos Aires, y al Sr. Mariano Hulnik, vecino de la localidad de Playa Dorada, por la información brindada, y a los revisores del trabajo cuyas sugerencias han permitido mejorar el manuscrito.

## REFERENCIAS

- Ashley, G.M., Halsey, S.D. y Farrell, S.C. 1987. A study of beach longevity: Long Beach Island, NJ. In: Kraus, N.C.(De.), Coastal Sediments 87. New York: American Society of Civil Engineers, 1188-1202.
- Bértola, G. 2006. Morfodinámica de playas del sudeste de la provincia de Buenos Aires (1983 a 2004). *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología (Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis)* 13 (1): 31-57.
- Bértola, G.R., del Río, J.L., y Farenga, M. 2016. Relleno de playa en Honu Beach (Mar del Plata, Argentina). *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 37: 1-11.
- Blott, S. 2000. GRADISTAT version 4.0. A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments by sieving or laser granulometer. Surfer processes and modern environments research group. University of London.
- Blott, S.J. y Pye, K. 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(11): 1237-1248.
- Boak, E., Jackson, L., McGrath, J. y Bosnan, M. 2001. An overview of Gold Coast Coastal Management 1960-2001. *Proceedings of the Australian Coastal and Ocean Engineering Conference 2001 Gold Coast*, 1-8. Australia.
- Bunicontro, M.P. 2012. Geología, dinámica costera y ordenamiento territorial en Santa Clara del Mar, municipio de Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires. Trabajo Final Licenciatura. (inédito) 158 p. Buenos Aires.
- Bunicontro, M.P., Marcomini, S.C., y López, R.A. 2013. Zonificación de la erosión costera en la localidad de Santa Clara del Mar, provincia de Buenos Aires. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* 31: 1-15.
- Bunicontro, M.P., Marcomini, S.C. y López, R.A. 2015. The effect of coastal defense structures (mounds) on southeast coast of Buenos Aires province, Argentine. *Ocean and Coastal Management* 116: 404-413. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.08.016>
- Cao, H. Cai, F. y Chen F. 2009. Discussion on beach nourishment and ocean tourism of Xiamen coast, *Ocean Development and Management*, 26(7): 58-62.
- Charlier, R.H. y De Meyer, C.P. 1997. Much ado about beach feeding. *Proceedings of the Coastal environment management and conservation. Bordomer* 97 (2): 278 -283.
- Dean, R.G. 1983. Principles of Beach Nourishment. In: Komar, P. D., (ed.) *CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion*. CRC Press, 217-232. Boca Raton, Florida.
- Dean, R.G. 1988. Engineering design principles, Short Course on Principles and Applications of Beach Nourishment. Florida Shore and Beach Preservation Association, 42p. Gainesville, Florida
- EIA 2021. Estudio de Impacto Ambiental, Defensa Costera en la Ruta Provincial N° 11, Partidos de Mar Chiquita y General Pueyrredón, De-

- partamento de Estudios Ambientales y Sociales, Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos, Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. 134p. Buenos Aires.
- Eitner, V. 1996. The effect of sedimentary texture on beach fill longevity. *Journal of Coastal Research*, 12(2): 447-461.
- Folk, R.L., Andrews, P.B. y Lewis, D.B. 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 13: 937-968.
- Folk, R.L. y Ward, W.C. 1957. Brazes River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27:3-26.
- Isla, F.I. 2003. Disponibilidad de arena para el refulado de las playas de Miramar y Chapadmalal, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* Vol. 58(3):56-78.
- Isla F.I. 2006. Erosión y defensa costeras. En: Isla y Lasta (Eds.) *Manual de manejo costero para la provincia de Buenos Aires*. EUDEM, 125-147. Mar del Plata
- Isla, F.I. y Cortizo, L.C. 2014. Sediment input from fluvial sources and cliff erosion to the continental shelf of Argentina. *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 14 (4): 541- 552.
- Isla, F.I., Cortizo, L., Merlotto, A., Bertola, G.R., Pontrelli Albisetti, M., Finochietti, C. 2018. Erosion in Buenos Aires province: Coastal-management policy revisited, *Ocean and Coastal Management*; 156: 107-116.
- Isla, F., Prario, B., Maenza, R., Bertola, G., Cortizo, L., y Lamarchina, S. 2023. Las Sudestadas del sudeste y del sur en la provincia de Buenos Aires, Argentina y el aumento antropogénico previsto del nivel del mar. *Revista Universitaria De Geografía*, 31(1), 115–132.
- Leatherman, S.P. 1996. Shoreline stabilization approaches in response to sea level rise: US experience and implications for Pacific Island and Asian nations. *Water Air Soil Poll.* 92 (1–2), 149–157.
- Leonard, L.A., Pilkey, O.H. y Clayton, T.D. 1988. An assessment of parameters critical to beach replenishment. In: Tait L.S. (ed), *Florida Shore and Beach Proceedings*. Florida Shore and Beach Preservation association Inc., 115-124. Tallahassee, Florida.
- Leonard, L.A., Dixon, K.L. y Pilkey, O.H. 1990a. A comparison of beach replenishment on the U.S. Atlantic, Pacific and Gulf coasts. *Journal of Coastal Research*. Special issue N°6: 127-140.
- Leonard, L.A., Clayton, T. y Pilkey, O. 1990b. An analysis of replenished beach design parameters on U. S. East Coast Barriers Islands. *Journal of Coastal Research*, 6 (1): 15-36.
- López R.A. y Marcomini S.C. 2002. Pautas para el manejo costero en costas de dunas y acantilados, Provincia de Buenos Aires. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*. 18: 59-68.
- López, R. y Marcomini, S. 2014. Manejo Costero. En: Goso, C. (ed) *Nuevas miradas a la problemática de los ambientes costeros Sur de Brasil*. Uruguay y Argentina. Dirac, 355–370 Montevideo, Uruguay.
- López, R. A., Marcomini, S. C., Bunicontró, M. P. y López Marcomini, F. 2023. Dinámica costera, erosión y cambio climático. En: E. Rovere, R. Violante, G. Re, K. Rodríguez Orbegoso, O. Papú, I. Pereira Riquelme, L. Botto, M. J. González, E. Soto, E. Baran, R. Alonso, T. Montenegro, M. Agostinelli, P. Kubaczka, R. López, S. Marcomini, P. Bunicontró y F. López Marcomini (Eds). *Importancia de las geociencias en el ámbito social*. Mundo Gráfico, 243-260. Buenos Aires.
- Marcomini, S.C. y López, R.A. 1993. Coastal Protection Effects at Buenos Aires, Argentina. *Proceedings of The Eighth Symposium on Coastal and Ocean Management Coastal Zone 93*. Nueva Orleans. U.S.A., III:2724-2738.
- Marcomini, S.C. y López, R.A. 1999. Recarga artificial de las playas. *Revista Gerencia Ambiental*. 408-414.
- Marcomini S.C. y López, R.A. 2004. Evolution of a Beach Nourishment Project in Mar del Plata. *Journal of Coastal Research*, SI 39, 835 – 838.
- Marcomini, S.C. y López, R.A. 2007. Erosión y manejo costero de Villa Gesell. 1era Ed. Unión por Villa Gesell (Cd-rom).
- Marcomini, S.C. y López, R.A. 2010. Erosión y manejo costero en Las Toninas, partido de la Costa, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 66 (4): 490-498.
- Marcomini, S.C. y López, R.A. 2014. *Geología y Manejo Costero*. Colección Ciencia Joven. Eudeba, 92 p Buenos Aires.
- Medina, R.A., Martínez, A.L., Mormeneo, L. y Richiano, S.M. 2016. Cambios morfo-sedimentarios causados por la construcción de un espigón en Camet Norte, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 73(2): 273-282.
- Medina, R.A., Bunicontró, M.P., Oreiro, F.A. Albite, J.M., Marcomini, S.C. y López, R.A. 2023. Erosión costera y recarga artificial de playa en Playa Dorada (partido de Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires). *4º Jornadas de Geociencias para la Ingeniería, Facultad de Ingeniería (UBA), Libro de Resúmenes: 36*, Buenos Aires.
- Merlotto, A., Bertola, G. e Isla, F. 2017. Riesgo de erosión costera de la provincia de Buenos Aires, Argentina *Revista Universitaria de Geografía*, 26 (2): 37-72.
- Ministerio de Transporte, Obras Públicas y Obras Sanitarias del Gobierno de los Países Bajos, 1997. *Estudio del Puerto y la costa de Mar del Plata*. Informe Interno de la Municipalidad de General Pueyrredón (Inédito), 142 p.
- SHN 2024. Servicio de Hidrografía Naval, Tablas de Mareas <http://www.hidro.gov.ar/>
- Shivlani, M., Letson, D. y Theis, M. 2003. Visitor Preferences for Public Beach Amenities and Beach Restoration in South Florida. *Coastal Management*. 31: 367-385.
- Tomazin, N.J., Re, M., García, P.E. y Bindelli, L. 2020. Caracterización de la dinámica litoral en la costa marítima bonaerense: Aportes hacia una gestión integrada. Informe Técnico. 1era Edición, Instituto Nacional del Agua, 100 p., Ezeiza, Buenos Aires.
- Vera-Cruz, D. 1972. Artificial nourishment at Copacabana beach. In: *Proceedings of 13th Conference on Coastal Engineering*, Vancouver, Canada, 1972, (13): 1451–1461.
- Wang, G.L., Cai, F., Cao, H.M. 2009. Study on the practice and theory of beach replenishment of xiangshan to changweijiao beach in xiamen.

Ocean Eng. 27 (3): 66-75.

Wentworth, C.K. 1922 A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *Journal of Geology* (30): 377-392.

Winton, T.C., Chou, L.B., Powell, G.M. y Crane, J.D. 1981. Analysis of Coastal Sediment Transport Processes from Wrightsville Beach to

Fort Fisher, North Carolina. US. Army Corps of Eng. Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, Misc. Rep., MR 81-6, 205 p.