

Evolución de la costa entre 1987-2020 para la zona sur de la ciudad de Mar del Plata, provincia de Buenos Aires (Argentina)

Evolution of the coastline between 1987-2020 for the southern area of the city of Mar del Plata, province of Buenos Aires (Argentina)

Marcia Mojica^{ac}, Giorgio Anfuso^{bd}, Federico Isla^{ac}

^aInstituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Instituto de Investigaciones Marinas y Costera - CONICET, Universidad Nacional de Mar del Plata, ^bUniversidad de Cádiz
^cmaar.mojica@hotmail.com, ^dgiorgio.anfuso@uca.es, ^efisla9@gmail.com

Resumen

En un contexto de aumento del nivel medio del mar y de incremento en la densidad poblacional de las villas balnearias al sur del Partido de General Pueyrredón es necesario que se estudie la variación de la línea de costa en los últimos años para poder analizar su comportamiento y planificar una gestión adecuada del litoral. En el presente documento se analizaron las líneas de costa desde el Faro de Mar del Plata hasta el arroyo Las Brusquitas para el periodo entre 1987-2020 a partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales mediante el uso del software ArcMap y el complemento *Digital System Analysis Shoreline*. Los parámetros estadísticos utilizados en el trabajo fueron el *End-Point Rate* (EPR) y el *Linear Regression Rate* (LRR). Para el análisis de los resultados se tuvieron en cuenta los 27 km de litoral y se puntualizaron 6 playas en particular. Los resultados obtenidos permitieron determinar que generalmente todo el litoral sur de Mar del Plata se encuentra en erosión (-2 m/año), con zonas de acumulación por la presencia de un afloramiento rocoso sumergido y a intervenciones humanas (+3 m/año). El tómbolo de Punta Mogotes produce un comportamiento muy variable dependiendo de la dirección de aproximación del viento y las olas. Asimismo, se pudieron registrar diferentes comportamientos relacionados a la naturaleza geológica de las playas. A partir de este trabajo de investigación se determinó que las playas con mayor erosión entre 1987-2003 se dieron en la Ensenada de Mogotes con ritmos máximos diferentes: en Playas del Faro (-4 m/año); Playa Serena y Los Acanilados (-6 m/año), y también en la desembocadura del arroyo Lobería (Luna Roja, -1,25 m/año). Las playas que presentaron mayor grado de erosión entre 2003-2020 fueron Cruz del Sur (-1,22 m/año) y Playa Serena (-1 m/año).

Palabras clave: Playas; retroceso; DSAS; Mar del Plata.

Abstract

In a context of rising mean sea level and increasing population density in the seaside towns south of the General Pueyrredón country, it is necessary to study the variation of coastlines in recent years in order to analyze their behavior and carry out an adequate management of the coastline. In this paper, the coastlines from the Mar del Plata lighthouse to Las Brusquitas creek were analyzed for the period 1987-2020, based on aerial photographs and satellite images using ArcMap software and the Digital System Analysis Shoreline complement. The statistical parameters used in the work were EPR and LRR. For the analysis of the results, the 27 km of coastline were taken into account and 6 beaches in particular. The results obtained allowed us to determine that generally the entire southern coast of Mar del Plata is in erosion (-2 m/y), however, there were specific areas where accumulation is present due to human intervention and the presence of a rocky outcrop submerged (+3 m/y). The Punta Mogotes tombolo causes the coastline in this area to have a very variable behavior depending on the direction of wind and wave approach. Likewise, different behaviors related to the geological nature of the beaches were recorded. From this research it was determined that the beaches with the greatest erosion between 1987-2003 were given in the Ensenada de Mogotes with different rates in Playas del Faro (-4 m/y), Playa Serena and Los Acanilados (-6 m/y), and also at the mouth of the creek Lobería (Luna Roja, -1 m/y). The beaches with the greatest erosion between 2003-2020 were Cruz del Sur (-1.22 m/y) and Playa Serena (-1 m/y).

Keywords: Beaches; regression; DSAS; Mar del Plata.

1. Introducción

El retroceso y la inundación de la franja costera constituyen los problemas más importantes que sufren los asentamientos costeros y afectan directa e indirectamente a las economías basadas en la explotación del litoral (Muñoz-Pérez et al. 2001). Por otro lado, para el 2100, se calcula que el nivel medio de mar registrará una subida de entre 40 y 80 cm y se experimentarán eventos de tormenta cada vez más

intensos y frecuentes (Oppenheimer et al. 2019). Por estas razones es necesario estudiar la posición de la línea de costa en los años pasados y así obtener tendencias que ayuden a los tomadores de decisiones en la ejecución de políticas públicas.

En la República Argentina las zonas litorales son las más pobladas del país y las que presentan mayores infraestructuras (Dadon & Matteucci 2006). Es de resaltar que, a lo largo del litoral de la provincia de

Buenos Aires, la ciudad de Mar del Plata, partido de General Pueyrredón (Figura 1), constituye uno de los centros urbanos más desarrollado con una densidad poblacional de 423,8 hab/km² (INDEC 2010). Dicha población se encuentra en aumento atraída por una de las principales actividades económicas que se desarrollan en la ciudad: el turismo de “sol y playa” (Bouvet et al. 2005).

Muchas de las localidades balnearias de la provincia sufren un retroceso de la línea de costa influido por el incremento en la frecuencia y altura de las olas (Dragani et al. 2010). En la ciudad de Mar del Plata la erosión, presenta ciertas particularidades ya que está labrada sobre diferentes materiales. Las playas del centro de la ciudad están emplazadas entre rocas con composición ortocuarcítica (Isla 2004) que le confieren una gran estabilidad al sustrato. Estas “playas de bolsillo” se encuentran altamente antropizadas debido a la gran densidad de escolleras. Hacia el sur y norte de la ciudad, las playas se desarrollan al pie de acantilados del Cuaternario con diferentes alturas (aprox. 30 m; Isla et al. 1986) que presentan baja estabilidad frente a los impactos de las olas. Al igual que las del centro, las del norte de la ciudad también presentan campos de escolleras. Contrariamente, el sur de la ciudad posee escasas estructuras de protección. Sin embargo, las playas que se observan en dicha área, al presentar una orientación al SE, son más susceptibles a las tormentas provenientes del sur. Estas tormentas ocasionan el retroceso de la línea de costa y del acantilado generando un riesgo para los barrios y la ruta provincial número 11 (RP11; Cionchi et al. 1998; Figura 1).

Para prevenir y gestionar futuras situaciones de riesgo costero, tanto para la sociedad como para la economía local, es necesario que se evalúen las tendencias erosivas de la línea de costa. Los estudios sobre la variación de la línea de costa llevados a cabo mediante teledetección han sido realizados según la metodología propuesta por Dolan et al. (1991) aplicando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como OIKOS u otros programas de diseño cartográfico (Marcomini & López 1997; Cionchi et al. 1998; Bértola et al. 2009; Merlotto & Bértola 2009; Kokot & Chomnalez 2012; Finocchietti 2014; Merlotto et al. 2014; Isla et al. 2018a), siendo escasas las aplicaciones con herramientas como el complemento *Digital System Analysis Shoreline* (DSAS; Himmelstoss et al. 2018) del Servicio Geológico de Estados Unidos. A lo largo del litoral argentino algunos autores han implementado el DSAS en la costa del Río de la Plata (Cellone et al. 2016). En localidades más interiores del estuario, como Atalaya, D'Amico et al. (2019) identificaron una progradación en el sistema estuarino y en Bahía Samborombón se determinaron variaciones en las tasas de erosión y acreción (Bacino et al. 2020). También esta herramienta es novedosa en Latinoamérica aplicándose en muchos países como Colombia (Rangel-Buitrago et

al. 2015; Villate et al. 2020), Chile (Martínez et al. 2022), Perú (LecetaGobitz 2009; Corrêa & Drenkhan 2010; Ramírez 2011), y Brasil (Farias & Maia 2010; Mallmann et al. 2014; Abreu et al. 2016; Santos & Bonetti 2018; Lemos & Sopchaki 2020).

El objetivo de este trabajo es dar una aproximación de la variación de la línea de costa, durante un periodo de 33 años (1987-2020), del litoral sur de la ciudad de Mar del Plata, abarcando 27 km de costa (Figura 1b). Dicho objetivo se llevara a cabo mediante la utilización de fotografías aéreas, imágenes satelitales y herramientas de SIG.

2. Descripción del área de estudio

La costa de la provincia de Buenos Aires tiene diferentes orientaciones siendo la saliente de la ciudad de Mar del Plata un punto de inflexión entre estas. Hacia el norte la costa toma una orientación norte-sur y se compone de playas con extensos campos de dunas litorales. Sus ritmos de erosión son mayores de -1,3 m/año (Isla et al. 2018). En cambio, la costa hacia el sur de Mar del Plata la orientación es este-oeste, y se caracteriza por acantilados con dunas rampantes y colgadas. Su ritmo de erosión es de -0,4-(-0,7) m/año. Estas variaciones en los ritmos de erosión es debido a la interacción de varios factores como: la configuración del litoral, la orientación de la costa, la energía del oleaje, las interacciones de los agentes bióticos y climáticos (Isla 2006), y las presiones ejercidas por actividades humanas como las construcciones sobre la costa. Estas interrumpen la deriva litoral con dirección sur-norte, algunos ejemplos son el puerto de Mar del Plata, el puerto de Quequén en la ciudad de Necochea, muelles de menores dimensiones o estructuras de protección local (Waterman 1994; Bértola 2006; Isla et al. 2014, 2018a; Merlotto et al. 2014, 2017; Pontrelli Albisetti et al. 2014).

Las costas de la ciudad de Mar del Plata también presentan ciertas diferencias en sus ritmos de erosión dependiendo de la ubicación. Al norte la tasa de retroceso es aproximadamente de -1 m/año y en la costa sur se registra una tasa de erosión de -0,5 m/año (Isla et al. 2018a). En esta última costa se ubica la zona de estudio con una extensión de 27 km desde el Faro de Punta Mogotes en el extremo NE hasta el arroyo Las Brusquitas en el extremo SW. El análisis de la línea de costa se centra en 6 playas: Playas del Faro, (comprendiendo también Playa Serena, San Patricio, Los Acantilados), Los Lobos, Luna Roja (arroyo Lobería), Cruz del Sur, Colonia Chapadmalal y San Eduardo del Mar (Figura 1b).

En todo el litoral se presenta una gran variedad de rasgos geomorfológicos característicos de zonas en retroceso y, en lugares puntuales, de zonas en acreción: i) acantilados activos e inactivos formados por sedimentos de limo-arenosos con alturas promedios de 34 m y ritmos de erosión de -1,6 m/año (Isla & Cortizo 2013). En algunos sectores, las cimas de los acantilados

se encuentran cubiertos por dunas inactivas colgadas o, en sus frentes, por dunas rampantes. En otros sectores, los acantilados tienen plataformas de abrasión que pueden aparecer junto con las dunas colgadas; ii) playas en bolsillo de anchos variados (40-60 m aprox.); iii) campos de dunas fijos por actividades de forestación (de aprox. 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). Es de resaltar en el extremo norte del área la presencia de un afloramiento rocoso en la playa sumergida, llamado Banco de Pescadores el cual actúa como tómbolo al generar gran acumulación de arena, debido a la acción de una celda litoral completa desarrollada dentro de la Ensenada de Mogotes (Figura 1b), donde erosiona en los acantilados ubicados inmediatamente al sur, transporte en la zona media y acumulación en el extremo norte (Farenga et al. 1992; Isla 2010).

La única gran obra de protección que se construyó en la zona se encuentra en la playa Los Acantilados (Figura 1b y Figura 2; Gyssels et al. 2013). Anteriormente, la playa registraba una tasa de erosión de -3,5 m/año (Cionchi et al. 1998). Tras el emplazamiento de la estructura se desarrolló una playa artificial pero se generó erosión en playas hacia el norte (aguas abajo con respecto a la dirección de la deriva litoral; Isla et al. 2018a).

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 tormentas de mayor energía provenientes del sector sur y sureste que ocurren principalmente en primavera, denominadas “sudestadas” (Isla 2010). Dependiendo de donde proceda el viento puede ocasionar el aumento de las alturas de olas y mareas o solamente incrementar la altura de marea y las olas continuas con 1 m (Isla et al. 2022).

El litoral de Mar del Plata se caracteriza por un rango de marea micromareal con desigualdades diurnas entre 0,12 a 1,91 m (Servicio de Hidrografía Naval, SHN). Normalmente la zona presenta una altura promedio de las olas de 0,91 m con un periodo 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, con una incidencia oblicua desde el SE o, secundariamente, desde el ENE (Isla et al. 2018a).

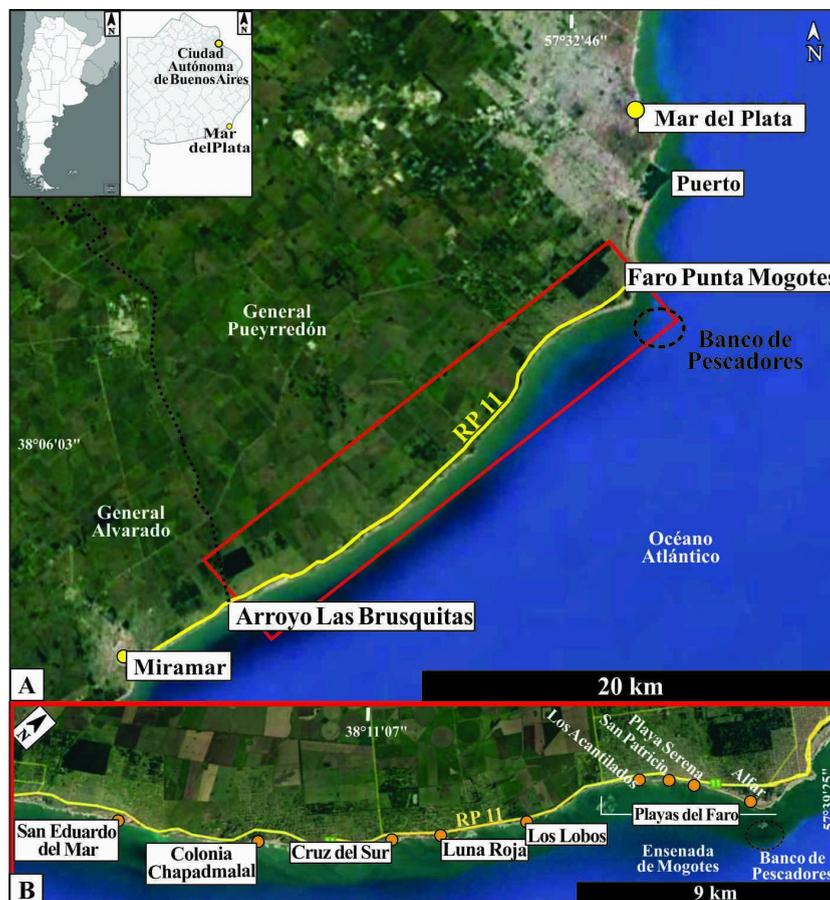


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. A) Partido de General Pueyrredón y General Alvarado. B) Zona de estudio y playas.



Figura 2. Vista panorámica hacia el norte de rompeolas desvinculados en la playa Los Acanuilados.

Las tormentas generan cambios estacionales en el estado morfodinámico de las playas: durante el invierno (julio y agosto) su comportamiento es reflectivo y se da erosión, playas más angostas. Durante el verano (diciembre y enero), cuando prevalecen las condiciones de buen tiempo, se dan playas disipativas que desarrollan sistemas de bermas de marea asociadas a procesos de acumulación (Isla et al. 1994) y playas más anchas (Isla et al. 2001; Pulido Arenas 2014; Lamarchina et al. 2021). A dichos cambios estacionales se les asocia una variación en las granulometrías de los sedimentos entre arenas finas y gravas.

Las playas estudiadas se caracterizan por tener pendientes que van de 3 % a 5 % y una composición sedimentológica variada (Mojica et al. 2022). Las Playas del Faro, puntualmente Alfar presenta granulometrías de arenas medias a finas. Mientras que Playa Serena predominan las arenas finas. Desarrolla un perfil homogéneo con una suave berma de marea. Esta playa se encuentra limitada en la zona distal por acantilados de 30 m con rampas eólicas que le aportan una baja estabilidad debido al material que las constituyen (Mojica et al., 2022). La playa Los Lobos, es una pequeña playa en bolsillo (12000 m²) con una extensa plataforma de abrasión. Carece de playa distal quedando cubierta enteramente durante las mareas altas normales. La playa Luna Roja, se encuentra atravesada por la desembocadura del arroyo Lobería, de comportamiento dinámico. Las granulometrías que prevalecen son arenas medianas (Mojica et al. 2022). En la playa Cruz del Sur, en su extremo norte presenta la desembocadura del arroyo Seco, encausada con un pedraplén que finaliza en el mar como una escollera. La playa de Colonia Chapadmalal se caracteriza por un perfil sin ondulaciones ni formación de berma de marea. Se encuentra compuesta mayormente por arenas finas. Esta playa se ubica próxima a la desembocadura del arroyo Chapadmalal y está limitada por espigones (Mojica et al. 2022). La playa de San Eduardo del Mar se ubica dentro de un campo de dunas y es la que presenta mayores variaciones tanto del perfil topográfico como de los sedimentos. Desarrolla escarpa de tormentas y berma de marea. Su granulometría varía de arenas finas a gravas medias, abarcando arenas gruesas, sábulos y grava fina (Mojica et al. 2022).

También se registra una distinción en las composiciones mineralógicas y concentraciones de minerales pesados, habiendo en algunas playas (Luna Roja) un predominio de minerales rojizos y en otras (Playas del Faro, San Eduardo del Mar) mayor cantidad de minerales opacos como magnetita (Pulido Arenas 2014).

Los eventos de tormentas registrados dentro del periodo de tiempo analizado corresponden a los meses de junio de 1987, abril de 2003 y de 2011 (Isla 2014; Finocchietti 2014), octubre 2015 y febrero 2020. Los datos de los dos últimos años fueron obtenidos a partir de las alturas de olas registradas por la Estación Costera del Muelle de Los Pescadores de Mar del Plata, considerando los valores mayores a 2 m. Asimismo, para en el año 2020 se registró una sudestada durante el mes de julio con alturas mayores a 2 m (Isla et al. 2022).

Entre el 2015-2020 se registra una tendencia a disminuir la altura de las olas y aumentar levemente los periodos (Isla et al 2022). Para febrero del año 2015, la altura máxima de ola fue de 1,5 m con un periodo de 6 segundos y una altura media, en todo el mes, de 0,73 m. Por otro lado, en marzo del año 2020 la altura máxima de ola fue de 1 m con un periodo de 12 segundos; la altura media, durante todo el mes, fue de 0,65 m. A su vez, las mayores alturas de olas registradas entre 2016-2017 provinieron de los cuadrantes sur y sureste, y fueron durante la primavera (septiembre a noviembre). Ya para el verano (diciembre a febrero) la altura disminuyó (Lamarchina et al 2021).

3. Materiales y Métodos

La metodología empleada consistió en el aprovechamiento de las herramientas de SIG con fotografías aéreas e imágenes satelitales para estudiar la variación de la línea de costa. Se utilizó el software ArcMap versión 10.6.1 junto con el complemento DSAS (Himmelstoss et al. 2018). Para el funcionamiento del DSAS es necesaria la digitalización de las líneas de costas de los diferentes años. Luego, se generan automáticamente transectos que atraviesan las sucesivas líneas de costa de forma perpendicular. Y a partir de estos se calculan los parámetros estadísticos. Previamente, se precisa un valor de incertidumbre de los documentos representativos (fotografías aéreas e

imágenes satelitales) de cada año investigado. Dicho valor se obtiene de los errores a causa de la naturaleza del litoral (condiciones de marea, pendiente, olas) y de las especificaciones técnicas de los documentos utilizados. La incertidumbre de cada año se obtiene de la raíz cuadrada de la suma de los errores cuadráticos

En este trabajo se ha considerado una escala temporal media de 33 años (1987-2020) que se define como una escala de tiempo medio, suficientemente amplia para disminuir el “ruido” de fondo dado por las variaciones estacionales y el efecto de las tormentas puntuales (Crowell et al. 1993). Se analizaron 4 líneas de costa que cubren la totalidad del área (2003; 2011; 2015; 2020), y una quinta línea (1987) que solo llega a cubrir el sector norte de la costa investigada.

Las imágenes satelitales de los años 2003, 2011, 2015 fueron extraídas del Google Earth, mientras que la imagen satelital del año 2020 corresponde a una Sentinel 2 descargada desde la página Copernicus de la Unión Europea (Tabla 1). A la hora de buscar las imágenes satelitales se trató que en todas se observe un clima oceánico similar entre ellas, en lo posible sin mucho oleaje y que estén realizadas en meses que no correspondan al invierno (febrero, marzo, mayo, noviembre, Tabla 1; Pajak & Leatherman 2002; Mutaqin 2017). Para la incertidumbre debido a las imágenes se calcularon los errores ocasionados por los procesos de georreferenciación (RMS) y de variación de la escala (Tabla 2; Araujo et al. 2008; Virdis et al. 2012; Manno et al. 2017; Martín Prieto et al. 2018; Molina et al. 2019).

Para determinar la posición de la línea de costa, como primera instancia se debió definir cuál será el proxy con el que se identificó la línea de costa en las fotografías aéreas y las imágenes satelitales. Según Boak & Turner (2005) se puede tomar como referencia de la línea de costa diferentes rasgos litorales, para este trabajo se decidió utilizar la línea de agua por tratarse de un ambiente micromareal, representada como el límite tierra-agua, identificado en las imágenes como la zona de mayor espuma por la rompiente de la ola (Stafford & Langfelder 1971).

Debido a que el proxy seleccionado se ve influido por los factores oceanográficos fue necesario calcular el error debido a las variaciones de alturas de mareas para los años analizados (Virdis et al. 2012; Manno et al. 2017). Para obtener un valor de error se implementó la metodología propuesta por Manno et al. 2017. El valor del error asociado a las mareas por cada año, se adquiere de la raíz cuadrática de la suma del valor cuadrático de cada playa, dividido $n-1$. El valor de cada playa se obtiene de la relación entre la pendiente de playa y el desvío estándar (ds) de las alturas de mareas correspondientes a las fechas de cada fotografía aérea e imagen satelital (Tabla 2). Los datos de altura de marea necesarios para calcular la incertidumbre fueron obtenidos de las boyas virtuales del Laboratorio de Hidráulica (Instituto Nacional del

Agua) para los años de 1987 al 2015 y los datos del 2020 del SHN.

Tabla 1. Datos de las imágenes.

Fecha (m/d/a)	Fuente	Estación	Pixel
03/12/1987	Propia	Verano	1,8
05/07/2003	Google Earth	Otoño	3,4
11/23/2011	Google Earth	Primavera	3,5
02/01/2015	Google Earth	Verano	3
03/21/2020	Copernicus	Verano	10

Tabla 2. Incertidumbre de cada línea de costa. Em: error de marea. Ep: error de tamaño de pixel. ERMS: error de RMS.

Línea de costa	Em	Ep	ERMS
1987	0,09	1,8	0,60
2003	0,08	3,4	0,45
2011	0,10	3,5	0,69
2015	0,09	3	0,55
2020	0,08	10	0,01

Una vez digitalizadas las líneas de costa se generaron los transectos. El sentido de numeración de los transectos comenzó desde el extremo NE hasta el extremo SW siendo un total de 1.127. Finalmente se obtuvieron los parámetros estadísticos. En este estudio se utilizó el EPR (*End-Point Rate* o tasa de punto final), que tiene en cuenta únicamente la línea más antigua y la más reciente, desecha la información de fechas intermedias. En algunos casos puntuales se utilizó el LRR (*Linear Regression Rate* o tasa de regresión lineal), que expresa velocidad de cambio costero; determinado por la pendiente de la recta de regresión entre la distancia de la línea base y las diferentes líneas de costa. Con ambos parámetros los valores que expresan erosión corresponden a negativos y los valores que indican acumulación son positivos.

Para una mejor interpretación del trabajo se dividió al litoral en un sector norte y un sector sur. En el sector norte (12,33 km) se contaba con las imágenes de 1987, por lo que se trabajó con la escala temporal de 1987-2020 dividida en dos subperíodos: 1987-2003 y 2003-2020. Se tuvieron en cuenta las imágenes de 1987 ya que en ese año se prohibió la extracción de arena de las playas (Decreto 5657-85; Farenga et al. 1992). La zona sur (14,90 km), no contaba con imágenes de 1987, por ende su evolución no fue dividida en subperíodos y se analizó el total de la escala temporal disponible (2003-2020).

En este trabajo también se contó con relevamientos de la línea de costa entre 2012 y 2016 registrados con GPS Ensign cada dos minutos para analizar los efectos de la refracción del tómbolo del Banco de Pescadores (Isla et al. 2022).

4. Resultados

Con la utilización del software Arcmap y el complemento DSAS se pudo analizar la variación de la línea de costa en los años estipulados y a su vez se obtuvo información acerca de la tasa de erosión por año de cada una de las playas.

Con los valores de los errores se pudo estimar la incertidumbre de la tasa de cambio. Se obtuvo un valor de $\pm 0,25$ m/año para el intervalo 1987-2003 y $\pm 0,68$ m/año para el intervalo 2003-2020. Los valores están cercanos a los obtenidos por otros autores (Appeaning Addo et al 2011).

En general, a lo largo de los 27 km de litoral marplatense la línea de costa está retrocediendo. Sin embargo, hay algunas zonas donde hubo acumulación y otras en donde se registra el efecto de estructuras de protección.

Al interpretar los resultados de la evolución de costa según las divisiones propuestas en la metodología, podemos decir que, por un lado, el sector norte durante el intervalo 1987-2003 con mayores intervenciones humanas, los valores máximos de erosión fueron entre -3 a -6 m/año con un promedio de -2,51 m/año (ds: $\pm 1,68$ m/año), mientras que los máximos de acumulación fueron de +1 m/año, con un promedio de +0,5 m/año (ds: $\pm 0,33$ m/año). Para el

mismo sector pero en el período 2003-2020, los valores máximos de erosión fueron entre -2 a -3 m/año, con un promedio de -0,89 m/año (ds: $\pm 0,62$ m/año), para la acumulación los mayores valores fueron de +6 a +11 m/año con un promedio de +1,77 m/año (ds: $\pm 1,80$ m/año; Figura 3a y b). Por otro lado, el sector sur, con menos intervenciones humanas, tuvo un valor máximo de erosión de -2,9 m/año y un promedio de -0,74 m/año (ds: $\pm 0,67$ m/año), para el caso de la acumulación el mayor valor fue de +2,74 m/año con un promedio de +0,65 m/año (ds: $\pm 0,57$ m/año), encontrándose los máximos en zonas puntuales (Figura 3c). En cuanto a los desplazamientos máximos que tuvo la línea de costa para el período 1987-2003 fue de +24 m hacia el mar para el transecto 15 ubicado en las Playas del Faro, y -101,53 m hacia el continente para el transecto 182 ubicado en la playa Los Acantilados. Para el período de 2003-2020 los desplazamientos máximos en toda la costa fueron de +180 m ubicado en el transecto 207 para playa Los Acantilados, y -58,4 m para el transecto 14 ubicado en las Playas del Faro. Los transectos 15 y 14 se encuentran en la zona de reflexión de las olas debido al afloramiento rocoso, los valores de desplazamiento máximo que le siguen y no se encuentran afectados por la dinámica de esta geoforma son -16 m en el transecto 321 ubicado entre la playa Los Acantilados y Los Lobos (1987-2003) y -55 m en el transecto 404 ubicado en playa Los Lobos (2003-2020).

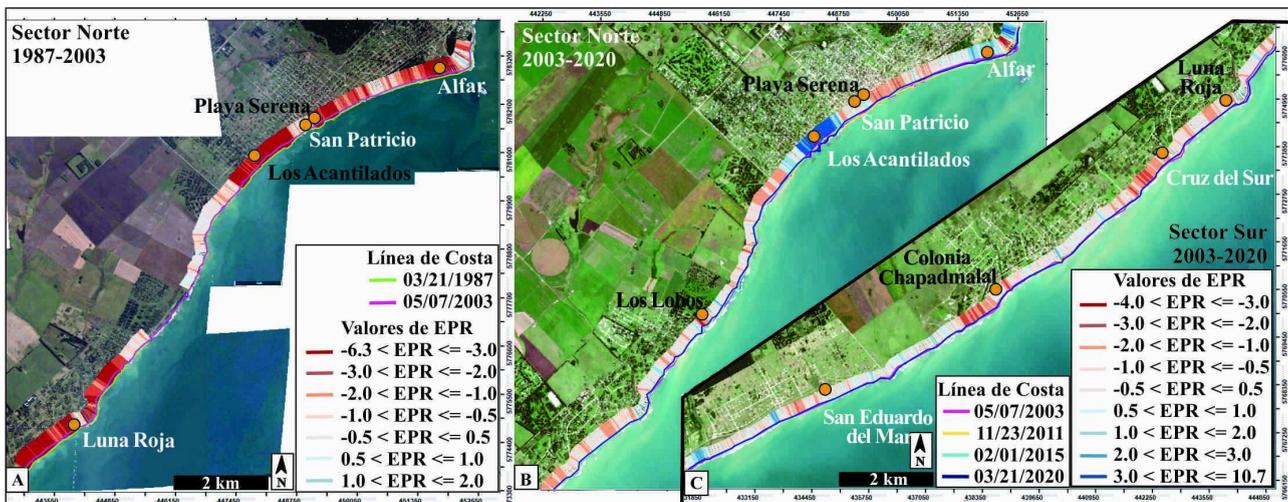


Figura 3. Mapa de los rangos de valores de EPR. A) Sector norte (1987-2003); B) Sector norte (2003-2020); C) Sector sur (2003-2020).

Con los valores de EPR obtenidos se hizo una categorización del nivel de erosión que presentan estas playas. La categorización fue realizada en base a las tasas de erosión de trabajos anteriores (Isla & Bértola 2005; Finocchietti 2014; Isla et al. 2018a; Figura 4) en donde las categorías son: muy alta erosión ($EPR < -1,5$ m/año), erosión ($-1,5 < EPR < -1$ m/año), erosión leve ($-1 < EPR < 0$ m/año), acumulación leve ($0 < EPR < 1,5$ m/año) y acumulación ($EPR > 1,5$ m/año).

Para comprender las variaciones espaciales y temporales se ha redactado un informe según los diferentes intervalos.

4.1. Intervalo 1987-2020

Playas del Faro (Figura 5). Se extiende sin obstáculos entre el Faro y Los Acantilados, comprendidas dentro de la Ensenada de Mogotes (Figura 1). Se encuentra influida por el tómbolo rocoso del Banco de Pescadores en su extremo norte, cercana a la playa Alfár. La línea de costa es muy dinámica dependiendo de la dirección de aproximación del viento y las olas que producen comportamientos diferentes a ambos lados del tómbolo (representado el límite con el transecto 15). En los gráficos de EPR-LRR se puede ver claramente la variación

asimétrica de la línea de costa entre los dos subperiodos analizados. Durante el primero se da un comportamiento erosivo (máx. -4 m/año), mientras que en el segundo se aprecia una tendencia estable (máx. +2 m/año), dándose un cambio en la orientación de la playa, los transectos que registran erosión entre 1987-2003 (Figura 5a) pasan a estables entre

2003-2020 (Figura 5b). Estos fenómenos de refracción también fueron registrados en los relevamientos con GPS entre 2012 y 2016 (Figura 6; Isla et al. 2022). Esta playa presenta una densidad muy alta de balnearios privados con grandes infraestructuras y servicios que durante la época estival modifican las dunas y el perfil de playa.

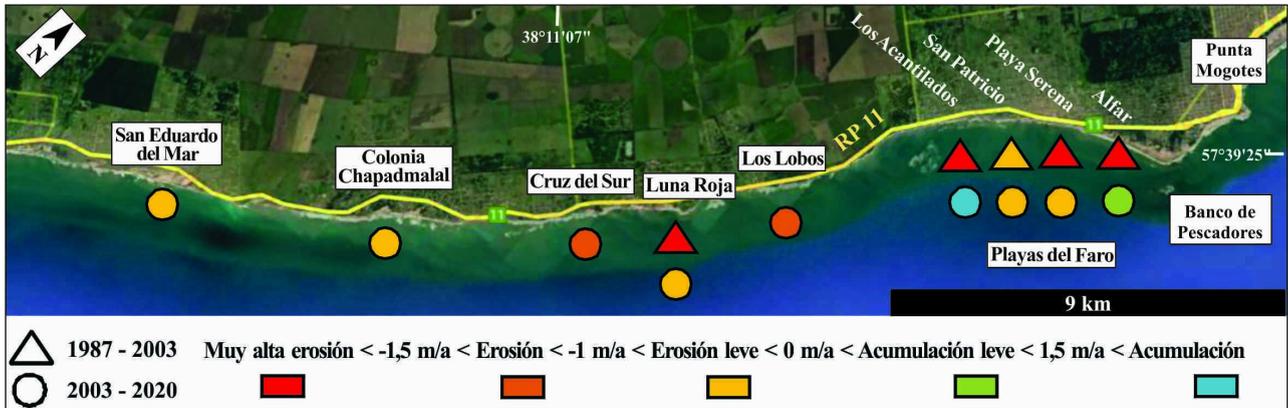


Figura 4. Mapa de la tasa de erosión de la línea de costa (EPR m/año).

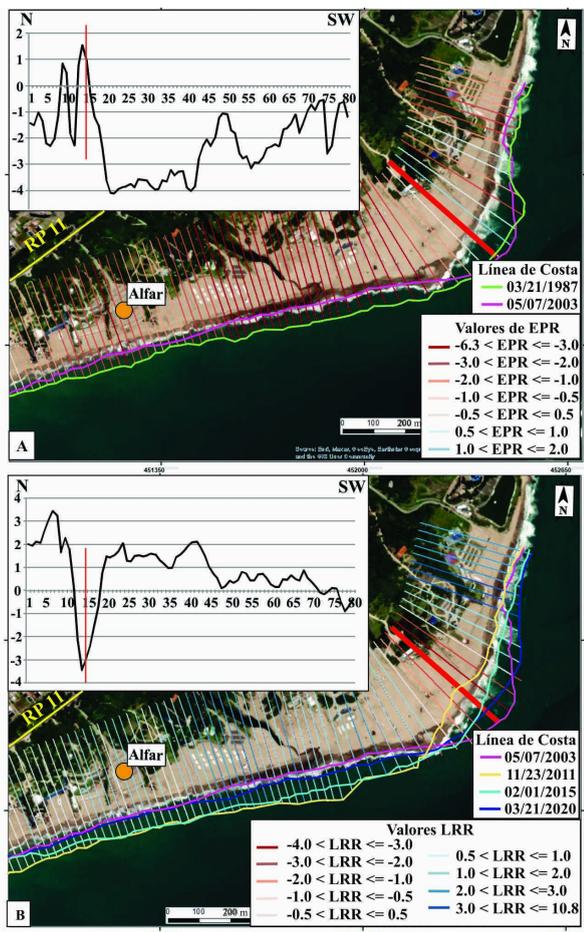


Figura 5. Playas del Faro. A) Mapa y gráfico de los valores de EPR 1987-2003. B) Mapa y gráfico de los valores de LRR 2003-2020. Se observa claramente la variación de la línea de costa. Línea roja transecto 15. La numeración de los transectos va de N a SW.

Playa Serena y San Patricio corresponden a la misma playa (Figura 7). Entre 1987-2003, sufrieron una fuerte erosión (tasa máxima de erosión -6 m/año)

que luego disminuyó (tasa máxima de erosión -2 m/año) debido a la construcción de rompeolas en las playas vecinas. Actualmente, la erosión continua, siendo mayor en Playa Serena que en San Patricio, por recibir los efectos de la obstaculización de la deriva litoral. Estas playas, por lo general, no muestran una zona de playa seca en mareas altas y, en algunas áreas, se desarrollan plataformas de abrasión. En otras áreas existen acantilados cubiertos por dunas rampantes que, debido a la inconsistencia de estos materiales retroceden con mayor velocidad.

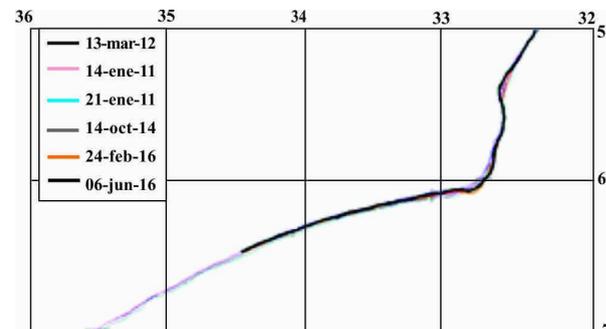


Figura 6. Relevamientos con GPS de la línea de costa en la zona del tómbolo entre 2012 y 2016. Extraído de Isla et al. 2022.

Playa Los Acantilados corresponde a la porción de playa más al sur de la Ensenada de Mogotes. Entre 1987-2003 se erosionó rápidamente a una tasa promedio de -4 m/año, que produjo prácticamente la desaparición de los bermas (Figura 8a). Hoy en día cuenta con 4 rompeolas desvinculados, que lograron aumentar la tasa promedio de acumulación en +3 m/año. Además de generar una pequeña acumulación hacia el sur (tasa promedio +0,67 m/año), existe una erosión hacia el norte debido a la interrupción del transporte por deriva (promedio +0,42 m/año; Figura 8b).

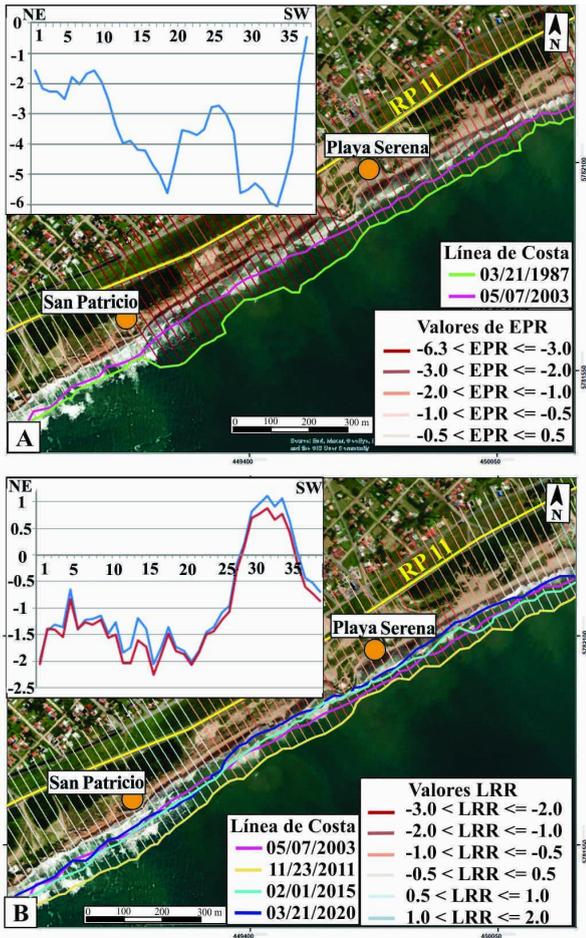


Figura 7. Playa Serena y San Patricio. A) Mapa y gráfico de los valores de EPR 1987-2003. B) Mapa y gráfico de los valores de LRR 2003-2020. Se ve claramente la variación de la línea de costa por las estructuras de protección. La numeración de los transectos va de NE a SW.

Playa Luna Roja. Se encuentra en la desembocadura del arroyo Lobería. Se trata de una amplia playa en bolsillo entre acantilados de hasta 25 m de altura limitada por plataformas de abrasión. En el periodo de 1987-2003 la playa no tuvo grandes cambios, por el contrario en las zonas de acantilados hubo un avance de la línea de costa hacia el continente. La zona sur fue la más afectada (tasa promedio de erosión -3,72 m/año) ya que carece de plataforma de abrasión y de playa distal (Figura 9a). Entre el 2003-2020 la erosión disminuyó por la construcción de una escollera en el extremo norte que protege los acantilados (máx. -1,25 m/año). En ese periodo también se colocaron rocas que indujeron la estabilidad de la playa (Figura 9b).

4.2. Intervalo 2003-2020

Playa Los Lobos (Figura 10). Esta playa en bolsillo presentó erosión en los sectores donde no está protegida por la plataforma de abrasión que se desarrolla en casi toda su longitud (tasa de erosión máxima -3 m/año), aunque no cuenta con playa seca.

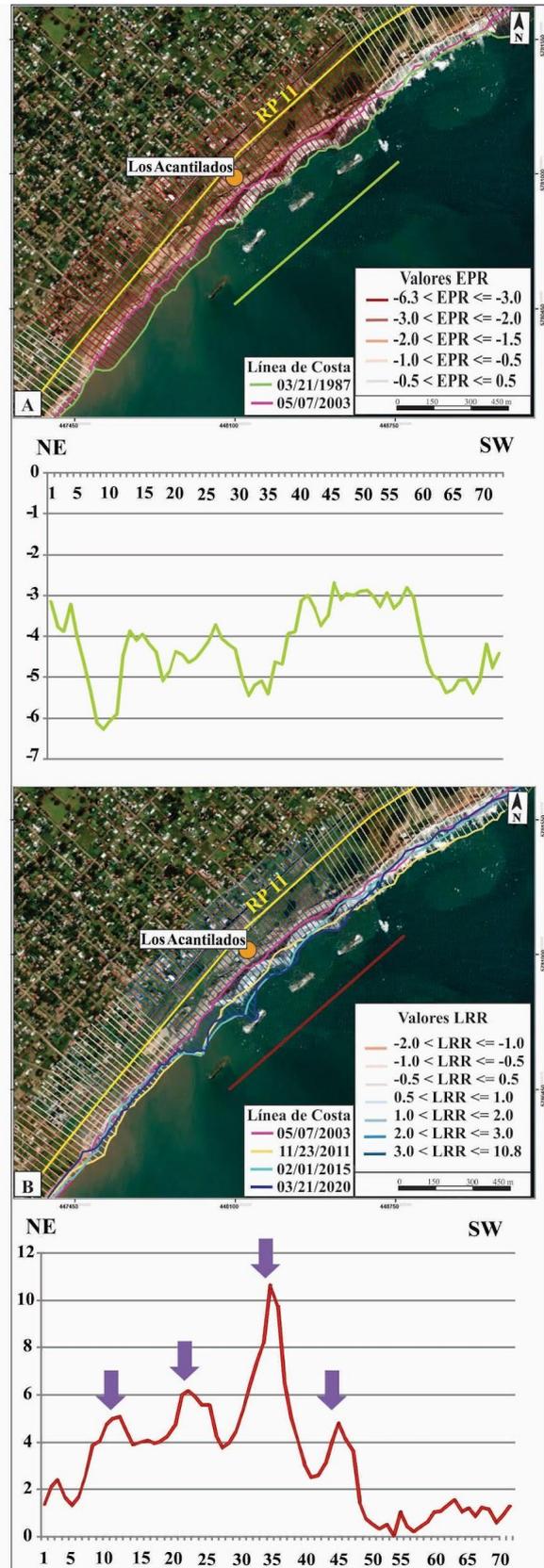


Figura 8. Playa Los Acantilados. A) Mapa y gráfico de los valores de EPR 1987-2003, antes de la construcción de los rompeolas. B) Mapa y gráfico de los valores de LRR 2003-2020, después de la construcción de los rompeolas (flechas violetas). La numeración de los transectos comprendidos en las líneas verdes y bordó va de NE a SW.

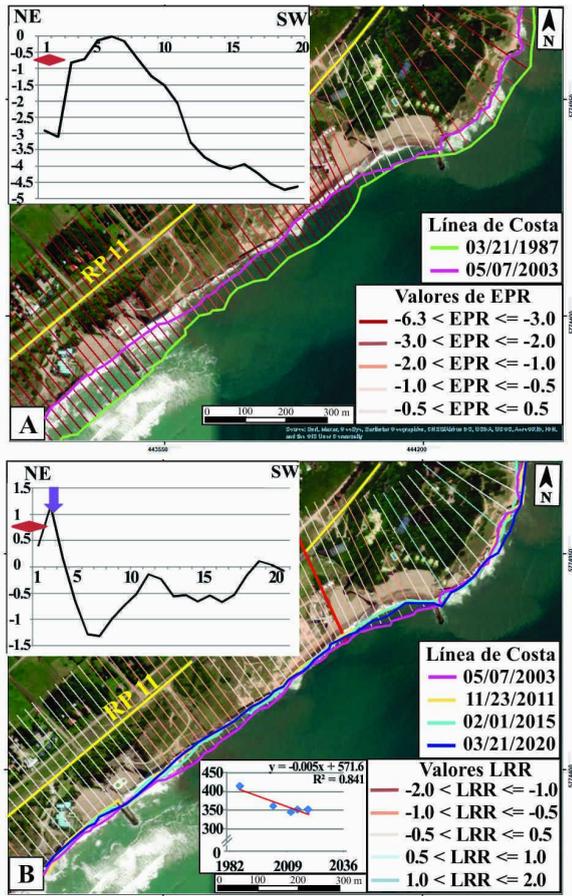


Figura 9. Playa Luna Roja. A) Mapa y gráfico de los valores de EPR 1987-2003, plataforma de abrasión en el extremo NE (rombo rosado). B) Mapa y gráfico de los valores de LRR 2003-2020 se ve el efecto de la escollera (flecha violeta), donde cercana a ella hay erosión pero en las zonas más lejanas hay menor erosión que en la época anterior. Recta de Regresión lineal que indica la evolución temporal de la línea de costa entre 1987-2020 para el transecto 516 con un LRR de -2 m/año. La numeración de los transectos es de NE a SW.

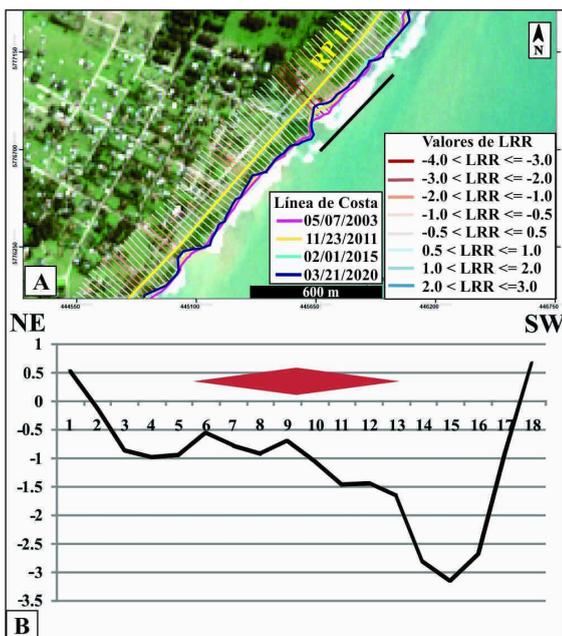


Figura 10. Playa Los Lobos. A) Mapa de los valores de LRR 2003-2020. B) Gráfico LRR 2003-2020 de la playa en bolsillo marcada en la figura A (línea negra), se puede ver que hay mayor

erosión donde no está la plataforma de abrasión (rombo rosado). La numeración de los transectos es de NE a SW.

Playa Cruz del Sur (Figura 11), en el gráfico de LRR se observa una pequeña playa en bolsillo al sur, llamada La Playita. Las playas se encuentran entre acantilados con plataformas de abrasión. La zona presentó una erosión alta en sectores puntuales (-2 m/año). La línea de costa debido a la dirección predominante de las olas generó una acumulación de +10 m entre el año 2015 y 2020 (Figura 11c).

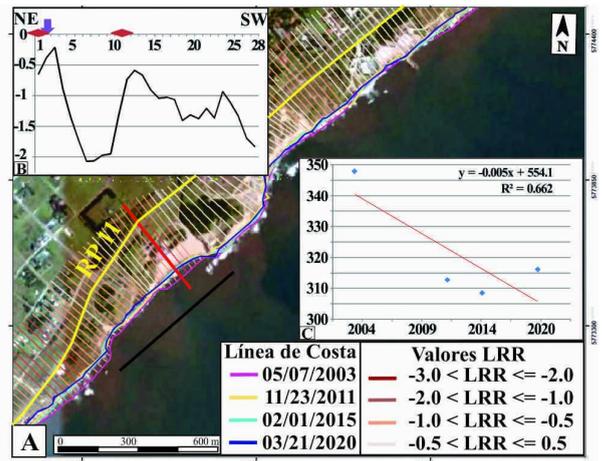


Figura 11. Playa Cruz del Sur. A) Mapa con los valores de LRR de 2003-2020. B) Gráfico LRR 2003-2020 de la zona de playa (línea negra en A). Se ve el efecto de la escollera (flecha violeta) y las plataformas de abrasión (rombos rosados). C) Evolución de la línea de costa 2003-2020. Transecto 595 LRR -2,07 m/año. En todos los años se observa una erosión de la línea de costa y en el 2020 se presentó un aumento de +10 m. La numeración de los transectos es de NE a SW.

Playa Chapadmalal (Figura 12). En el intervalo 2003-2020 presentó un comportamiento variable influido por las cinco escolleras, que generan inmediatamente en su proximidad sur un retroceso de la línea de costa (máx. -3 m/año; Figura 12). Por lo general, en la actualidad, este litoral no tiene una erosión significativa (tasa promedio -0,58 m/año). Sin embargo, según datos bibliográficos, entre 1998-1999 el balance sedimentario fue negativo con un retroceso de la línea de costa de 20 m (Isla 2003).

Playa San Eduardo del Mar. Esta playa tiene un campo de dunas móviles que migran hacia el ONO hacia la RP11. El campo no presenta ningún tipo de modificación antrópica salvo rasgos erosivos a causa de vehículos. Existe un pequeño arroyo que corta la bahía (Mojica et al. 2022). Según los datos de LRR la playa tuvo erosión con valores menores a -1,5 m/año (Figura 13). A grandes rasgos, en todo el litoral del campo de dunas hay lugares con mayor erosión que otros.

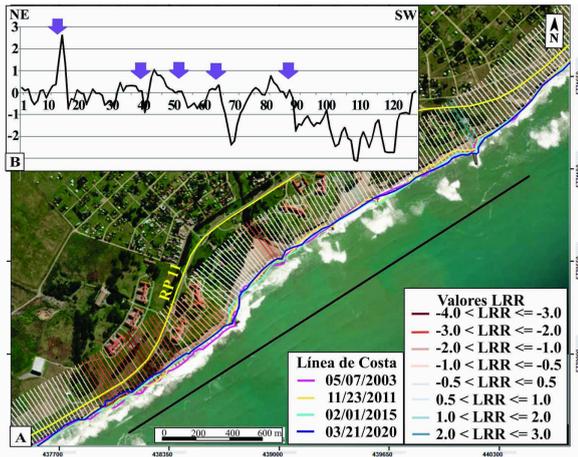


Figura 12. Playa Chapadmalal. A) Mapa con los valores de LRR de 2003-2020. B) Gráfico LRR 2003-2020 se ve claramente la variabilidad que presenta la costa y el efecto que generan las escolleras (flechas violetas). La numeración de los transectos marcados por la línea negra en A va de NE a SW.

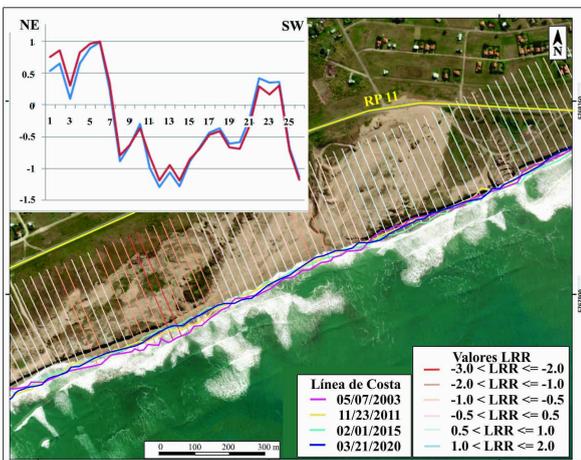


Figura 13. Playa San Eduardo del Mar. Mapa y gráfico de los valores de LRR 2003-2020. La numeración de los transectos va de NE a SW.

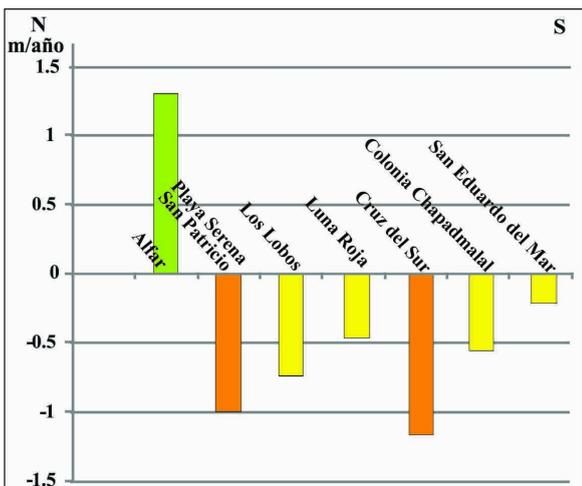


Figura 14. Gráfico de tasa promedio de erosión (m/año) de las playas. La playa Los Acañilados no fue tomada en cuenta por ser artificial.

5. Discusión

5.1. Limitaciones metodológicas

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten dar una aproximación a la variación de la línea de costa (tierra-agua) en el extremo sur de Mar del Plata. Una de las ventajas de este trabajo fue la disponibilidad de fotografías aéreas antiguas (año 1987) e imágenes satelitales desde el año 2003, ambos documentos con alta resolución espacial, ya que una de las limitaciones de la herramienta de DSAS es la disponibilidad de imágenes de alta resolución (Lemos & Sopchaki 2020).

Los errores totales obtenidos en el trabajo variaron entre 2 y 10 m, estos valores altos son debido principalmente al error del tamaño de pixel de los datos utilizados, siendo el error de altura de mareas de 0,10 m aproximadamente. Mejores resultados se lograrían con fotografías aéreas de mayor detalle (Moore 2000) y con imágenes satelitales de alta resolución. Al tener una escala temporal más amplia a la utilizada en este trabajo, se podrían reducir aún más las incertidumbres generadas por las variaciones estacionales (Crowell et al. 1993; Muehe & Klumb-Oliveira 2014), como así también, poder realizar análisis del comportamiento de las líneas de costa a mediano o largo plazo y así poder discriminar la erosión previa al aumento antropogénico del nivel del mar (Oppenheimer et al. 2019). Para el cálculo de error, sería conveniente que se consideren más variables, como el efecto de las olas, el valor de coregistro de las imágenes utilizadas y el error de la digitalización (Anfuso et al. 2007; Vidris et al. 2012; Manno et al. 2017; Nassar et al. 2018; Blount et al. 2022). Los parámetros obtenidos por el análisis de DSAS son en función de la posición de las sucesivas líneas de costas que atraviesan los transectos. Esto significa que no es una representación exacta de las playas, si no el comportamiento en determinados puntos. Este comportamiento puede estar influido, principalmente por la forma en planta de las playas (rectilíneas o irregulares) y, secundariamente, por estructuras naturales (cúspides de playa) o antrópicas por lo que se podrían obtener valores que estén sub o sobreestimados. Para evitar estos errores es necesario que se minimice el distanciamiento entre transectos que depende de la resolución de la investigación (Anfuso et al. 2016). Para costas que no sean rectas, como las costas con gran densidad de rompeolas que generan tómbolos (playas de Toscana en Italia, por ejemplo) es necesario establecer distancias mínimas entre transectos. En la zona del sur de Mar del Plata por las dimensiones de las playas y la gran cantidad de playas en bolsillo y salientes rocosas, la distancia de 25 m, es apropiada y, aunque se suavizaran los valores de erosión y acreción, no se pierde la precisión.

Es importante resaltar que, a diferencia del análisis aplicado para la Ensenada de Mogotes (Billet et al 2023) con simulación del Coastal Sat toolkit, que utilizan imágenes de los satélites Landsat y Sentinel de precisiones de 30 y 10 m, respectivamente, y los datos de olas fueron simulados en zonas no costeras, este

trabajo contó con fotografías aéreas con mayor precisión asociadas a los perfiles de playa relevados después de la veda de extracción de arena en la Ensenada de Mogotes (Farenga et al. 1992). La distribución bimodal del oleaje se basa en mediciones realizadas en la playa de Punta Mogotes (Isla 2010). Los efectos de la refracción de las olas se midieron de acuerdo con la variación de la línea de costa en Punta Mogotes (Figura 6).

5.2. Características de la zona

Los resultados obtenidos en este trabajo poseen cierta relación con los obtenidos por otros autores. Por ejemplo, en las playas del Faro se registró entre 1987-2003, una etapa de acomodación y regeneración natural de la línea de costa, al prohibirse las extracciones de arena en 1987 (Farenga et al. 1992). Se trata de las playas más amplias de toda el área de estudio y su erosión no constituye un problema tan notorio (1,3 m/año). Asimismo esta zona se encuentra influida por la saliente rocosa del Banco de Pescadores que, debido al efecto de la difracción de las olas, genera una gran variabilidad en la posición de la línea de costa (Isla et al. 2022) y diferentes comportamientos a un lado y al otro del tómbolo (erosión-acumulación) dependiendo de la dirección de aproximación del viento y de las olas (Figura 5a y b; Pulido Arenas 2016; Isla et al. 2022) como ocurre en la desembocadura del Río Jaguaribe en Brasil (Farias & Maia 2010). La saliente del tómbolo se comporta como un límite de celda. Se produce acumulación en las Playas del Faro, transporte en el tramo Playa Serena-San Patricio y erosión en la zona hacia el sur en playa Los Acantilados (Farenga et al. 1992). Esto se puede apreciar en el análisis temporal de 1987-2003 (Figura 15 línea azul), y ya para el análisis que abarca del 2003-2020 este comportamiento se encuentra modificado por la presencia de las obras de protección que afectaron la deriva litoral (Figura 15 línea rosada). Similar comportamiento se registró para las playas que se encuentran entre puertos y espigones en las costas mediterráneas de España (Molina et al. 2019).

La erosión en las Playa Serena y San Patricio, de menores anchos que las próximas a Alfár, reflejan la susceptibilidad de los materiales que cubren los acantilados (arenas no consolidadas; LRR máx: -2 m/año; Figura 7)

La mayoría de las playas restantes (Playa Los Lobos, Luna Roja, Cruz del Sur) se caracterizan por ser playas en bolsillo y por presentar en sus extremos plataformas de abrasión. Presentan una tasa de erosión baja (LRR -0,3 a -1,2 m/año), muy similar a lo que describen Martínez et al. (2022) para playas en bolsillo en Chile, o en playas en bolsillo de España (Molina et al. 2019), que son esencialmente estables. La baja tasa de erosión, en comparación con el resto de las playas, se atribuye a la estabilidad de las plataformas de

abrasión que se comportan como una protección natural a la energía de las olas (Farenga et al. 1992).

5.3. Intervenciones humanas

Las playas del Faro presentan alta presión humana, vecinas a un campo de dunas forestado, presentan los balnearios de mayor importancia de la ciudad (accesos para vehículo todo terreno, piscinas excavadas en la playa distal, paradores cercanos al foreshore) que por lo general funcionan durante la época estival (enero y febrero) pero las infraestructuras perduran todo el año. Dichas instalaciones intervienen en la dinámica costera fomentando la erosión debido a que impiden el intercambio de sedimentos playa-duna, por lo que deben minimizarse.

Los rompeolas desvinculados de la playa Los Acantilados generaron la recuperación de la playa seca (EPR aprox. +10 m/año), disminuyeron la erosión al sur (LRR máx: +1,78 m/año) pero generaron un aumento hacia el norte (Playa Serena y San Patricio; Isla et al. 2018a; Figura 15). Una situación similar de obras que no lograron evitar la erosión deriva-abajo se registró en las playas de Ceará (Abreu et al. 2016).

Las playas de Colonia Chapadmalal presentan una serie de escolleras. Aunque registran erosión en el sector sur de las escolleras y acumulación en sector norte, a la inversa de lo que se esperaría (Figura 12). Esta erosión posiblemente tenga relación con las corrientes de rip generadas por dichas estructuras (Isla 2006).

Como se mencionó, el sur de General Pueyrredón presenta menor proporción de intervenciones humanas que las del norte. En ese sentido las tasas de erosión registradas en este estudio están mayormente relacionados a causas naturales, como la situación observada por Tavares Corrêa & Drenkahan (2010) para las costas de Perú.

Comparando las tasas de erosión obtenidas en este trabajo, dichos valores son menores a los registrados en otras localidades al norte de la provincia como Villa Gesell (-0,2 m/año, Garzo et al. 2023), Pinamar (-1-(-2,3) m/año, Isla et al. 2001) y aquellos de la localidad balnearia de Mar Chiquita (-5,16 m/año; Merlotto & Bértola 2009). Hacia el sur de la provincia (localidades de Necochea y Quequén) las tasas de erosión son por lo general muy bajas para la primera, y para la segunda se registra un retroceso de la línea de costa incrementado por la obstrucción de la deriva litoral a causa de la construcción del puerto (Merlotto et al. 2014). Finalmente la costa sur de Mar del Plata, presenta mayor relación (en términos de variación de la línea de costa) con la costa sur de la provincia (Isla et al. 2018a), ratificando que la saliente rocosa de la ciudad genera un punto de inflexión entre el sur y el norte.

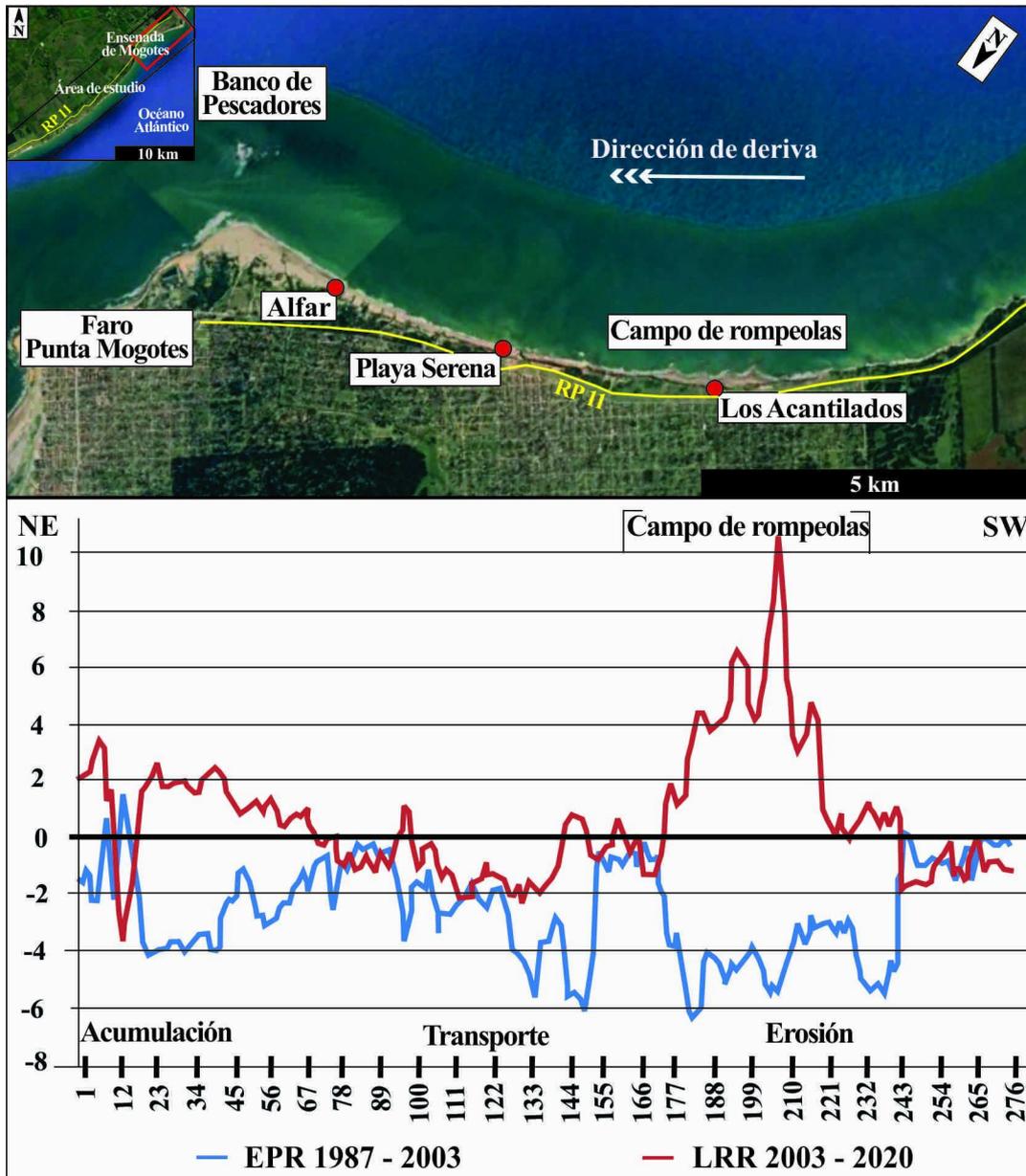


Figura 15. Gráficos de EPR y LRR de la Ensenada de Mogotes. Se ve claramente en la línea azul que los menores valores están hacia el SW (erosión) y los mayores valores al NE (acumulación), a pesar que en 2003-2020 se registra la alteración debido a los rompeolas (picos de valores) continúa existiendo erosión hacia el sur y acumulación hacia el norte, y se aprecia inmediatamente al norte de las estructuras en erosión. La numeración de los transectos va de NE a SW.

5. Conclusiones

- Según el análisis llevado a cabo mediante regresión lineal (LRR) en los años 1987-2003 y 2003-2020, la mayoría de las playas tiene una tendencia erosiva con valores máximos de -2 m/año. La playa Los Acantilados tuvo una acumulación promedio de +3 m/año inducida por los rompeolas desvinculados.

- Las playas que presentaron mayor promedio de erosión entre 2003-2020 fueron Cruz del Sur (-1,20 m/año) y Playa Serena y San Patricio (-1 m/año).

- Algunas playas presentan estabilidad o acumulación gracias a intervenciones humanas y al tómbolo natural que forma el Banco de Pescadores.

- Existen playas de bolsillo de poca erosión favorecidas por la protección de las plataformas de erosión (Luna Roja).

- Las zonas con mayor erosión coinciden con las zonas donde hay dunas rampantes sobre el acantilado y no hay desarrollo de playa distal.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Universidad de Cádiz (España) por facilitar la licencia del software ArcMap para poder llevar a cabo este estudio en el marco de la tesis final de master.

Referencias

ABREU, M.M.R.; FERRO, I.M.M.; ABREU NETO, J.C. 2016. Variação e modelo de tendencia da linha de costa da Praia do

- Icarai, Caucaia, Ceará, Brasil. *Revista de Geologia*, 29(2):263-271.
- ANFUSO, G., DOMINGUEZ, L., GRACIA, F.J. 2007. Short and medium-term evolution of a coastal sector in Cadiz, SW Spain. *Catena*, 70:229-242. doi:10.1016/j.catena.2006.09.002.
- ANFUSO, G., BOWMAN, D., DANESE, C., PRANZINI, E. 2016. Transect based analysis versus area based analysis to quantify shoreline displacement: spatial resolution issues. *EnvironMonitAssess*, 188:568. doi:10.1007/s10661-016-5571-1.
- APPEANING ADDO, K., P.N., JAYSON-QUASHIGAH, K.S., KUFOGBE. 2011. Quantitative Analysis of Shoreline Change Using Medium Resolution Satellite Imagery in Keta, Ghana. *Marine Science*, 1(1):1-9. doi: 10.5923/j.ms.20110101.01.
- ARAÚJO R.S., SILVA G.V., FREITAS D., KLEIN A.H.F. 2008. Georreferenciamento de fotografias aéreas e análise da variação de linha de costa. In: Alcántara-Carrio J., Correa I. D., Isla F., Alvarado M., Klein A. H. F., Cabrera J. A. (eds) *Metodologías en Teledetección Aplicada a la Prevención de Amenazas Naturales en el Litoral*, Valencia, 237-253p.
- BACINO, G.L., DRAGANI, W.C., CODIGNOTTO, J.O., PESCIO, A.E., FARENGA, M.O. 2020. Shoreline change rates along Samborombon Bay, Río de la Plata estuary, Argentina. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 237.
- 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. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=381740357002>.
- Bértola, G.R., Cortizo, L.C., Isla, F.I. 2009. Dinámica litoral de la costa de Tres Arroyos y San Cayetano, Buenos Aires. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 64:657-671.
- BILLET, C., BACINO, G., ALONSO, G., DRAGANI, W. 2023. Shoreline Temporal Variability Inferred from Satellite Images at Mar del Plata, Argentina. *Water*, 15:1299. <https://doi.org/10.3390/w15071299>
- BLOUNT, T.R., CARROSCO, A.R., CRISTINA, S., SILVESTRI, S. 2022. Exploring open-source multispectral satellite remote sensing as a tool to map long-term evolution of salt marsh shorelines. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 266.
- BOAK, E.H. & TURNER, I.L. 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, 21(4):688-703. West Palm Beach (Florida).
- BOUVET, Y., DESSE, R-P., MORELL, P., VILLAR, M.C. 2005. Mar del Plata (Argentina): La ciudad balnearia de los porteños en el Atlántico suroccidental. *Investigaciones Geográficas*, 36:61-80
- CELLONE, F., CAROL, E., TOSI, L. 2016. Coastal erosion and loss of wetlands in the middle Río de la Plata estuary (Argentina). *Applied Geography*, 76:37-48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.09.014>
- CIONCHI, J.L., ALVAREZ, J.R., DEL RIO, J.L. 1998. El efecto antrópico en el retroceso de la línea de costa del partido de General Pueyrredón (Provincia de Buenos Aires). XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. *Actas VI* (318-322).
- CROWELL, M., LEATHERMAN, S.P., BUCKLEY, M. 1993. Shore-line change rate analysis: long term versus short term data. *Shore and Beach*, 61(2):13-20.
- DADON J.R. & MATTEUCCI S.D. 2006. Caracterización de las grandes regiones costeras de la Argentina. *Manual de manejo costero para la provincia de Buenos Aires*, 11-40.
- D'AMICO, G., FUCKS, E., CARUT, C. 2019. Dinamismo, complejidad y especificaciones de los litorales estuarinos: Análisis de la dinámica litoral en Punta Atalaya, Buenos Aires, Argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 45(2):729-750.
- DOLAN, R., FENSTER, M.S., HOLME, S.J. 1991. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal Coastal Res*, 7:723-744.
- DRAGANI, W.C., MARTÍN, P.B., SIMIONATO, C.G., CAMPOS, M.I. 2010. Are wind wave heights increasing in south-eastern South American continental shelf between 32°S and 40°S?. *Continental Shelf Research*, 30(5):481-490. doi: 10.1016/j.csr.2010.01.002
- FARENGA, M.O., ADAMINI, R., 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.
- FARIAS, E.G. & MAIA, L.P. 2010. Uso de Técnicas de Geoprocessamento para a Análise da Evolução da Linha de Costa em Ambientes Litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 10(4):521-544.
- FINOCCHIETTI, M.C. 2014. Las variaciones del nivel del mar en la costa argentina. *Amenazas naturales y vulnerabilidad socio-económica*. Tesis de grado. Licenciatura en Geografía. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Humanidades, 97p.
- GARCÍA GONZÁLEZ, P., MARTÍNEZ, G.A., ALVAREZ, M.F., DEL RÍO, J.L., 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/GF.685>
- GARZO, P.A., SÁNCHEZ-CARO, L., MOJICA, M. 2023. Coastal erosion in temperate barriers: An anthropized sandy beach in Buenos Aires, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 10:4453. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104453>.
- GYSSSELS, P., RAGESSE, M., RODRÍGUEZ, A., CARDINI, J., CAMPOS, M. 2013. Diseño de infraestructura para la protección de la erosión costera en el litoral argentino, caso Mar del Plata. *Revista 23 Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 13(6):221-235.
- HIMMELSTOSS, E.A., HENDERSON, R.E., KRATZMANN, M.G., FARRIS, A.S. 2018. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2018-1179:110. <https://doi.org/10.3133/ofr201811792>
- INDEC 2010. Acceso el 22 de julio de 2022. <https://www.mardelplata.gob.ar/Contenido/censo-2010>
- 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 <http://www.aprh.pt/rgci/revista10f1.html>
- ISLA, F.I. & BÉRTOLA, G.R. 2005. Litoral bonaerense. En de Barrio, R., Etcheverry, R.O., Caballé, M. F. y Llambias, E. (eds.) *Geología y recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires*. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, 265-276
- ISLA, F.I., & 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., 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., 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., CORTIZO, L.C. 2001. Variaciones Antropogénicas de las Playas del Sudeste de Buenos Aires, Argentina. *Pesquisas em geociencias*, 28(1):27-35.
- ISLA, F.I., CORTIZO, L.C., MERLOTTO, A., BÉRTOLA, G., PONTRELLI ALBISETTI, M., FINOCCHIETTI, C. 2018a. Erosion in Buenos Aires province: Coastal-management policy revisited. *Ocean and Coastal Management*, 156:107-116.
- ISLA, F.I., QUIROZ LONDOÑO, O.M., CORTIZO, L.C. 2018b. Groundwater characteristics within loessic deposits: the coastal springs of Los Acatillados, Mar del Plata, Argentina. *Environmental Earth Sciences*, 77:610. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7766-6>
- ISLA, F., PRARIO, B., MAENZA, R., BÉRTOLA, G., CORTIZO, L., LAMARCHINA, S. 2022. 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. ISSN 0326-8373 DOI: <https://doi.org/10.52292/j.rug.2022.31.1.0037>.
- KOKOT, R.R. & CHOMNALEZ, F. 2012. Retreat of the line of coast in Las Grutas, Río Negro province. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 69(1):88-96
- LAMARCHINA, S., MAENZA, R.A., 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., DRAGANI, W.C. 1992. Wave-power potential along the coast of the province of Buenos Aires, Argentina. *Energy*, 17(11):997-1006.
- LECETA GOBITZ, F.H. 2009. Análisis de variabilidad temporal de la línea de costa mediante la aplicación de métodos de teledetección y sistemas de información geográfica: Bahía de Miraflores, Perú 1936-2005. Tesis de grado. Licenciatura en Geografía. Facultad de Letras y Ciencias Humanas. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- LEMOS, A.L.B. & SOPCHAKI, C.H. 2020. Contribuição da ferramenta digital ShorelineAnalysis System nos estudos de dinâmica costeira no estado do Ceará, Brasil. *Revista Equador (UFPI)*, 9(3):61-81.
- MALLMANN, D.L.B., MEDEIROS DE ARAÚJO T.C., LÓPEZ DROGUETT, E. 2014. Caracterização do litoral central de Pernambuco (Brasil) quanto ao processo erosivo em curto e médio-termo. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 05(2):137-154.
- MANNO, G., LO RE, C., CIRAOLO, G. 2017. Uncertainties in shoreline position analysis: the role of run-up and tide in a gentle slope beach. *OceanScience*, 13:661-671. <https://doi.org/10.5194/os-13-661-2017>
- MARCOMINI, S.C. & LÓPEZ, R.A. 1997. Influencia de la urbanización en la dinámica costera, Villa Gesell, provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Revista AAS*, 4(2):79-96.
- Martín Prieto, J.Á., Roig Mumar, F.X., Rodríguez Perea, A., PonsBuades, G.X., Mir Gual, M., Gelabert Ferrer, B. 2018. Análisis de la evolución histórica de la línea de costa de la playa de esTrenc (S. de Mallorca): causas y consecuencias. *GeoFocus*, 21:187-214. <http://dx.doi.org/10.21138/GF.544>
- MARTÍNEZ, C., WINCKLERGREZ, P., AGREDANO MARTÍN, R., ESPARZA ACUÑA, C., TORRES, I., CONTRERAS-LÓPEZ, M. 2022. Coastal erosion in sandy beaches along a tectonically active coast: The Chile study case. *Progress in Physical Geography*, 46(2):250-271. doi: 10.1177/03091333211057194.
- MERLOTTO, A. & BÉRTOLA, G.R. 2009. Evolución de la línea de costa en el Balneario Parque Mar Chiquita, Argentina. *Ciencias Marinas*, 35(3):271-286.
- MERLOTTO, A., BÉRTOLA, G.R., ISLA, F.I., CORTIZO, L.C., PICCOLO, M.C. 2014. Short and medium-term coastal evolution of Necochea Municipality, Buenos Aires province, Argentina. *Environmental Earth Sciences*, 71(3):1213-1225. ISSN 1866-6280. doi: 10.1007/s12665-013-2525-6.
- MERLOTTO, A., BÉRTOLA, G.R., ISLA, F.I. 2017. Riesgo de erosión costera de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 26(2):37-72.
- MISHRA, M., SUDARSAN, D., KAR, D., NAIK, A.K., DAS, P.P., SANTOS, C.A.G., SILVA, R.M. 2020. The development and research trend of using DSAS tool for shoreline change analysis: a scientometric analysis. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 14(1):69-77. ISSN 1982-3932. doi: 10.4090/juee.2020.v14n1.069077
- MOJICA, M., LAMARCHINA, S., ANFUSO, G., ISLA, F. 2022. Repoblamiento de playas del sur de Mar del Plata (Argentina). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 29(1):23-41. lajsba.sedimentologia.org.ar/index.php/lajsba/article/view/210.
- MOLINA, R., ANFUSO, G., MANNO, G., PRIETO GRACIA, J. 2019. The Mediterranean Coast of Andalusia (Spain): Medium-Term Evolution and Impacts of Coastal Structures. *Sustainability*, 11:35-39. doi: 10.3390/su11133539
- MOORE, L.J. 2000. Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, 16(1):111-124. ISSN 0749-0208.
- MUEHE, D. & KLUMB-OLIVEIRA, L. 2014. Papel da praia na proteção da costa e as alterações oceanográficas em diferentes escalas temporais Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 05(2):121-124.
- MUÑOZ-PÉREZ, J.J., LÓPEZ, B., GUTIÉRREZ, J.M., MORENO, L., CUENA, G. 2001. Cost of beach maintenance in the Gulf of Cadiz (SW Spain). *Coastal Engineering*, 42:143-153.
- MUTAQIN, B.W. 2017. Shoreline changes analysis in Kuwaru coastal área, Yogyakarta, Indonesia: An application of the Digital Shoreline Analysis System (DSAS). *Int. J. Sus. Dev. Plann*, 12(7): 1203-1214. ISSN: 1743-7601. doi: 10.2495/SDP-V12-N7-1203-1214.
- NASSAR K., MAHMOD, W.E., FATH, H., MASRIA, A., NADAOKA, K., NEGM, A. 2018. Shoreline change detection using DSAS technique: Case of North Sinai coast, Egypt. *Marine Georesources & Geotechnology*. doi: 10.1080/1064119X.2018.1448912
- OPPENHEIMER, M., GLAVOVIC, B., HINKEL, J., VAN DER WAL, R. MAGNAN, A.K., ABDELGAWAD, A, CAI, R., CIFUENTES-JARA, M., DECONTO, R.M., GHOSH, T., HAY, J., ISLA, F., MARZEION, B., MEYSSIGNAC, B., SEBESVARI, Z. 2019. Chapter 4: Sea level rise and implications for low lying islands, coasts and communities. En SROCC Report, International Panel for the Climatic Change IPCC, 31.
- PAJAK, M.J. & LEATHERMAN, S. 2002. The high water line as shoreline indicator. *Journal of Coastal Research*, 18(2):329-337. ISSN 0749-0208.
- PONTRELLIALBISETTI, M., LAZAROW, N., GARCÍA, M., ISLA, F., 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.
- PULIDO ARENAS, D.F. 2016. Dinámica sedimentaria episódica y mineralogía en el tómbolo de Punta Mogotes, Mar del Plata, Argentina. Tesis de grado. Grado en Geología. Universidad EAFIT, Medellín, 104p.
- RANGEL-BUITRAGO, N.G., ANFUSO, G., WILLIAMS, A.T. 2015. Coastal erosion along the Caribbean coast of Colombia: Magnitudes, causes and management. *Ocean & Coastal Management*, 114:129-144. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.06.024>
- RONDÓN RAMÍREZ, G.A. 2011. Análisis de la variación temporal de la línea de costa y caracterización de la geomorfología litoral: bahía de Paita, Perú 1946-2007. *Espacio y Desarrollo*, 23:93-114. ISSN 1016-9148.
- SANTOS, E.C., & BONETTI, J. 2018. Análise da taxa de variação da linha de costa da Enseada de Tijucas (SC) em diferentes escalas temporais como indicadora de suscetibilidade costeira. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 9(2):19-25.
- SHN (Servicio de hidrografía Naval) http://www.hidro.gov.ar/oceanografia/tmareas/RE_Mareas.asp. Fecha de ingreso a la página: 13/2/2022.
- STAFFORD, D.B. & LANGFELDER, J. 1971. Air photo survey of coastal erosion. *Photogrammetric Engineering*, 37(6):565-575.
- TAVARES CORRÊA, C.T. & DRENKHAM, F. 2010. Variación de la línea de litoral entre puerto Chicama y Puémapé, La Libertad, Perú (1961-2006). *Espacio y Desarrollo*, 22:103-117. ISSN 1016-9148.
- VILLATE DAZA, D.A., SÁNCHEZ MORENO, H., PORTZ, L., PORTANTIOLOMANZOLLI, R., Bolívar-Anillo, H.J., Anfuso, G. 2020. Mangrove Forests Evolution and threats in the Caribbean Sea of Colombia. *Water*, 12:1113. doi: 10.3390/w12041113
- VIRDIS, S.G.P., OGGIANO, G., DISPERATI, L. 2012. A Geomatics Approach to Multitemporal Shoreline Analysis in Western Mediterranean: The Case of Platamona-Maritza Beach (Northwest Sardinia, Italy). *Journal of Coastal Research*. doi: 10.2112/JCOASTRES-D-11-00078.1
- WATERMAN, R.E. 1994. Sand bypassing at Mar del Plata. A solution to coastal and port problems. Unpublished Report, heHague, Netherlands, 40 pp.

¹Recebido 12 de setembro de 2022
Aceito 24 de julho de 2023