

REPOBLAMIENTO DE PLAYAS DEL SUR DE MAR DEL PLATA (ARGENTINA)

Marcia Mojica ^{1*}, Salvador Lamarchina ¹, Giorgio Anfuso ², Federico Isla ¹

¹ Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (UNMDP/ CIC), Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMYC-UNMDP/CONICET), 7600 Mar del Plata, CP Bs. As., Argentina.

² Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, Polígono Río San Pedro s/n, 11510 Puerto Real, Cádiz, España.

* Corresponding author: maar.mojica@hotmail.com

ARTICLE INFO

Article history

Received March 7, 2022

Accepted May 27, 2022

Available online May 27, 2022

Handling Editor

Sebastian Richiano

Keywords

Protección de costas

Realimentación

Dunas

Erosión

Mar del Plata

RESUMEN

La costa sur de Mar del Plata, provincia de Buenos Aires (Argentina) se caracteriza por tener una gran variedad de rasgos geomorfológicos. En la zona se reconocen playas con campos de dunas y playas en bolsillo con acantilados. A partir de esta situación surgen dos problemas de gestión costera: i) El retroceso de los acantilados y la erosión en las playas generan un riesgo para los barrios y la ruta provincial 11 que se encuentran por encima de ellos; ii) La migración de dunas a causa de los vientos provenientes del cuadrante sur impide la circulación sobre la ruta provincial obstaculizando el paso vehicular. En este trabajo se propone el uso de las arenas que invaden la ruta como arena de préstamo para regenerar las playas de cercanías. El área de estudio se centra en la Reserva Turística y Forestal Paseo Costanero Sur que se extiende a lo largo de la costa entre el Faro de Punta Mogotes y el arroyo Las Brusquitas con una longitud de 27 km. El análisis del trabajo se focalizó en 4 playas, de norte a sur: Playa Serena, Luna Roja, Chapadmalal y San Eduardo del Mar. En cada una de ellas se realizaron perfiles topográficos durante las mareas bajas para conocer el ancho de playa. A la vez, se extrajeron muestras sedimentológicas de los subambientes para conocer sus características granulométricas, y así finalmente aplicar los diagramas de James. Con estos se obtuvo la idoneidad de los sedimentos (dunas y playas) para saber en qué playa sería más adecuado llevar a cabo un relleno. Los resultados obtenidos demostraron que el mejor ajuste sedimentológico fue entre las arenas eólicas y las arenas de la Playa Serena (Ra: 1,02 Rj: 0,14). Estudios anteriores sobre la posibilidad de regenerar playas del sur de Mar del Plata con arenas eólicas de otro campo de dunas han dado resultados alentadores. Sin embargo, las arenas aquí estudiadas presentan una granulometría más gruesa, por lo que los factores de regeneración fueron más prometedores. Según lo expresado en este primer acercamiento sobre una obra de regeneración de playas, se comprueba que las arenas de las dunas móviles cercanas al barrio de San Eduardo del Mar son aptas para utilizarlas como relleno en las playas de la reserva.

EXTENDED ABSTRACT

Nourishment of beaches south of Mar del Plata (Argentina)

There are different forms of coastal erosion management: do nothing, accommodation (adaptation or relocation), and protection (soft and hard solutions; Williams *et al.*, 2018).

On the coast of the province of Buenos Aires, Argentina, several of the above techniques have been used, i.e. armoring, moderation and restoration, especially in the city of Mar del Plata (General Pueyrredón country). The beaches in front of the central part of the city have a large number of breakwaters. Those structures, which were built without an adequate design, favored the migration of erosive processes downdrift, i.e. in the direction of the coastal sediment transport (south to north). Other protection works that were carried out are the beach nourishment projects that use sands extracted from different sources, both marine and continental. The most relevant work was carried out in 1998 with sand extracted from the sand shoal accumulated at the outlet of the port. The beaches located in the southern part of the city are almost natural and only in recent years a few protection structures, such as groins and rip-rap revetments of orthoquartzite rocks have been emplaced. Because of this, the southern area is preserving a high degree of landscape and sanitary quality for bathing purposes.

The study area is located at the southern end of the General Pueyrredón country, within a protected area named Reserva Turística y Forestal Paseo Costanero Sur, which has an extension of 27 km from the Punta Mogotes lighthouse to the Las Brusquitas creek (Fig. 1c). The area has a great variety of landforms: pocket beaches, dune fields, tall cliffs, at places covered with fossil dunes, and rock platforms. A feature of oceanographic interest is the existence of a littoral cell in the Ensenada de Mogotes (northernmost part of the study area).

These beaches are susceptible to storms, mainly approaching from the south, that causes coastline and cliff retreat, generating a risk for the neighborhoods and for the stability of the route 11 that runs on top of these cliffs. Likewise, this provincial route between the cities of Mar del Plata and Miramar, in the sector near the San Eduardo del Mar neighborhood, is affected by the migration

of dunes under the action of winds blowing from WSW. It is often required the intervention of the municipality to rehabilitate the route. Such sands are usually not reintegrated to the coastal sediment budget, despite the fact that there have been carried out in recent years different studies recommend that for a sustainable management (Fig.1).

The objective of the present work was to analyze the possible use of the sands accumulated by the wind on the Provincial Route 11 in the vicinity of the San Eduardo del Mar neighborhood to carry out artificial nourishments at the beaches belonging to the Reserva Turística y Forestal Paseo Costanero Sur, i.e. Playa Serena, Luna Roja, Chapadmalal and San Eduardo del Mar beaches (Fig.1).

Beach nourishment is considered a soft protection solution consisting in the artificial fill of the beach using sand (“borrow sand”) from another site. The purpose is to increase the width of the backshore and thus to keep the toe of the cliffs away from the action of the waves. This method also provides recreational benefits by increasing the tourist capacity and, therefore, the associated economic value for local municipalities.

The methodology used for this work was divided into two parts: on the one hand, a survey of the beaches was carried out by means of topographic profiles with an analog theodolite during low tide conditions to determine the beach width and slope. At the same time, four sediment samples were obtained from a depth of one centimeter (respect to the surface of the beach), and then sieved in laboratory to determine the average grain size and statistical parameters (Folk and Ward, 1957) using the *Gradistat* software (Blott and Pye, 2001). On the other hand, the suitability of natural and borrow sediments was checked by applying the James diagram (1975). Using the statistical parameters, the Overfill factors (Ra) value, which indicate the suitability (and therefore the probable behavior) of the borrow material respect to the native material, were calculated; and the Renourishment factor (Rj), which indicates how often the replenishment of the borrow material would be required (U.S. ACE, 1984). For the eolian sands of the dune field, the grain size data were obtained from previous sampling (García González *et al.*, 2021).

Table 1 summarizes the results of the beach profiles and grain-size parameters for each beach. In general, beach lengths range from 40 to 70 m, slopes

from 3 % to 5 % and the grain sizes are quite varied, from fine sands to gravel sizes (2 phi to -2.5 phi).

Applying the James (1975) diagram, it was found that the best combination was the one corresponding to the replenishment of Playa Serena. In other words, only 1.02 m³ of borrow material (i.e. sand from the mobile dunes) is needed to replenish 1 m³ of native sand in that beach, and it had to be replenished 0.14 times more often respect to the present material. The rest of the beaches gave interesting results: for Chapadmalal and San Eduardo del Mar beaches the Ra ratios were also small (Ra: 1.05 and 1.02, respectively and Rj: 1.5), while Luna Roja had the highest values (Ra: 5.0 and Rj: 2; Table 3).

The results presented above allowed the following conclusions:

1. Comparing sediment compositions in the Ensenada de Mogotes fine sand sizes prevail (Playa Serena 2.5 phi) while the grain sizes become coarser and with a smaller selection (San Eduardo del Mar 0.5 phi) outside of the Ensenada.
2. According to the topographic profiles, the beaches farther away from the Ensenada present steeper slopes (i.e. 5 %, Luna Roja and San Eduardo del Mar) with biggest grain sizes. Chapadmalal beach is a exception because it is a bimodal beach related to a breakwater.
3. The diagrams of James showed that the eolian sands of the San Eduardo del Mar dunes can be used as borrow sediment to nourish the beaches within the protected area Reserva Turística y Forestal Paseo Costanero Sur.
4. Results from the Ra and Rj diagrams allowed to state that borrow sand (obtained from mobile dunes) is especially to the Playa Serena sands (Ra 1.02 and Rj 0.14) and renourishments values are also suitable for the beaches of Chapadmalal and San Eduardo del Mar.
5. Considering the distance between the borrow area (the mobile dunes) and the beaches, San Eduardo del Mar and Chapadmalal are the most adequate to avoid large transportation costs, because the first one is located very closet to dune field and the second one is only 5.3 km away.

Keywords: Coastal protection, Nourishment, Dunes, Erosion, Mar del Plata.

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente el 31% de las costas en el

mundo son arenosas y el 24% de estas se están erosionando a un ritmo superior a 0,5 m/año debido a intervenciones humanas (Luijendijk *et al.*, 2018). Como respuesta a dicha tendencia, existen diferentes formas de manejo costero: i) protección con soluciones rígidas: revestimientos, espigones; o soluciones blandas: incorporar sedimentos a la playa; ii) acomodación: las actividades del sistema político, económico y social se adaptan o se relocalizan en otras zonas lejanas de la línea de costa; iii) abstención: no hay una solución posible dentro de los recursos económicos de las autoridades o no merece la pena defender las actividades/estructuras amenazadas por la erosión (Williams *et al.*, 2018). La primera respuesta es enfocada desde un punto de vista ingenieril y las otras desde la gestión ambiental.

En la costa de la provincia de Buenos Aires (Argentina) se han utilizado varias de estas técnicas de manejo costero, especialmente en la ciudad de Mar del Plata, con un ritmo de erosión de -1 m/año (Isla y Bértola, 2005). Diferentes técnicas de protección fueron puestas en práctica desde su fundación hasta la actualidad (Isla *et al.*, 1994, 2001, 2018; Merlotto *et al.*, 2017). La mayoría de las obras realizadas son las llamadas “duras”, construidas con bloques de gran tamaño de rocas o de concreto colocados en forma de pedraplenes, espigones y rompeolas. Estas estructuras traen consigo problemas ambientales y de paisajismo (Isla, 2006). Dicha situación se aprecia en las playas del sector litoral frente al centro de Mar del Plata (Isla, 2006; Pontrelli Albisetti *et al.*, 2014) que, debido a la alta densidad de espigones, se considera un litoral totalmente antropizado con playas artificiales.

Caso contrario ocurre en las costas del sur de la ciudad donde se presentan tasas de erosión aproximadas de 1,6 m/año (Isla y Cortizo, 2013) aunque la intervención humana ha sido menor. Dicha erosión origina el retroceso de la línea de costa (pie de acantilado o pie de escarpa de médano) generando un riesgo para los barrios y la ruta provincial interbalnearia número 11 (RP11) que se extiende en el tope de estos acantilados (Finocchietti, 2014; Fig. 1). Asimismo, la ruta provincial también es afectada por la migración de los campos de dunas que obstruyen la circulación del tránsito entre las ciudades de Mar del Plata y Miramar (García González *et al.*, 2021; Fig. 1), requiriéndose a menudo la intervención del municipio para rehabilitar la ruta.

El objetivo del presente trabajo fue analizar el

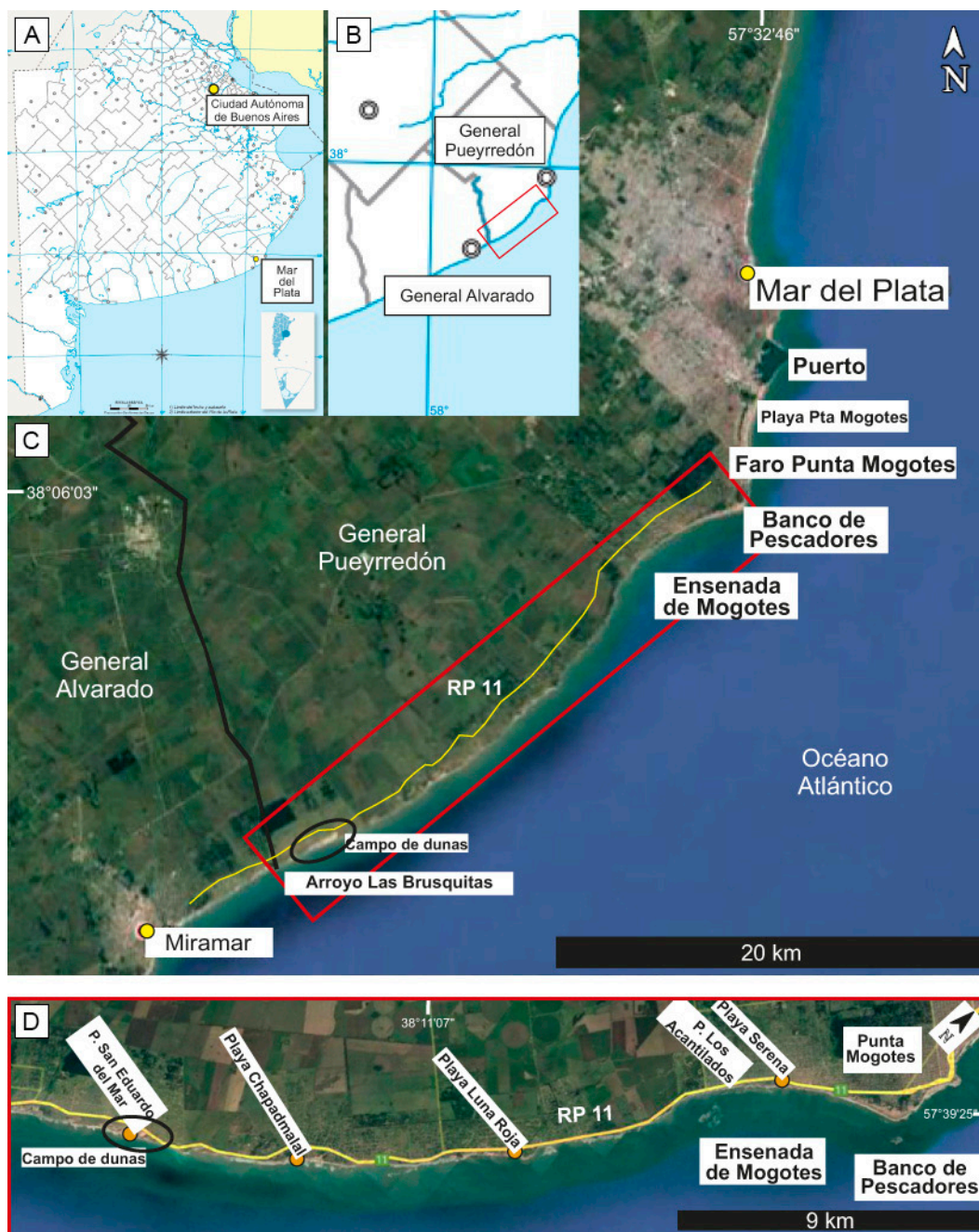


Figura 1. Ubicación general de las localidades y lugares más relevantes del área de estudio. **a)** Mapa de la provincia de Buenos Aires. **b)** Ubicación de los partidos de General Pueyrredón y General Alvarado. **c)** Ubicación de la Reserva Turística y Forestal Paseo Costanero Sur (área de estudio) en el recuadro rojo. **d)** Detalle de la reserva y área de estudio, y localización de las playas estudiadas (círculo amarillo) y del campo de dunas (círculo negro).

Figure 1. Location of the most relevant towns and places in the study area. **a)** Map of Buenos Aires province. **b)** Location of the districts of General Pueyrredón and General Alvarado. **c)** Location of the protected area Reserva Turística y Forestal Paseo Costanero Sur (red box). **d)** Detail of the protected and study areas, and location of the studied beaches (yellow circle) and dune field (black circle).

posible uso de las arenas acumuladas por el viento sobre la ruta provincial 11 en las cercanías al barrio San Eduardo del Mar para llevar a cabo una alimentación artificial de las playas pertenecientes

a la Reserva Turística y Forestal Paseo Costanero Sur (Fig. 1). Al aumentar el área de playa seca evitará que la energía del mar llegue a la base de los acantilados y los erosione. El método se denomina regeneración

de playas (o refulado, en inglés *beach nourishment*). Se trata de una obra blanda que consiste en utilizar arena de otro sitio (arena de préstamo) para regenerar o rellenar una zona en erosión. Las características texturales de las arenas, tanto de préstamo como la original perteneciente a la playa a regenerar tienen que ser similares. La finalidad de la obra consiste en aumentar el ancho de la playa seca y alejar el mar de las actividades antrópicas o los ecosistemas presentes detrás de la playa. Este método brinda beneficios recreativos al aumentar la capacidad turística de la playa y aumenta el aprovechamiento económico por parte de los municipios costeros.

ANTECEDENTES

Las playas de la ciudad de Mar del Plata presentan problemas de erosión iniciados en el año 1920, desde la construcción del puerto y su escollera de 2750 m de largo ubicada en el extremo sur, ya que estas infraestructuras interrumpen la deriva litoral (con dirección sur – norte; Fig. 1). Como solución se han realizado una gran cantidad de obras de protección, mayormente las de carácter “duras” como los espigones construidos en las playas hacia el norte (aguas abajo) del puerto. La gran densidad de estructuras favoreció la migración de los procesos erosivos hacia el norte según el efecto “dominó” (Isla *et al.*, 2001, 2018). En menor medida se han realizado, y se realizan actualmente, obras de carácter blando como los rellenos con arenas extraídas a partir de diferentes fuentes: i) el banco de arena que se acumula en la boca del puerto; ii) la acumulada en la playa de Punta Mogotes por la obstrucción de la deriva litoral a causa de la escollera sur del puerto; iii) depósitos de dunas; iv) arenas de la plataforma; v) ortocuarcitas trituradas extraídas de canteras preexistentes en tierra (Isla y Schnack, 1986; Isla *et al.*, 2001). La obra más relevante de este método de protección se llevó a cabo en 1998 con arena extraída del banco acumulado en la boca del puerto. Se rellenaron tres playas del centro de la ciudad con 2.000.000 m³ de arena para aumentar 100 m el largo de la playa seca (Bértola, 2001; Marcomini y López, 2006). Una obra más actual, pero de menor magnitud, fue realizada en el balneario Honu Beach, en este caso se utilizó como material de préstamo ortocuarcitas trituradas (Bértola *et al.*, 2016). Asimismo, existen trabajos que han comprobado la idoneidad de sedimentos eólicos pertenecientes a las dunas del Vivero Ameghino de

la ciudad de Miramar con la finalidad de rellenar playas de la misma ciudad y la playa Chapadmalal de la ciudad de Mar del Plata (Isla, 2003).

Las actuaciones de manejo costero en el sur marplatense son sumamente escasas, tratándose solo de medidas recientes de protección como espigones (Fig. 2a) y pedraplenes de ortocuarcita (Isla, 2006; Fig. 2b). Asimismo, desde la Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas de la provincia de Buenos Aires, se realizó una gran obra de defensa dentro de la Ensenada de Mogotes, con rompeolas desvinculados (Gyssels *et al.*, 2013; Fig. 2c, d). Esta obra, que involucra rocas duras y la creación de una berma artificial con bolsas de geotextil cubierto por un relleno de arenas de préstamo, cumplió con el propósito de aumentar la superficie de playa seca, pero asimismo en zonas cercanas incrementó la erosión (Isla *et al.*, 2018).

Por otro lado, la única acción por parte de Vialidad de la provincia de Buenos Aires y el Ente Municipal de Vialidad y Alumbrado Público (EMVIAL) de General Pueyrredón frente a la migración de las dunas que invade la RP11 consiste en remover la arena que obstruye la ruta y darle usos muy alejados del manejo costero, como la construcción, relleno de espacios públicos (plazas), a pesar de que se han presentado recomendaciones y propuestas para su gestión (García González *et al.*, 2021). El campo de dunas al que pertenecen se encuentra ubicado entre la playa y la traza de la RP11 en la zona del barrio de San Eduardo del Mar. Dicho campo se dispone sobre acantilados y da como resultado la formación de médanos colgados (Isla *et al.*, 2001; Marcomini y López, 2005; Fig. 3). En este trabajo se espera que el aprovechamiento de las arenas que actualmente generan un inconveniente en la red vial interbalnearia producirá, por un lado, reducir los costos de relleno que impliquen alternativas artificiales, y por otro lado, se les dará un mejor uso a las arenas removilizadas.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La costa de la ciudad de Mar del Plata (partido de General Pueyrredón) se caracteriza por cabos y entrantes debido a las diferentes resistencias de las rocas (Isla, 2006). Los cabos están conformados por rocas de ortocuarcitas correspondientes a los últimos afloramientos del Sistema de Tandilia (Farenga *et al.*, 1992), mientras que las zonas de entrantes se

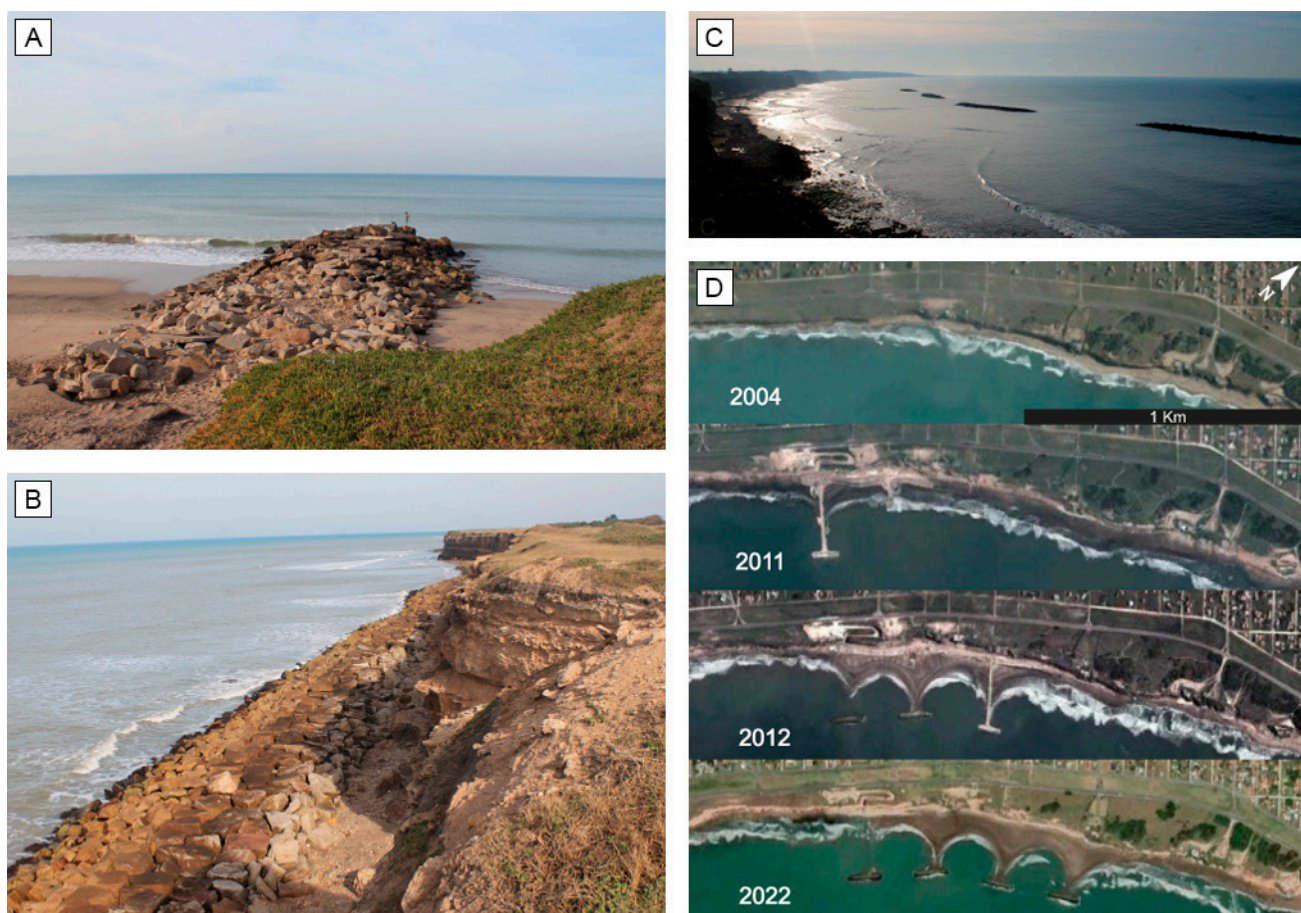


Figura 2. Medidas de protección en la zona sur de Mar del Plata. **a)** Espigón. **b)** Pedraplén. **c)** Rompeolas desvinculados en la playa Los Acantilados, ubicada dentro de la Ensenada de Mogotes. **d)** Cronología de la obra de los rompeolas desvinculados en la playa Los Acantilados. Imágenes extraídas del Google Earth histórico.

Figure 2. Protection measures in the southern area of Mar del Plata. **a)** Groins. **b)** Rip-raprevetment. **c)** Detached breakwaters in Los Acantilados beach, inside the cove Ensenada de Mogotes. **d)** Chronology of the work of the disconnected breakwaters at Los Acantilados beach. Images extracted from historical Google Earth.

corresponden con materiales más blandos de origen sedimentario (Isla *et al.*, 1986), lo que favorece el desarrollo de playas en bolsillo.

El clima de la zona se caracteriza por ser templado subhúmedo, con una temperatura media anual de 13,9°C, precipitaciones de 894 mm/año y vientos mayormente del norte y oeste con velocidad promedio de 21 km/h (Isla, 2010). También se registra influencia de la brisa marina mayormente en los meses estivales (diciembre, enero y febrero) con predominio de viento del NE. La orientación hacia el sureste de la costa de Mar del Plata la hace susceptible a las tormentas (de mayor energía) provienen del sector sur y sureste, denominadas sudestadas.

Dentro de los aspectos oceánicos, este litoral se caracteriza por un rango de marea micromareal con

desigualdades diurnas entre 0,12 a 1,91 m (Servicio de Hidrografía Naval). Según el clima de olas, normalmente la zona presenta una altura promedio de ola de 0,91 m con un período de 9,5 segundos y una altura de rompiente de 1,2 m. Durante eventos de tormentas la altura de la ola puede superar los 2 m (Lanfredi *et al.*, 1992). Por lo general, la dirección de ola es bimodal, dependiendo de dónde proceda el viento, llegando a la costa con una incidencia oblicua desde el SE o secundariamente desde el ENE (Isla *et al.*, 2018). Las alturas más altas, coincidente con las tormentas, son del sur y ocurren principalmente en primavera (Isla, 2010). Esto induce el transporte de sedimento por deriva litoral, la cual se propaga desde el sur hacia el norte (Isla, 2014). Al encontrarse interrumpida por varios obstáculos, tanto naturales como artificiales, se produce una fuerte erosión

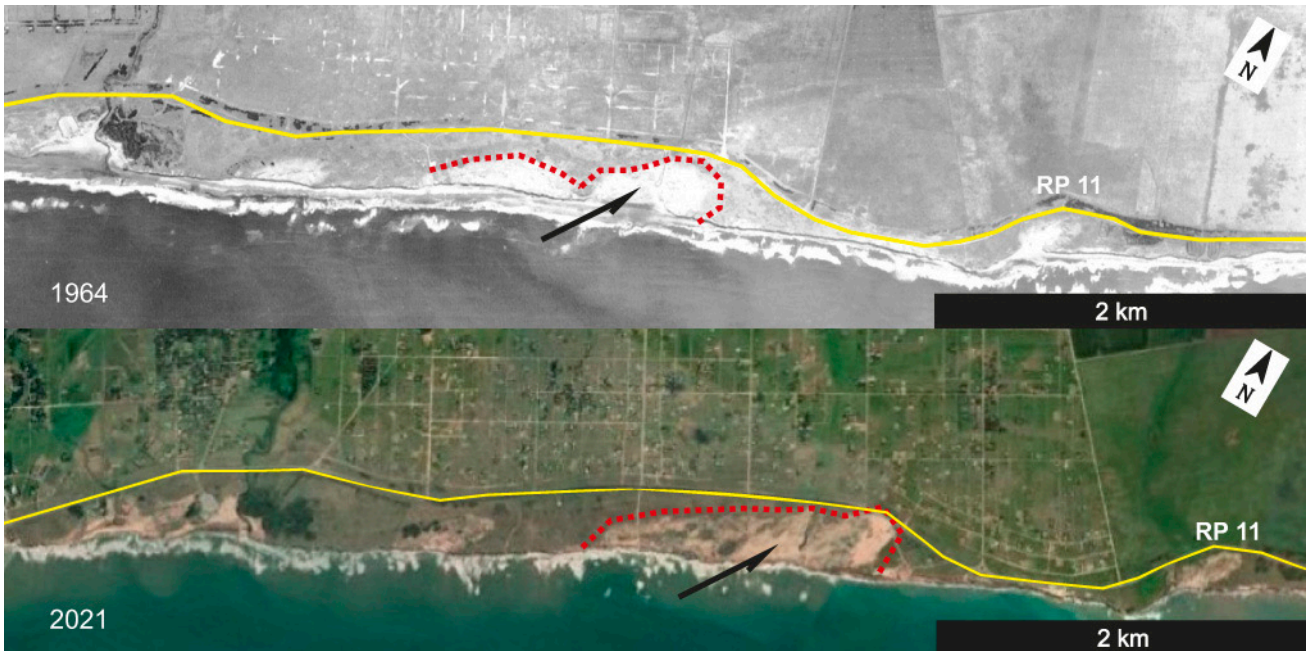


Figura 3. Migración del campo de dunas de San Eduardo del Mar entre 1964 y 2021.
Figure 3. Sand migration from the San Eduardo del Mar embayment between 1964 and 2021.

hacia el norte (aguas abajo) y acumulación hacia el sur (aguas arriba) de las mismas (Isla *et al.*, 1994, 2018).

Las tormentas afectan de manera relevante las playas del área de estudio: su estado morfodinámico cambia estacionalmente, pasando de reflectivas en invierno (de julio a agosto), cuando las condiciones de olas producen mayor erosión, a disipativas en verano (de diciembre a enero; Isla *et al.*, 1994) cuando prevalecen condiciones de buen tiempo. A dichos comportamientos estacionales se le asocia una variación en la granulometría de los sedimentos; tamaños más gruesos se asocian a estados reflectivos y tamaños más finos a estados disipativos (Farenga *et al.*, 1992; Isla *et al.*, 2001; Pulido Arenas, 2014; Lamarchina *et al.*, 2021).

Más en detalle, la zona de estudio se desarrolla en el extremo sur del partido de General Pueyrredón, enmarcado dentro de la Reserva Turística y Forestal Paseo Costanero Sur con una extensión de 27 km desde el Faro de Punta Mogotes hasta el arroyo Las Brusquitas (Fig. 1c). La reserva posee una gran cantidad de características paisajísticas, geológicas, paleontológicas, de flora y fauna, e históricas. Desde el punto de vista geomorfológico presenta una gran variedad de morfologías: i) playas en bolsillo de anchos variados (40-60 m aproximadamente); ii)

campos de dunas fijos por actividades de forestación (de aproximadamente 2 km de longitud y 500 m de ancho) y campos de dunas colgadas activas, semifijas y fijas mayormente por vegetación autóctona (1,5 km de longitud y 300 m de ancho; García González *et al.*, 2021); iii) acantilados activos e inactivos formados por sedimentos de limos-arenosos con alturas promedios de 34 m. En algunos sectores se encuentran cubiertos, en sus cimas, por dunas inactivas colgadas o, en sus frentes, por rampas eólicas. En otros sectores, los acantilados forman plataformas de abrasión que pueden aparecer junto con las dunas colgadas. Una característica de interés oceanográfico es el registro de una celda litoral completa (Farenga *et al.*, 1992) en la Ensenada de Mogotes (extremo norte de la zona de estudio; Fig. 1c) con erosión en el sur, transporte en la zona media y acumulación hacia el norte, dándose un volumen de sedimentos transportados por la deriva litoral de 740.000 m³/año (Isla, 2010).

La suma de estas características le brinda al lugar un gran interés turístico debido al alto grado de paisajismo y calidad sanitaria de las aguas de baño (Isla *et al.*, 1994; Juárez *et al.*, 2001; Isla, 2003). A su vez, en los últimos años, son más concurridas a causa de la situación de distanciamiento social preventivo, que lleva a los usuarios a buscar playas

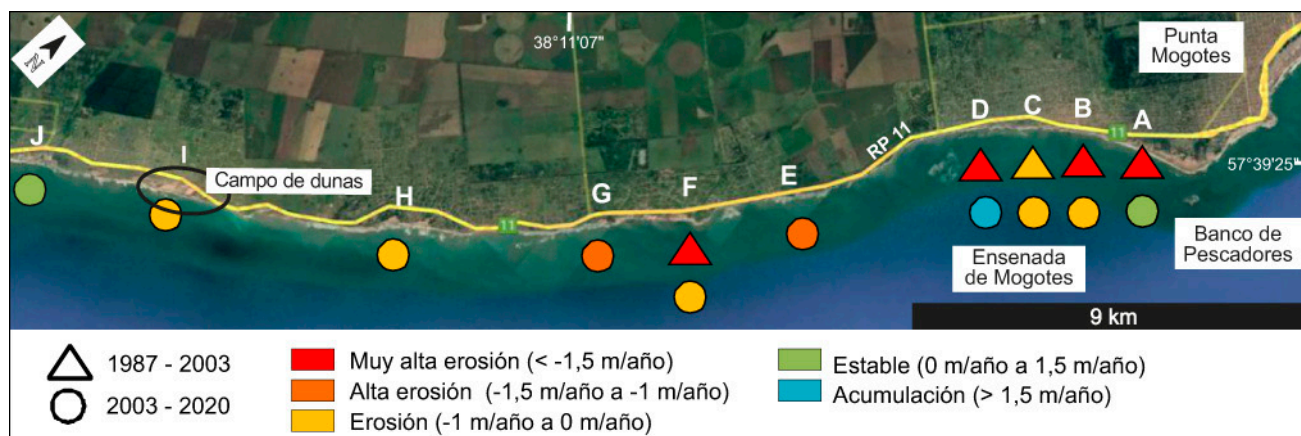


Figura 4. Tasa de erosión de las principales playas de la Reserva Paseo Costanero Sur entre los años 1987 y 2020 (en orden de ubicación de sureste a noreste A: Playas del Faro; B: Playa Serena; C: Playa San Patricio; D: Los Acantilados; E: Los Lobos; F: Luna Roja; G: Cruz del Sur; H: Chapadmalal; I: San Eduardo del Mar; J: Las Brusquitas; modificado de Mojica 2021).

Figure 4. Erosion rate between 1987 and 2020 of main beaches of the Reserva Paseo Costanero Sur (in order of location from southeast to northeast A: Playas del Faro; B: Playa Serena; C: Playa San Patricio; D: Los Acantilados; E: Los Lobos; F: Luna Roja; G: Cruz del Sur; H: Chapadmalal; I: San Eduardo del Mar; J: Las Brusquitas). (modified from Mojica 2021).

con menor densidad de bañistas.

A lo largo de toda la reserva se presentan zonas con una gran erosión litoral (retroceso de la base del acantilado y disminución del área de playa) y zonas con una importante acumulación de sedimentos (formación de dunas), es decir, un desbalance sedimentario. No obstante, toda la línea de costa se encuentra en retroceso, se ha calculado una tasa de retroceso para la línea de playa (límite tierra-agua) entre 0,5 a 1 m/año aproximadamente (Mojica, 2021; Fig. 4) y un retroceso del acantilado de 1,6 m/año (Isla y Cortizo, 2013). En las playas que sufren erosión el oleaje alcanza la base de los acantilados facilitando el retroceso de los mismos. Esto pone en riesgo la RP11, que conecta a la ciudad de Miramar con la ciudad de Mar del Plata, construida en la cima de los acantilados, en algunos sectores el borde del acantilado ya se encuentra muy cercano a ella (20-50 m) por lo que se han colocado rocas en forma de pedraplenes para mitigar la erosión. En otras zonas la distancia entre la cima del acantilado y la ruta es de 200 m.

Las sudestadas dañan principalmente a las playas sin plataforma de abrasión y aquellas lejanas al Banco de Pescadores. Dicha forma corresponde a un afloramiento rocoso de ortocuarcitas del Sistema de Tandilia ubicado en la playa sumergida (Farenga et al., 1992) y genera, debido a la interrupción de la deriva litoral, la acumulación de arenas dando como resultado la expresión de un tómbolo (Fig. 1c).

Por otro lado, en varios sectores de la reserva se encuentran los campos de dunas inactivos y activos. El primero se ubica en el sector norte con unas dimensiones aproximadas de 2 km de longitud y 500 m de ancho. Su formación es a causa de la acumulación de sedimentos generada por el Banco de Pescadores. Las dunas del campo se encuentran fijas debido a tareas de forestación realizadas hacia mediados del siglo XX y son propiedad de la empresa Playas del Faro Sociedad Anónima Inmobiliaria (Juárez et al., 2001). Aquí se ubican los balnearios más importantes y exclusivos de Mar del Plata. El segundo campo de dunas se encuentra en el extremo sur a la altura del barrio San Eduardo del Mar. El desarrollo del campo de dunas se emplaza sobre acantilados que generan dunas colgadas. La parte central se encuentra interceptada por un arroyo efímero (arroyo San Eduardo) que corta a los acantilados y permite el desarrollo de una playa en bolsillo (350 m de longitud) conectada a las dunas por la zona distal. Todo el campo presenta una gran variedad de dunas, activas, semifijas y fijas, además de rampas eólicas y cuencas de deflación (García González et al., 2021; Fig. 1d). Son las dunas activas de esta zona las que por acción del viento del cuadrante OSO generan la migración del médano sobre la RP11, ubicada inmediatamente en la parte de sotavento del campo, impidiendo la circulación del tránsito por ese sector. La gran diferencia entre ambos campos es que esta zona es pública y no



Figura 5. Playas relevadas con vista hacia el sur (a-d) y ubicación de los perfiles en las playas (e-h, círculo y línea punteada roja). **a)** Playa Serena se puede apreciar las dunas adosadas a los acantilados (flecha roja). **b)** Playa Luna Roja, se aprecia el arroyo Lobería cortando la playa y formando una pequeña escarpa. **c)** Playa Chapadmalal, se aprecia la suave pendiente y homogeneidad del perfil. **d)** Playa San Eduardo del Mar, se ve un paisaje compuesto de dunas (flecha roja), con bloques de tosca hacia la playa distal (flecha negra) y gravas hacia la playa proximal (flecha violeta).

Figure 5. Surveyed beaches (view to the south) (a-d) and location of the beach profiles (e-h red circle and line). **a)** Playa Serena, where dunes are attached to the cliff (red arrow). **b)** Luna Roja beach, where Lobería stream cuts the beach and forms a channel. **c)** Chapadmalal beach, showing a gentle slope and a homogeneous profile. **d)** San Eduardo del Mar beach, which exhibits a landscape consisting of dunes (red arrow) with calcareous rocks in the upper beach (black arrow) and gravel sediments in the lower foreshore (violet arrow).

esta forestada, siendo la vegetación mayormente autóctona. Esto le confiere a la zona un alto grado de conservación ambiental en comparación con el resto del área de estudio.

En los 27 km de costa que comprende la reserva se presentan una gran cantidad de playas con diferentes competencias, administraciones, diferentes tamaños

y características morfosedimentarias. Para el presente trabajo se estudiaron 4 de ellas, ubicadas de norte a sur: Playa Serena, Luna Roja, Chapadmalal y San Eduardo del Mar (Fig. 1d). La última se encuentra dentro del campo de dunas mencionado mientras que las tres restantes son coronadas por acantilados de diferentes alturas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada para este trabajo se dividió en dos partes: por un lado se realizó un relevamiento de las playas con la construcción de perfiles topográficos con teodolito analógico para conocer el ancho de playa y la pendiente. Al mismo tiempo se obtuvieron, de forma manual con una pala de plástico, 200 g de muestras de sedimentos para luego analizarlas en laboratorio y conocer los estadísticos sedimentológicos. Por otro lado, se obtuvo la comprobación de la idoneidad de los parámetros de los sedimentos naturales y de préstamo mediante la aplicación del diagrama de James (1975).

Relevamiento de Playas

Los relevamientos de campo se realizaron en septiembre y octubre del 2021. Consistieron en la ejecución, durante condiciones de bajamar, de perfiles topográficos en las 4 playas a estudiar (Playa Serena, Luna Roja, Chapadmalal, San Eduardo del Mar) con un teodolito analógico (marca Nikon modelo NT-2A). Se realizó un único perfil por cada playa, desde un punto fijo en la playa distal hasta la zona de lavado (*swash*). El trazado de los perfiles fue perpendicular a la línea de costa (Fig. 5e-h). Se midieron cotas a una equidistancia de 5 m hasta la posición del agua. Así se obtuvo el perfil topográfico y se conoció el ancho de playa en ese momento. También, sobre la base de los datos de distancias y alturas de perfiles, se pudo adquirir el valor de pendiente de las playas para cada sitio.

A su vez, se obtuvieron 4 muestras de sedimentos a lo largo de cada perfil. Estas fueron extraídas de hasta una profundidad de un centímetro para obtener los sedimentos que se encuentran en equilibrio hidrodinámico. Las muestras corresponden a los subambientes de la playa distal, mesolitoral, *swash* y *surf*, excepcionalmente en algunas playas se obtuvo de otras zonas como bermas de marea y entre bermas. El análisis de las muestras se realizó en las instalaciones del laboratorio de sedimentología del Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales perteneciente a la Universidad Nacional de Mar del Plata. Las muestras fueron lavadas con agua corriente y secadas en estufa (marca FANEM modelo 315 SE) a 70° C por 24 hs para eliminar restos de sales. Luego

se procedió a tamizar cada una de las muestras con un peso de 170 g aproximadamente, entre -4 a 4 phi en intervalos de 0,5 phi durante 10 minutos en una tamizadora Ro-Tap con tamices Macotest. Los sedimentos retenidos por cada uno de los tamices fueron pesados en una balanza electrónica (marca Sartorius) para luego completar en una tabla de Excel los pesos de cada tamiz. Finalmente, los tamaños de grano medio y los parámetros estadísticos fueron calculados con el software Gradistat (Folk y Ward, 1957; Blott y Pye, 2001).

Compatibilidad de los Sedimentos

Para conocer si un sedimento puede ser utilizado como relleno artificial de una playa existe un método perfeccionado por James (1975), a partir del cual se constata si el sedimento de préstamo es adecuado para el sistema natural que se quiere repoblar. James (1975) describe dos factores en base a la media y desviación estándar de las granulometrías de sedimento de préstamo y el sedimento natural en unidades de phi. El primero es el Factor de Sobrelleño (R_a , *overflow factor*) lo cual indica el comportamiento probable del material de préstamo; y el segundo es el Factor de Reabastecimiento (R_j , *renourishment factor*) que indica cuán a menudo se requerirá la reposición del material de préstamo (U.S. ACE, 1984). Este factor se relaciona con la susceptibilidad del material de préstamo, si fuese más fino que el original se encontraría afectado por suspensión y transporte, es decir sería fácilmente erosionado.

Para utilizar los diagramas, primero se deben obtener los parámetros a partir de la media y desviación estándar de ambos sedimentos. Luego, se marcan en los dos diagramas según cuatro cuadrantes. Desde el margen inferior derecho al margen inferior izquierdo, en sentido antihorario, los valores en las isolíneas van de menor estabilidad a mayor estabilidad (Fig. 6). Cada uno de los diagramas corresponde a uno de los factores (R_a y R_j). A partir de los resultados obtenidos en los diagramas se conocen los valores de R_a y R_j correspondiente para cierta combinación de materiales.

Los sedimentos naturales necesarios para este método deben ser de una zona del perfil de playa que se encuentre en equilibrio hidrodinámico con los procesos actuantes en la zona mesolitoral (U.S. ACE, 1984). Por esta última razón, las muestras utilizadas fueron tomadas de dicho ambiente. Sin embargo,

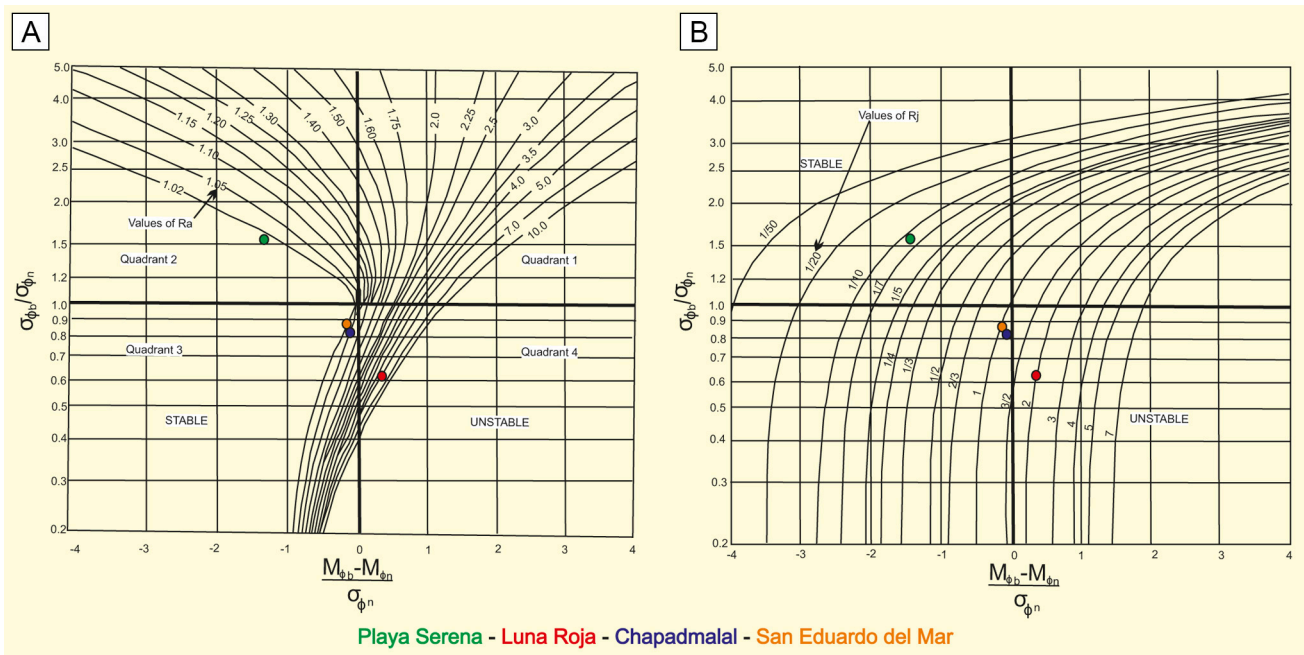


Figura 6. Diagramas de James (1975) con los valores de las combinaciones de sedimentos (playas y dunas). **a)** Diagrama de Ra, factor de Sobrelleño (*overflow factor*). **b)** Diagrama Rj, factor de reabastecimiento (*renourishment factor*). Los subíndices b: sedimento de préstamo (*borrow*) y n: sedimento natural.

Figure 6. James diagram (1975) with values corresponding to beaches and dunes sediments. **a)** Ra diagram (*overflow factor*). **b)** Rj diagram (*renourishment factor*). Subscripts b: borrow sediment and n: natural sediment.

en la playa de San Eduardo del Mar se tuvo que realizar el método con una muestra extraída entre la berma de marea y la escarpa de tormenta, ya que el ambiente mesolitoral en el momento de la extracción de muestra presentó granulometrías de tamaños sábulo, un tamaño mayor al que habitualmente presenta.

Para el caso de las arenas eólicas del campo de dunas los datos granulométricos fueron obtenidos previamente por otros autores que utilizaron los mismos métodos de evaluación granulométrica (García González *et al.*, 2021).

Con anterioridad a este trabajo los diagramas de James (1975) fueron utilizados en otras playas de Mar del Plata y localidades cercanas: Playa Grande, Santa Clara del Mar (Isla y Schnack, 1986), Chapadmalal y Miramar (Isla, 2003).

RESULTADOS

Relevamiento de Playas

A continuación se describen brevemente los rasgos morfológicos de cada playa junto con

los análisis granulométricos y perfiles de playa, comenzando desde el norte hacia el sur:

Playa Serena. Se trata de una playa en bolsillo, limitada en los laterales por salientes de materiales más resistentes (acantilados de limos con carbonato de calcio) que en algunos casos desarrollan plataformas de abrasión. La playa distal está limitada por acantilados de 30 m con rampas eólicas que le dan una baja estabilidad debido a que el material que las constituyen se encuentra parcialmente consolidado. La erosión de estos depósitos eólicos holocenos provee volúmenes de arena fina que alimentan la playa. Se observa un perfil homogéneo con una suave berma de marea. Durante las mareas altas la dimensión de la playa seca se reduce considerablemente (Fig. 5a). Y en eventos de alta energía la playa distal queda totalmente cubierta por el agua de mar. Según el perfil topográfico presenta un ancho de playa en marea baja de 40 m con una pendiente de 4 % (Tabla 1). En general, las granulometrías que prevalecen en la playa son de tipo arenas finas (2,5 phi), encontrándose el mayor porcentaje en el subambiente mesolitoral (81 %).

El subambiente de *surf* posee arenas entre finas a medianas (2 phi; 91 % y 6 % respectivamente), además presenta un 2 % de limos. Asimismo, en los ambientes de playa distal y *swash* hay un aumento en el porcentaje de granulometrías gruesas (-1,5 phi; 2 % y 14 %, respectivamente), lo que les confiere una selección moderada (playa distal) y pobre (*swash*).

Playa Luna Roja. Se trata de una playa en bolsillo limitada en los extremos por acantilados de 5 a 25 m de altura, que al retroceder dejan plataformas de abrasión, en general se mantiene natural con la desembocadura del arroyo Lobería. Esta tiene un comportamiento dinámico, se la suele encontrar atravesando la zona de *swash* de forma paralela al mar generando una escarpa de más de 1 m (Fig. 5b). Las mediciones del perfil topográfico dieron que el ancho de playa medido es de 55 m aproximadamente, y posee una pendiente de 5 % (Tabla 1). De acuerdo a los análisis granulométricos, en general las arenas de la playa se caracterizan por ser medianas (1,5 phi) con minerales pesados de coloración negra y roja. Más puntualmente en los subambientes de playa distal y en la berma de marea poseen arenas medianas (1,5 phi; 49 % y 56 % respectivamente), habiendo en el primer ambiente presencia de granulometrías sabulíticas (-1 a -2 phi; 1 %). Para el subambiente mesolitoral las granulometrías que predominan son arenas finas (2,5 phi; 40 %) extendiéndose hasta una baja proporción de sábulos (6,6 %) otorgando una selección moderada.

Playa Chapadmalal. Corresponde a una playa extensa con acantilados de menores alturas (5 m aproximadamente) que las anteriores. Esta playa se ubica próxima a la desembocadura del arroyo Chapadmalal y está limitada por espigones. La playa presentó en ese momento un perfil sin ondulaciones ni formación de una berma de marea (Fig. 5c). Al realizar el perfil topográfico se constató un ancho de playa de 65 m aproximadamente, con una pendiente del 3 % (Tabla 1). De acuerdo con los valores granulométricos la playa está compuesta mayormente de arenas finas (2 a 2,5 phi). Siendo el ambiente de *surf* el que presente una granulometría diferente con una importante contribución de sábulos (8,6 %) lo que le confiere una selección pobre.

Playa San Eduardo del Mar. Esta playa se encuentra en el campo de dunas naturales que no presenta

ningún tipo de modificación antrópica, salvo rasgos erosivos a causa de vehículos debido a la poca protección. A su vez el campo se encuentra atravesado por un pequeño arroyo efímero (arroyo San Eduardo). A simple vista la playa es amplia (350 m de longitud) con un perfil con variaciones topográficas a causa de las geoformas presentes: una escarpa de tormenta compuesta por arenas y una berma de marea compuesta de gravas. Entre estas morfologías se genera una gran acumulación de minerales pesados de coloración negra. A su vez dispersos por toda la playa se pueden observar bloques de toscas (rocas compuestas de carbonato de calcio; Fig. 5d). Al realizar el perfil topográfico desde el pie de duna hasta la posición del agua en marea baja, se obtuvo un ancho de playa de 70 m aproximadamente y una pendiente del 5 % (Tabla 1). Según el análisis sedimentológico, la granulometría de la playa es heterogénea. El subambiente de playa distal está compuesto por arenas gruesas (50 %), la zona entre las morfologías de berma y escarpa posee una granulometría de arena fina (2,5 phi; 49 %), mientras que la berma de marea está compuesta de grava media (-4 phi; 63 %) y el subambiente mesolitoral está formado por granulometrías entre sábulos y grava fina (-2 phi; 48 % y 46 % respectivamente).

Idoneidad de los Sedimentos

Con los datos de media y desvío estándar obtenidos de los análisis granulométricos de las muestras de playas, y los datos de las arenas de préstamos adquiridos del trabajo de García González et al. (2021) se determinó la idoneidad de los sedimentos. La muestra del material de préstamo corresponde a la cara frontal de la duna activa. Fue analizada por el método de Folk y Ward (1957) y se clasificó como una arena media, con una media de 1,845 phi y moderadamente bien seleccionado (García González et al., 2021).

Al aplicar el diagrama de James (1975) a las diferentes combinaciones de sedimentos (duna y playas), se obtuvieron los valores de Ra y Rj presentados en la tabla 3 (Fig. 6). La combinación que dio los valores más alentadores fue la correspondiente a repoblar Playa Serena. Los resultados indican que, para regenerar Playa Serena con las arenas de las dunas móviles se necesitarían 1,02 m³ de material de préstamo para satisfacer 1 m³ de la playa a regenerar

Playas	Longitud (m)	Pendiente (%)	Granulometrías (%)		
			gravas	arenas	limos
Playa Serena	40	4	4,025	95,450	0,500
Luna Roja	55	5	0,350	74,475	0,175
Chapadmalal	65	3	2,425	97,525	0,050
San Eduardo del Mar	70	5	48,925	51,025	0,025

Tabla 1. Resumen de las dimensiones y características sedimentológicas de las playas (valores de phi).

Table 1. Summary of dimension sand sedimentological features of beaches (phi values).

Sedimento	Valores granulométricos	
Préstamo		
Dunas	Desviación estándar	0,596
	Media	1,835
Natural		
Playa Serena	Desviación estándar	0,387
	Media	2,362
Luna Roja	Desviación estándar	0,972
	Media	1,527
Chapadmalal	Desviación estándar	0,710
	Media	1,910
San Eduardo del Mar	Desviación estándar	0,962
	Media	1,932

Tabla 2. Parámetros estadísticos de los sedimentos de préstamo (dunas tomado de García *et al.*, 2021) y sedimentos naturales (playas).

Table 2. Statistical parameters of borrow (dunes) and natural sediments (beaches).

(Ra: 1,02), y se deberá reabastecer 0,14 veces más a menudo que con un material igual al natural (Rj: 0,14). Por otro lado, el resto de las playas dieron resultados interesantes. Para las playas Chapadmalal y San Eduardo del Mar las proporciones de Ra son pequeñas (Ra: 1,05 y 1,02, respectivamente), mientras que Luna Roja tuvo los valores más altos (Ra: 5,0). Lo mismo ocurre con los valores de Rj, son pequeños para las primeras playas (Chapadmalal y San Eduardo del Mar, Rj: 1,5) y elevados para la segunda (Luna Roja, Rj: 2), no obstante, el valor de Rj más alto significa que las sucesivas repoblaciones futuras se harían más próximas entre sí, en cambio un valor menor significa un espaciamiento temporal mayor.

A su vez, se puede corroborar la idoneidad de

la combinación de sedimentos de las dunas con los sedimentos de Playa Serena, debido a que se cuenta con los estadísticos granulométricos de otras muestras de arenas obtenidas por otros autores (Pulido Arenas, 2016; Lamarchina *et al.*, 2021) en diferentes fechas de las aquí analizadas (febrero y diciembre respectivamente). Al representar estos últimos en los diagramas de James (1975) se obtuvieron los resultados expresados en la tabla 4.

Otra variable a tener en cuenta es el gasto de transporte desde la zona de préstamo hasta el área a regenerar. En este caso el gasto no será elevado debido a que las distancias son pequeñas, toda la zona de estudio presenta 27 km de longitud. El campo de dunas se ubica en el kilómetro 550 de

Playas	Ra	Clase	Rj
Playa Serena	1,02	II	0,14
Luna Roja	5,00	IV	2,00
Chapadmalal	1,05	III	1,50
San Eduardo del Mar	1,02	III	1,50

Tabla 3. Valores de Ra (factor de sobrellenado) y Rj (factor de reabastecimiento) de la combinación duna-playa.

Table 3. Ra and Rj Values (overfill and renourishment factors, respectively) obtained comparing dunes and beaches sediments.

	Desviación estándar	Media	Ra	Rj
Este trabajo	0,387	2,362	1,02	0,14
Pulido Arenas, 2016	0,350	2,630	1,02	0,05
Lamarchina et al., 2021	1,430	1,190	Inestable	3,00

Tabla 4. Parámetros sedimentológicos y valores de Ra y Rj de la comparación entre arenas de Playa Serena (Pulido Arenas, 2016; Lamarchina et al., 2021; estos autores) con la muestra de las dunas (García González et al., 2021).

Table 4. Sedimentological parameter sand values of Ra and Rj of comparison between the sands of Plata Serena (Pulido Arenas, 2016; Lamarchina et al., 2021; these authors) with the dune sample (García González et al., 2021).

la RP11, y dentro de las playas, la más lejana se halla en el kilómetro 532, es decir que, la fuente de sedimento se encuentra separada de la playa más lejana por unos 21 km.

DISCUSIÓN

A la hora de gestionar el litoral, un aspecto muy importante a tener en cuenta y que la mayoría de los casos pasa inadvertido, es el uso que se le da a la playa. No es conveniente proteger una playa con obras que generen un fuerte impacto visual en zonas donde el paisaje constituye su principal atracción (Isla, 2006; Pranzini et al., 2020). Las técnicas blandas, como la alimentación artificial permiten proteger el litoral y además prevalecen el paisaje, la naturaleza del ambiente y aumentan la superficie de arena seca para diferentes usos. Se trata de una técnica que beneficia en lugar de impactar como las obras duras (Campbell y Benedet, 2006; Pranzini et al., 2020). Estos métodos son cada vez más utilizadas y hay varios casos que han dado resultados positivos a nivel mundial con escasos impactos negativos (Hamm et al., 2002; Hanson et al., 2002; Bértola, 2006; Campbell y Benedet, 2006; Komar y Allan, 2010; Stronkhorst et al., 2017; Pranzini et al., 2020).

Basándose en que la ciudad de Mar del Plata tiene

una gran actividad económica en base al turismo de “sol y playa”, tanto que el municipio considera a sus arenas como “Recurso Turístico Fundamental” (Resolución n° 2623/09). Sería conveniente comenzar a valorar las arenas como un Recurso de forma que se busquen técnicas que lo aprovechen y utilicen de una manera sostenible, como es el caso de su uso en proyectos de regeneración o relleno de playa. Particularmente, en las playas del sur de la ciudad de Mar del Plata, es necesario proteger el litoral focalizándose en la conservación de los servicios ecosistémicos teniendo en cuenta los aspectos ambientales, sociales y culturales (Barragán, 2014). Adicionado a que la zona de estudio se encuentra enmarcada dentro de una Reserva Turística y Forestal, donde resulta primordial la protección de la zona costera de manera sostenible y con un manejo racional de los recursos, se analizó la compatibilidad de los sedimentos eólicos que invaden la RP11 con los sedimentos de playas cercanas para la alimentación de las mismas. A partir de los resultados obtenidos se desprende que la reutilización de arenas sería muy beneficioso, ya que así se generaría un aumento de la superficie de las playas y por lo tanto la energía de las olas se disiparía, disminuyendo en consecuencia la erosión de las playas y acantilados (U.S. ACE, 1984). Se trataría de un aprovechamiento sustentable de

los recursos naturales, a su vez se preservaría el patrimonio natural y no se producirían impactos negativos en la calidad escénica de estas playas.

Sin embargo, para que la obra de relleno sea eficaz, hay que tener en cuenta la compatibilidad de varios aspectos: sedimentológicos, de la dinámica litoral, geomorfológicos, ambientales, económicos, entre otros. Como se mencionó el diagrama de James (1975) permite conocer la idoneidad de los sedimentos de acuerdo con sus granulometrías. Según los resultados obtenidos, prácticamente en todas las playas hubo valores alentadores para el relleno con las arenas de las dunas móviles; Playa Serena (Ra: 1,02, Rj: 0,14); Chapadmalal (Ra: 1,05, Rj: 1,5); San Eduardo del Mar (Ra: 1,02, Rj: 1,5), aunque para Luna Roja los valores fueron muy elevados (Ra: 5,0, Rj: 2,0). Dentro de los análisis sedimentológicos existen también, métodos que tienen en cuenta las características cromáticas del sedimento vertido, uno de los más utilizados es el CIE $L^*a^*b^*$ 1976 (Pranzini *et al.*, 2010). La L^* corresponde al componente luminosidad y oscila entre 0 y 100, mientras que a^* y b^* están relacionadas al oponente coloreado amarillo-azul y rojo-verde, respectivamente, y pueden cambiar de -200 a +200, siendo los valores de ± 100 extraños. Los valores del color de los granos se determinan a partir de colorímetros, y con estos se obtiene el valor de L^* , a^* , b^* . La característica cromática del sedimento vertido muy pocas veces es tenida en cuenta a pesar de su importancia. Si se modifica el color original de una playa, debido al uso de arenas de préstamo de otra mineralogía (respecto a los sedimentos naturales), se genera un importante impacto ambiental; también podría cambiar el interés del turista o no verse estéticamente aceptada por los visitantes locales como tuvo lugar en la playa Varadero en la República de Cuba (Pranzini *et al.*, 2016). De acuerdo a Pulido Arenas (2016), las arenas de las playas presentan gran heterogeneidad mineralógica, esto genera una amplia gama de tonalidades, por esta razón la comparación cromática con las arenas eólicas fue descartada en este estudio. Sin embargo no se descarta la posibilidad, en futuros trabajos, de realizar los análisis cromáticos en las arenas de las playas.

Los estudios sobre la dinámica litoral, como el transporte de sedimentos longitudinales, la tasa de suministros y pérdidas del material; la energía y dirección de las olas, la recurrencia de los eventos de alta energía, entre otros, son necesarios para

luego tener mayor éxito en la regeneración de playas (U.S. ACE, 1984; Campbell y Benedel, 2006). También, en algunos casos se recomienda combinar/complementar el relleno de playa con estructuras duras (U.S. ACE, 1984; Isla, 2010), para modificar la dinámica y la energía de las olas y así disminuir la erosión en las playas, ya que el método de relleno no afecta a los aspectos oceanográficos. Esto se demostró con los resultados obtenidos de la experiencia en el balneario Honu Beach relleno con arenas de trituración, en donde se perdió gran cantidad del material en menos de un año, debido a que no se intervino en la dinámica costera. Por lo que las olas continuaron removiendo el material (Bértola *et al.*, 2016).

Dentro de los aspectos geomorfológicos, la forma natural del perfil de playa y la determinación del ancho y alto de la berma de playa, son de los más importantes. Con respecto al último, es necesario especificar el uso de la playa (recreativa o protección), para poder determinar el ancho de la berma. Relacionado con el perfil de playa, es evidente que hay una relación entre la granulometría del material y la pendiente del perfil, por lo que si se modifica la granulometría se modificara el perfil. Para esto es necesario conocer previamente las posibles evoluciones del perfil de playa con modelos matemáticos como el Ntool (Stronkhorst *et al.*, 2017) o con la herramienta XBeach (Earlie *et al.*, 2018). Una vez realizada la obra, es apropiado llevar un seguimiento de la evolución del perfil de playa, con lo que se podrá predecir la vida útil del relleno (Leonard *et al.*, 1990), ya que este tenderá a modificarse hasta lograr nuevamente el equilibrio. En los resultados de este trabajo se expone que los sedimentos de las playas más cercanas al Banco de Pescadores son más finos, correspondientes con las pendientes más suaves, y longitudes de playas más angostas. Al agregar las arenas de las dunas de granulometrías más gruesas a dichas playas, generaría un efecto positivo, con respecto al aumento de ancho, pero se modificaría el perfil natural (Campbell y Benedet, 2006; Bakker *et al.*, 2012). Por tal motivo, posiblemente se genere una gran playa distal con pequeñas pendientes y zonas mesolitorales pequeñas con elevadas pendientes como ocurrió en las playas del centro de Mar del Plata (Bértola, 2001; Marcomini y López, 2006). Otro aspecto geomorfológico a tener en cuenta es la profundidad de cierre del perfil. El material de préstamo no debe

extenderse más allá de la profundidad efectiva del transporte de sedimentos por las corrientes costeras (Rodríguez Paneque y Córdova García, 2005).

Es imprescindible que se realicen estudios de impacto ambiental antes, durante y después de la obra (Peterson y Bishop, 2005; Isla, 2010; Stronkhorst et al., 2017), y analizar los aspectos ecotoxicológicos y biológicos de los sedimentos originales, los sedimentos a verter y la mezcla de ambos. Al igual que análisis ambientales en la zona de préstamo y la zona a recuperar. Probablemente, el uso de sedimentos más gruesos que el original, podría ser perjudicial para la fauna autóctona (U.S. ACE, 1984), por ejemplo, las arenas de préstamo utilizadas en los rellenos de la ciudad de Mar del Plata en 1998 demostraron concentraciones anómalas de Cd (2,40-2,95 mg/kg; Marcomini y López, 1999).

Dentro de los aspectos económicos es necesario que al diseñar una obra de relleno de playas se tenga en cuenta la factibilidad técnica y el análisis costo-beneficio de la obra. Además, estos métodos brindan protección más allá del área problema (U.S. ACE, 1984). Sin embargo, se debe tener presente que estas obras requieren un mayor mantenimiento, a diferencia de las duras, por lo que es necesario contemplar en la planificación las etapas de realimentación de las playas. Con una buena planificación y sedimentos más gruesos que los originales, los resultados serían exitosos y el intervalo de tiempo entre cada tarea de realimentación irían aumentando, como ocurre en la playa *Delray* de Estados Unidos (Campbell y Benedet, 2006). Otro aspecto dentro de lo económico es el costo de transporte entre la zona de préstamo y el área a rellenar. El transporte puede ser terrestre o por embarcaciones, dependiendo de eso, de las distancias a recorrer y el valor del combustible será el gasto que genere al proyecto. En el presente caso de estudio el transporte sería por tierra y la distancia a recorrer es pequeña, ya que solo hay 21 km entre el área de abastecimiento de arenas eólicas y la playa más alejada. Si solo se tuviera en cuenta el factor de transporte la playa de San Eduardo del Mar es la más apropiada de rellenar ya que se encuentra inmediatamente al sur de la duna. Sin embargo, los valores de Ra y Rj no fueron, dentro de las playas analizadas, los más satisfactorios (Ra: 1,02, Rj: 1,5). Además, sería necesario tener presente varios aspectos ambientales, ya que se trata de la playa con mayor estado de conservación ambiental, es decir, con menores intervenciones humanas. Si bien, Playa

Serena es la más lejana al campo de dunas por lo que habrá mayor gasto de transporte, posee los mejores valores en cuanto a los factores de análisis de comparación de arenas (Ra: 1,02, Rj: 0,14). Por lo que mediante técnicas de análisis económicos se tendría que determinar que playa sería más rentable de rellenar.

Los trabajos/experiencias en la ciudad de Mar del Plata y cercanías fueron realizadas con materiales de préstamo diferentes al aquí estudiado. Por lo general no es habitual la regeneración de playas con arenas eólicas, debido a las granulometrías finas. Sin embargo, en el trabajo de Isla (2003) también se analizó la idoneidad de los sedimentos de dunas en ciudad de Miramar (media 1,7-2,2 phi; desvío estándar 0,7-0,9) junto con los sedimentos de la playa Chapadmalal (media 0,47-1,7 phi; desvío estándar 0,769-0,693), el cual dio valores de Ra: 1,1-1,7 y Rj: 0,5-5. Siendo similares a los resultados aquí obtenidos para dicha playa (Ra: 1,05; Rj: 1,50). Las granulometrías de las arenas de las dunas de Miramar son finas a medianas, en cambio las arenas del campo de dunas de Mar del Plata son medianas. En coincidencia con las granulometrías de la playa natural durante la estación de primavera (época preferible para realizar rellenos), por lo que se esperaría que haya una mayor estabilidad con estos sedimentos.

Al observar los aspectos sedimentológicos se puede apreciar que, por un lado, las playas ubicadas hacia el sur y fuera de la Ensenada de Mogotes (Luna Roja, San Eduardo del Mar) presentan mayormente granulometrías de arenas medianas a gruesas (1,5 phi; -2 phi) y, consecuentemente, las pendientes son más abruptas (5 %). A diferencia de playa Chapadmalal que presentó una pendiente más suave (3 %) y granulometrías menores (2,5 phi), comportamiento esperable para los meses de verano debido a que se trata de una playa con sedimentos bimodales, donde en invierno prevalecen granulometrías de gravas y en verano granulometrías de arenas (Lamarchina et al., 2021). Asimismo, dicha playa presenta una serie de escolleras que generan en parte la retención de sedimentos más finos. Por otro lado, para Playa Serena ubicada dentro de la Ensenada de Mogotes, y cercana a las plataformas de abrasión y al Banco de Pescadores, se esperaría que tenga, al día de hoy, una longitud de playa de más de 50 m (Farenga et al., 1992). Sin embargo, en la actualidad esta playa se encuentra afectada indirectamente por los

rompeolas desvinculados de otra playa ubicada hacia el sur (aguas arriba en el sentido de la deriva). Esto produce modificaciones en el transporte longitudinal disminuyendo la carga sedimentaria resultando que Playa Serena tenga una longitud menor a la esperada por otros autores (40 m) y una granulometría más fina (2,5 phi) por ende una pendiente más suave (4 %).

Dentro de una obra de alimentación de playas se debe tener en cuenta una gran cantidad de factores y análisis, como los aquí mencionados; por lo que en este trabajo solo se presentan los primeros inicios/aproximaciones de un proyecto de relleno. Esto podría ser una medida complementaria para la propuesta de gestión de todo el campo de dunas brindada por García González *et al.* (2021).

CONCLUSIONES

Los resultados antes expuestos sobre los estudios realizados en las playas al sur de Mar del Plata, permitieron formular las siguientes conclusiones:

1. Los estudios sedimentológicos permitieron dar cuenta que al acercarse a la geomorfología del tómbolo prevalecen las granulometrías de arenas finas (Playa Serena 2,5 phi); mientras que al alejarse las granulometrías se vuelven más gruesas y con una selección menor (San Eduardo del Mar 0,5 phi).
2. Según los perfiles topográficos, las playas más alejadas del tómbolo presentan pendientes más abruptas: Luna Roja y San Eduardo del Mar 5 %, coincidentes con las granulometrías más gruesas. Siendo una excepción la playa Chapadmalal debido a que es una playa bimodal relacionada a una escollera.
3. Los diagramas de James, permitieron comprobar que las arenas eólicas de las dunas de San Eduardo del Mar pueden ser utilizadas como sedimento de préstamo para regenerar las playas de la Reserva Turística y Forestal Paseo Costanero Sur.
4. Con los diferentes resultados de los diagramas de Ra y Rj se obtuvo que la mejor combinación de sedimentos es con la arena de Playa Serena (Ra 1,02 y Rj 0,14).
5. Según la distancia entre la zona de préstamo y las playas, las más adecuadas para evitar grandes gastos en transporte son San Eduardo del Mar y Chapadmalal (la primera está ubicada en el campo de dunas y la segunda a 5,3 km de distancia).

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por la financiación (PIP 041/21) y al Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (FCEyN-UNMDP) por las instalaciones brindadas para la realización de los estudios sedimentológicos. Las investigaciones aquí desarrolladas se encuentran enmarcadas en el proyecto UNMDP “Evolución y dinámica de las costas areno-gravosas de la Provincia de Buenos Aires y norte de Patagonia”, código 926/19, dirigido por G. R. Bértola y fueron realizadas por la primera autora como parte de los trabajos para completar su Doctorado en Geología (Facultad de Ciencias Naturales y Museo-UNLP). También se quiere agradecer especialmente a los revisores de LAJSBA por los comentarios y recomendaciones brindadas en este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bakker, M.A.J., Van Heteren, S., VonhoGen, L.M., Van Der Spek, A.J.F., and Van Der Valk, L. (2012). Recent coastal dune development: effects of sand nourishments. *Journal of Coastal Research* 28 (3), 587-601.
- Barragán, J.M. (2014). *Política, Gestión y Litoral*. Madrid: Tébar Flores, S.L., 685 pp.
- Bértola, G.R. (2001). 21 Years of Morphological Modifications in an Urbanized Beach (Playa Grande, Mar de Plata), Argentina. *Thalassas* 17 (2), 21-36.
- Bértola, G.R. (2006). Morfodinámica de playas del sudeste de la provincia de Buenos Aires (1983 a 2004). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 13 (1), 31-57. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=381740357002>
- 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.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.
- Campbell, T.J., y Benedet, L. (2006). *Beach Nourishment Magnitude sand Trends in the U.S.* Journal of Coastal Research, VIII International Coastal Symposium Actas SI39:57-64, Itajaí ISSN0749-0208.
- Earlie, C., Masselink, G., y Russell, P. (2018). The role of beach morphology on coastal cliff erosion under extreme waves. *Earth Surface Processes and Landform*, 43:1213-1228.
- Farenga, M.O., Adamini, R., e Isla, F.I. (1992). Recuperación de playas de intensa extracción de arena: Ensenada de Mogotes, Mar del Plata, Argentina, 1987-1990. *Thalassas*, 9:41-47.
- Finocchietti, M.C. (2014). *Las variaciones del nivel del mar en la costa argentina. Amenazas naturales y vulnerabilidad socio-económica*. [Tesis de grado no publicada]. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Humanidades.
- 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.
- García González, P., Martínez, G.A., Alvarez, M.F., Del Río, J.L., y Taverna B.D. (2021). Evaluación de los procesos antrópicos y naturales que inducen la removilización de un campo de dunas sobre la ruta provincial 11, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 27:135-160. <http://dx.doi.org/10.21138/GF685>
- Gyssels, P., Ragessi, M., Rodríguez, A., Cardini, J., y Campos, M. (2013). Diseño de infraestructura para la protección de la erosión costera en el litoral argentino, caso Mar del Plata. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil* 13 (6), 221-235.
- Hamm, L., Capobianco, M., Dettec, H.H., Lechuga, A., Spanhoff, R., y Stive, M.J.F. (2002). A summary of Europe an experience with shore nourishment. *Coastal Engineering*, 47:237-264.
- Hanson, H., Brampton, A., Capobianco, C., Dette, H.H., Hamm, L., Laustmp, C., Lechuga, A., y Spanhoff, R. (2002). Beach nourishment projects, practices, and objectives - A Europe an overview. *Coastal Engineering*, 47:81-111.
- Isla, F.I. (2003). Disponibilidad de arena para el refulado de las playas de Miramar y Chapadmalal, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58 (3), 311-320.
- Isla, F.I. (2006). Erosión y Defensas Costeras. En Isla, F.I. y Lasta, C.A. (Eds.), *Manual de manejo costero para la Provincia de Buenos Aires*. Universidad Nacional de Mar del Plata 1:125-148.
- Isla, F.I. (2010). Natural and artificial reefs at Mar del Plata, Argentina. *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 10 (1), 81-93.
- Isla, F.I. (2014). Variaciones espaciales y temporales de la deriva litoral, SE de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Geológica del Sur* 5 (8), 24-41.
- Isla, F.I., y Schnack, E.J. (1986). *Repoblamiento artificial de playas. Sus posibilidades de aplicación en la costa mar platense, provincia de Buenos Aires*. IX Congreso Geológico Argentino Actas VI:202-217, S.C. de Bariloche.
- Isla, F.I., y Bértola, G.R. (2005). Litoral bonaerense. En de Barrio, R., Etcheverry, R.O., Caballé, M.F. y Llambías, E. (Eds.), *Geología y recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires*, Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino:265-276.
- Isla, F.I., y Cortizo, L.C. (2013). Sediment input from fluvial sources and cliff erosion to the continental shelf of Argentina. *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 14 (4), 541-552. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-436_Isla. DOI:10.5894/rgci436
- Isla, F.I., Ferrero, L., Fasano, J.L., Espinosa, M.A., y Schnack, E.J. (1986). Late Quaternary marine-estuarine sequences of the southeastern coast of the Buenos Aires province, Argentina. *Quater. S. America and Antarctic Pen*, 4:137-157.
- Isla, F.I., Witkin, G., Bértola, G.R., y Farenga, M.O. (1994). Variaciones morfológicas decenales (1983-1993) de las playas de Mar del Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 49 (3-4), 55-70.
- Isla, F.I., Bértola, G., Farenga, M.O., y Cortizo, L.C. (2001). Variaciones Antropogénicas de las Playas del Sudeste de Buenos Aires, Argentina. *Pesquisas em geociências* 28 (1), 27-35.
- Isla, F.I., Cortizo, L.C., Merlotto, A., Bertola, G., Pontrelli Albisetti, M., y Finocchietti, C. (2018). Erosion in Buenos Aires province: Coastal-management policy revisited. *Ocean and Coastal Management*, 156:107-116.
- James, W.R. (1975). Manual on artificial beach nourishment. *Research Codes and Specifications*. Delft Hydraulics Laboratory (1987). Rijkwaterstaate Delft Hydraulics Laboratory. Centre for Civil Engineering, 130-195 pp.
- Juárez, V., Cortizo, L.C., e Isla, F.I. (2001). Evolución urbana del sector costero sur de Gral. Pueyrredón. *Revista Geográfica*, 129:143-156.
- Komar, P.D., y Allan, J.C. (2010). "Design with Nature" strategies for shore protection-The construction of a cobble berm and artificial dune in an Oregon State Park. En Shipman, H., Dethier, M.N., Gelfenbaum, G., Fresh, K.L., and Dinicola, R.S. (Eds.), *Puget Sound Shoreline sand the Impacts of Armoring- Proceedings of a State of the Science Workshop*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 5254:117-126.
- Lamarchina, S., Maenza, R.A., e Isla, F.I. (2021). Mixed sand and gravel beaches of Buenos Aires, Argentina: Morphodynamics and stability. *Journal of Coastal Conservation*, 25:41. <https://doi.org/10.1007/s11852-021-00830-7>.
- Lanfredi, N.W., Pousa, J.L., Mazio, C.A., y Dragani, W.C. (1992). Wave-power potential along the coast of the province of Buenos Aires, Argentina. *Energy* 17 (11), 997-1006.
- Leonard, L.A., Dixon, K.L., y Pilkey, O.H. (1990). A comparison of beach replenishment on the U.S. Atlantic, Pacific and Gulf coasts. *Special issue*, 6:127-14.
- Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G., y Aarninkhof, S. (2018). The State of the World's Beaches. *Scientific Reports*, 8:6641. doi:10.1038/s41598-018-24630-6
- Marcomini, S.C., y López, R.A. (1999). Recarga artificial de las playas. *Revista Gerencia Ambiental* 6 (56), 408-414.
- Marcomini, S.C., y López, R.A. (2005). *Morfodinámica costera entre Punta Florida y Costa Bonita, Provincia de Buenos Aires*. XVI Congreso Geológico Argentino Actas III:553-558, La Plata.
- Marcomini, S.C., y López, R.A. (2006). *Evolution of a beach nourishment project at Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina*. Journal of Coastal Research, VIII International Coastal Symposium Actas SI39:834-837, Itajaí ISSN0749-0208.
- Merlotto, A., Bértola, G.R., e Isla, F.I. (2017). Riesgo de erosión costera de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía* 26 (2), 37-72.
- Mojica, M. (2021). *Estudios previos a la regeneración de playa: Aplicación a las playas en bolsillo en Mar del Plata (Argentina)*. [Tesis de Maestría no publicada]. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz.
- Peterson, C.H., y Bishop, M.J. (2005). Assessing the environmental impacts of beach nourishment. *BioScience* 55 (10), 887-896.
- Pontrelli Albisetti, M., Lazarow, N., García, M., Isla, F.I., y Piccolo, M. (2014). Análisis comparativo entre el Puerto de Mar del Plata, Argentina y el Río Tweed, Australia. Técnicas de bypass como estrategia para superar la obstrucción de la deriva litoral. *Revista Geológica del Sur* 5 (8), 42-58.
- Pranzini, E., Simonetti, D., y Vitale, G. (2010). Sand colour rating and chromatic compatibility of borrow sediments. *Journal of Coastal Research* 26 (5), 798-808.
- Pranzini, E., Anfuso, G., Botero, C-M., Cabrera, A., Campos, Y.A., Martínez, G.C., y Williams, A.T. (2016). Sand colour at Cuba and its influence on beach nourishment and management. *Ocean & Coastal Management*, 126:51-60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.03.013>
- Pranzini, E., Cinelli, I., Cipriani, L.E., y Anfuso, G. (2020). Na Integrated Coastal Sediment Management Plan: The Example of the Tuscany Region (Italy). *Journal of Marine Science and*

Engineering, 8:33. doi:10.3390/jmse8010033

Pulido Arenas, D.F. (2016). *Dinámica sedimentaria episódica y mineralogía en el tómbolo de Punta Mogotes, Mar del Plata, Argentina*. [Tesis de grado no publicada]. Universidad EAFIT, Medellín.

Resolución n°2623/09: Municipalidad del Partido de General Pueyrredón. Departamento Deliberativo. Fecha de sanción: 13 de noviembre de 2008 Número de registro: R-2623 Expediente H.C.D.: 2113 Letra U Año 2008.

Rodríguez Paneque, R.A., y Córdova García, E.A. (2005). Efectividad de los trabajos de alimentación artificial con arenas ejecutado en playa estero ciego, entre 1997 y 1998. *Ciencias Holguín* 11 (3), 1-14. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181517982003>.

Servicio de hidrografía Naval <http://www.hidro.gov.ar/>

oceanografia/tmareas/RE_Mareas.asp. Fecha de ingreso a la página: 13/2/2022.

Stronkhorst, J., Huismana, B., Giardino, A., Santinellia, G., y Santos, F.D. (2017). Sand nourishment strategies to mitigate coastal erosion and sea level rise at the coasts of Holland (The Netherlands) and Aveiro (Portugal) in the 21st century. *Ocean and Coastal Management*, 156:266-276. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.11.017>.

U.S. ACE (ARMY CORPS OF ENGINEERS). (1984). Chapter 5. Planning Analysis. III Protective Beaches. En U.S. Army CERC (Eds.), *Shore Protection Manual*. 1:6-24.

Williams, A.T., Rangel-Buitrago, N., Pranzini, E., y Anfuso, G. (2018). The management of coastal erosion. *Ocean and Coastal Management*, 156:4-20. ISSN0964-5691. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.03.022>.