

## METODOLOGÍA SIG PARA EL ANÁLISIS DE LA DINÁMICA, MONITOREO Y REMEDIACIÓN DE UN SISTEMA PLAYA- DUNA DEL SUDESTE BONAERENSE, ARGENTINA

ORLANDO MAURICIO QUIROZ LONDOÑO,<sup>1,2</sup> ASUNCIÓN ROMANELLI<sup>1,2</sup>, FABIÁN GONZÁLEZ<sup>3,1,2,3</sup>; LEONARDO CERMELO<sup>3</sup>; CARLOS DALTO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata- CIC, Funes 3350. - Nivel 1 - 7600 Mar del Plata, Argentina.

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (UNMdP-CONICET), FCEyN, CC1260. 7600 Mar del Plata, Argentina.

<sup>3</sup>Investigación y Gestión de Sistemas Ambientales, IGSAM  
7600 Mar del Plata, Argentina.

[qlondono@mdp.edu.ar](mailto:qlondono@mdp.edu.ar), [aromanel@mdp.edu.ar](mailto:aromanel@mdp.edu.ar), [fgonzalez@igsam.org](mailto:fgonzalez@igsam.org),  
[lcermelo@igsam.org](mailto:lcermelo@igsam.org), [daltogesell@yahoo.com.ar](mailto:daltogesell@yahoo.com.ar)

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo es identificar las zonas de erosión y sedimentación costera y cuantificar las tasas de pérdida y aporte de sedimentos en un sistema playa-duna del litoral atlántico bonaerense (Argentina) a partir de un marco metodológico basado en SIG. Se realizaron 7 campañas de relevamiento topográfico entre marzo del 2016 y marzo del 2017. El volumen total de arena movilizada fluctuó entre 31079 y 77680 m<sup>3</sup>. Se cuantificó un área de permanente erosión de 488 m<sup>2</sup>, próxima a la línea de costa, y, un área total de 2468 m<sup>2</sup> de permanente acumulación coincidente en general con las crestas de las dunas. Los resultados identificaron zonas prioritarias (3,7 % del área total) para instalar dispositivos de acumulación de arena como posibles alternativas de remediación de la cadena dunosa frontal, recomendándose llevar a cabo dichos trabajos principalmente entre marzo y junio ya que en estos meses se presentan los mayores volúmenes de sedimentos en el sistema.

Palabras clave: balances sedimentarios, sistema playa - duna, SIG, remediación costera, erosión costera, litoral atlántico.

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa- duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>

---

## A GIS-BASED METHODOLOGY FOR ASSESSING THE SEDIMENTARY DYNAMICS, MONITORING AND REMEDIATION ACTIONS IN A BEACH-DUNE SYSTEM IN THE SOUTHEASTERN OF BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA

### ABSTRACT

The aim of this work is to identify sediment deposition and erosion in coastal zones and to quantify the sedimentary budget in a beach-dune system of the Atlantic coast of Buenos Aires Province (Argentina) by a methodological framework based on GIS. Seven topographic survey campaigns were carried out from March 2016 to March 2017. The total volume of mobilized sand fluctuated between 31079 and 77680 m<sup>3</sup>. A 488 m<sup>2</sup> area of permanent erosion was quantified, close to the coastline, and also an area of 2468 m<sup>2</sup> of permanent accumulation, mostly coinciding with the dune ridges. The identification of priority areas (3.7%) for remediation practices was performed. We recommended the installation of sand accumulation devices as possible alternatives for the remediation of the frontal dunes, mainly between March and June, since during these months the highest sediment volumes are present in the system.

Keywords: sedimentary balances, beach-dune system, coastal erosion, Beach Recovery, GIS, alternatives, Atlantic littoral

### 1. Introducción

La costa es altamente dinámica y cambia temporal y espacialmente en respuesta a las variaciones en los procesos costeros y a la actividad antrópica (Anfuso y Martínez Del Pozo, 2005, 2009; El Banna y Frihy, 2009; Hill *et al.*, 2004; Merlotto *et al.*, 2014; Pagán *et al.*, 2016; Portz *et al.*, 2016). Por lo tanto, las playas y costas manifiestan cambios morfológicos a corto, mediano y largo plazo, así como también cambios episódicos (Anfuso *et al.*, 2007; Merlotto *et al.*, 2014). Las zonas costeras son, actualmente, los espacios bajo mayor presión ambiental, lo que los hace particularmente vulnerables. También son el objetivo de una creciente urbanización y concentración de actividades humanas. Cada vez más, la valorización cultural de estos espacios ha sido un importante vector de ocupación y urbanización acelerada, y a su vez, de su uso intensivo para la recreación, el ocio y el turismo (Portz *et al.*, 2016). La creciente presión antrópica influye negativamente en la evolución de la costa y rompe el equilibrio dinámico de la misma causando un aumento en la erosión de las playas (Isla *et al.*, 2001; Taaouati *et al.*, 2011).

Todos estos cambios costeros pueden ser estudiados a partir de una amplia variedad de métodos y conjunto de datos de acuerdo al lapso de tiempo y a las escalas espaciales consideradas (Andrews *et al.*, 2002; Anfuso *et al.*, 2007; Anfuso *et al.*, 2007; Crowell *et al.*, 1993; Mason *et al.*, 2000; Taaouati *et al.*, 2011). Estudios de costas a corto plazo generalmente se llevan a cabo a escalas espaciales pequeñas (micro a meso escalas), en un lapso de tiempo inferior a 10 años (Crowell *et al.*, 1993). La técnica más comúnmente utilizada es el perfilado topográfico de la playa o el levantamiento 3D, repetido a intervalos regulares, para medir las variaciones diarias a anuales en la costa y el volumen de la playa (Anfuso *et al.*, 2007; Anfuso *et al.*, 2007; Merlotto *et al.*, 2014; Taaouati *et al.*, 2011). Aquellos estudios que consideran períodos de 10-60 años o más de 60 años constituyen, respectivamente, estudios a medio y largo plazo (Crowell *et al.*, 1993). Las fotografías

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa-duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>

---

aéreas, las imágenes satelitales y los mapas históricos son la fuente de datos más utilizada en estos casos (Anfuso *et al.*, 2007; Anfuso *et al.*, 2007; Merlotto *et al.*, 2014; Pagán *et al.*, 2016).

Uno de los elementos más relacionados con el cambio en la evolución de la zona litoral son los sedimentos, debido a la relación que existe entre su tamaño, peso específico y la energía de las olas (Salazar *et al.*, 2004). Por ello varios autores afirman que para una mejor comprensión de los problemas de erosión costera, es importante identificar las áreas de entradas, transferencias, almacenamiento y salidas de sedimentos, tanto temporal como espacialmente (Anfuso y Martínez Del Pozo, 2005; Pagán *et al.*, 2016; Rosati, 2005). El análisis consiste en un balance de volúmenes (o volumen de tasas de cambio) para los sedimentos que ingresan (fuente) y egresan (sumidero) de una región seleccionada de la costa, y la erosión resultante o acreción en el área costera en consideración (Adhikari *et al.*, 2016). El balance de sedimentos puede representar condiciones a corto plazo, como una temporada del año en particular, mayores períodos de tiempo que representan un período de tiempo histórico particular o las condiciones existentes en el sitio. El mismo constituye una herramienta fundamental para la gestión ambiental, enfocada en evaluar diseños de proyectos alternativos, desarrollar una comprensión de las vías de transporte de sedimentos a través del tiempo, o estimar tasas futuras de acreción o erosión (Rosati, 2005).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han sido adoptados ampliamente en geomorfología como una herramienta para mapear, cuantificar y analizar espacialmente datos en un rango de escalas, lo cual es clave para entender la dinámica de la forma del relieve en sistemas costeros. Los modelos digitales de elevación (MDE) son comúnmente utilizados para estudiar la morfodinámica de dunas de playa (Andrews *et al.*, 2002; Anthony *et al.*, 2006; Eamer y Walker, 2013; Gares *et al.*, 2006). Sin embargo, deben considerarse las incertidumbres y errores asociados con los métodos de adquisición de datos topográficos y de interpolación que afectan la precisión de los DEM, al momento de cuantificar e interpretar cambios volumétricos y geomorfológicos de una zona en particular.

En la actualidad, en virtud del fuerte retroceso de la costa en parte acelerado por la acción humana, la presencia y preservación de las dunas constituye una necesidad indiscutible. Hoy está claro gracias a la abundante investigación científica disponible que los cordones de dunas costeros intervienen en la formación y dinámica de la playa misma, y que su presencia asegura una serie de servicios ecosistémicos vitales (Barbier *et al.*, 2011; Heslenfeld *et al.*, 2008). Sin embargo, regular los procesos humanos que provocan el deterioro del sistema costero es una tarea difícil y compleja, a pesar de la legislación existente.

En este escenario, la zona norte del Partido de Pinamar (Provincia de Buenos Aires, Argentina) conserva una de las más importantes reservas de dunas, que son garantía de la estabilidad de la playa y componente esencial de otros procesos naturales. Pero diversos usos e intervenciones vulneraron a lo largo de los años la estructura del sistema playa-duna. El proceso se ha acelerado en las últimas décadas al ritmo de la expansión del turismo y las actividades recreativas (Isla *et al.*, 2001). Dicha zona presenta una alta presión antrópica, dada su contigüidad con la trama urbana de Pinamar y por las obras civiles que se vienen desarrollando en su entorno. En este sentido, el objetivo del siguiente trabajo es identificar las zonas de erosión y sedimentación costera y, cuantificar las tasas de pérdida y aporte de sedimentos al sistema playa-duna a partir de un marco metodológico basado en SIG. En base a los resultados se proponen zonas prioritarias para instalar dispositivos de acumulación de arena como posibles alternativas de remediación que

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa- duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>

---

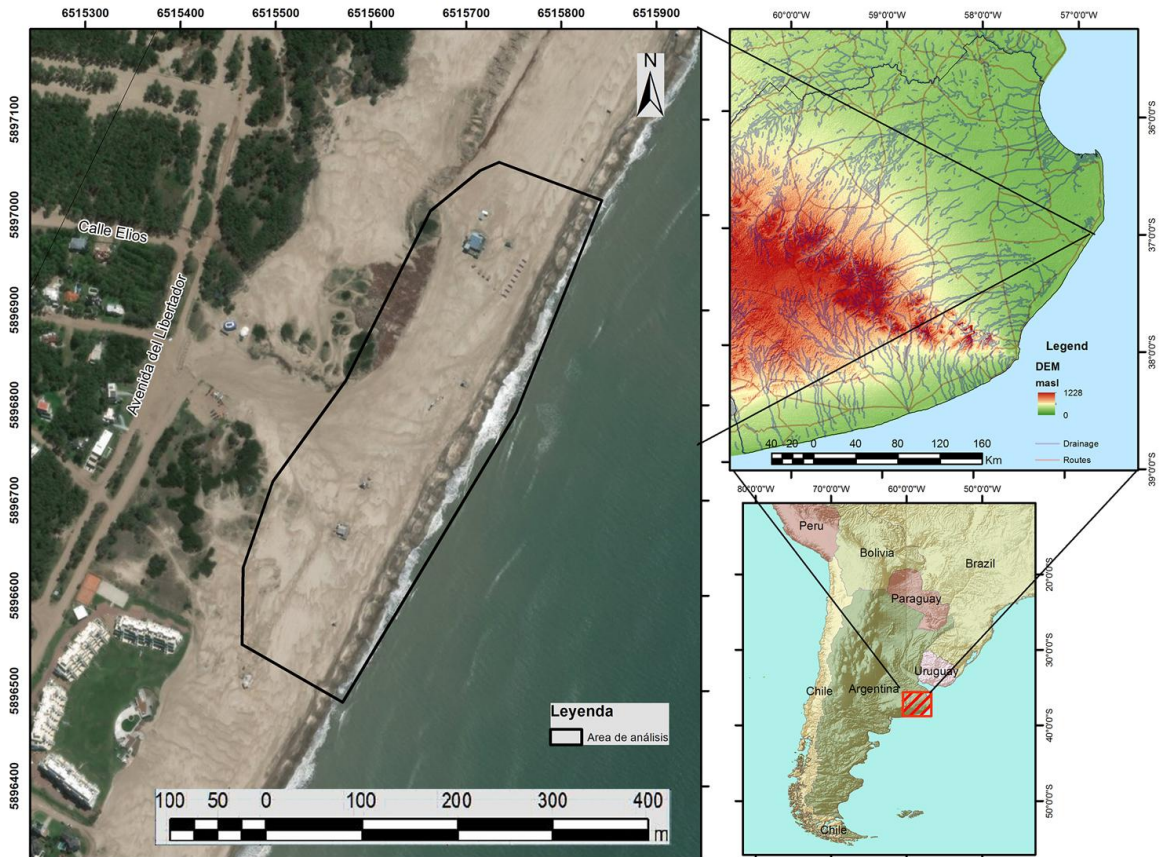
permitan reconstruir la cadena medanosa frontal y apoyar a la adecuada gestión de la zona costera, en este sector crítico del cordón costero del litoral atlántico bonaerense.

## 2. Características generales del área de estudio

Al Este de la Provincia de Buenos Aires se desarrolló una extensa planicie costera generada a causa de una fluctuación del nivel del mar a ocurrida a partir del Holoceno medio (Isla *et al.*, 2001) incluida en los ecosistemas de playas con dunas, llamados "playas de construcción" (Teruggi *et al.*, 1959). Definidas como áreas de constante construcción por el aporte permanente de arena desde el mar hacia el continente. En este sentido Merlotto *et al.* (2014), establecen que gran parte de los aportes sedimentarios de estas playas provienen de las costas del sur de la provincia y de las costas patagónicas, como resultado de la deriva litoral cuya dirección predominante es SO-NE coincidiendo con la orientación de la costa. La zona objeto de este trabajo (Figura 1) hace parte del cordón costero que se desarrolla sin interrupciones desde Punta Rasa hasta la desembocadura de la laguna Mar Chiquita. Posee un ancho de 2-4 km con mayor desarrollo en la zona de Punta Médanos.

Desde el punto de vista geomorfológico, presenta dos unidades: la playa y las dunas. Las playas son rectilíneas y anchas (de hasta 120 m) y con pendientes suaves (hasta 6°) caracterizadas por un perfil quebrado donde se identifican claramente la playa distal, berma y playa frontal o proximal. Este sector costero presenta arenas medianas con porcentaje de conchillas. Posee condiciones de acumulación, dominantes en verano (Diciembre - Marzo) y en menor medida en invierno (Junio -Septiembre), y de erosión en otoño y primavera aunque el balance general para la región es la tendencia acumulativa (Bertola, 2006). La tendencia general de transporte en toda la playa desde la zona de San Clemente a Faro Querandí, presenta dos células de circulación, una desde el sur hasta Punta Médanos al norte, y otra de Pinamar al sur, aunque las condiciones oceanográficas indican un transporte neto de sedimentos hacia el norte (Carretero, 2011). Las alturas reportadas para este cordón medanoso varían entre los 8 y 12 msnm (Santa Cruz y Busso, 2001). Esta secuencia sedimentaria ha sido denominada formación Punta Medanos por Parker (1979). A la barrera de médanos, que se encuentra superpuesta sobre lagunas costeras y marismas de agua dulce, es lo que Isla *et al.* (2001) han denominado como "Barrera Medanosa Oriental de Buenos Aires". Es sobre esta barrera que se localiza el área costera bajo estudio. La región, se caracteriza por la ausencia de afloramientos anteriores al Cuaternario, y una gran uniformidad en la estratigrafía del subsuelo. Las playas en este sector de la costa argentina, son esencialmente micromareales. De acuerdo a mediciones previas realizadas, las alturas de olas para la zona de Pinamar son de 0,89 m con períodos que varían entre 7 y 10 segundos (Isla *et al.*, 2001). Según el informe de Bertola (2006), las playas relevadas para el sector de Pinamar - Villa Gesell, se pueden clasificar como playas abiertas, sin cuerpos naturales de aguas de carácter permanente o transitorio que desemboquen en el mar e interfieran con la deriva litoral, ni cuerpos de almacenamiento natural tales como bañados o lagunas. Desde el punto de vista ecosistémico, la zona analizada varía desde una zona de dunas frontales móviles semidesérticas (temporarias) en la línea de costa, a una zona de médanos semi-vegetados, con predominancia de pastos y donde las especies van sucediéndose de acuerdo a su adaptación a la humedad y la salinidad. Gramíneas como la *Spartina ciliata* y el *Panicum racemosum* son características

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa-duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>



**Figura 1. Mapa de localización del área relevada del sistema playa-duna del litoral atlántico.**

Según el balance sedimentario general para esta zona, la cantidad de arena movida por el viento es positiva hacia el continente. La deriva litoral coincide con el transporte neto por el viento en dirección norte y se observa una pérdida de áreas de la playa que se van incorporando a los médanos (Isla et al 2001).

Las condiciones hidroclimatológicas del Municipio de Pinamar han sido caracterizadas por Isla *et al.* (2001) como correspondientes a un clima templado con una temperatura media anual de 14.6° C y una oscilación anual moderada (10-12° C). Las temperaturas mínimas normales son de -5° C y las máximas de 35° C. La precipitación media es de 835 mm distribuida en 111 días con precipitaciones, de los cuales 33 días al año se registran tormentas eléctricas (concentradas entre diciembre y enero). Los vientos son del este durante primavera – verano (octubre a febrero) y del norte durante otoño invierno (abril-agosto). En los meses de marzo y septiembre dominan los vientos del sur. La velocidad media anual es de 12 km/h superándose estos valores medios durante la primavera verano (octubre - febrero).

### 3. Materiales y métodos

Se realizaron 7 campañas de campo durante los meses de marzo del 2016 y marzo del 2017 para el levantamiento topográfico de detalle del sistema playa-duna del sector norte del Partido de Pinamar (95768 m<sup>2</sup>), Provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 1). Para ello se utilizó una estación total (Topcon GTS 239 W). Todos los relevamientos se vincularon al punto fijo de coordenadas X=6515288.322 Y=5896589.962 Z=7.231. Dichas coordenadas se determinaron con GPS geodésico de doble frecuencia y en solución fija. En todos los casos, la obtención de la información altimétrica se realizó en horarios coincidentes con la marea baja ( $\pm 1.5$  horas), con un promedio de 399 puntos por campaña. En todas las actividades de campo se consideraron y relevaron los principales cambios de pendiente, los cuales se interpretaron como indicadores de los cambios geomorfológicos más relevantes en el sistema.

Los datos de altimetría se utilizaron para la generación de MDEs de alta resolución para cada período de muestreo, los cuales sirvieron de insumos para los balances sedimentarios del sistema y la identificación de la zonificación de áreas de erosión y acreción en el sistema playa -duna. Dado el adecuado número de puntos relevados y su distribución espacial, se utilizó el Método de Redes Irregulares de Triángulos (TIN) como método de interpolación. En éste, el análisis de variabilidad topográfica se basa en la triangulación de un conjunto de vértices (puntos) conectados con una serie de aristas para formar una red de triángulos. Las entidades de entrada utilizadas para crear un TIN permanecen en la misma posición que los nodos o las aristas del TIN. Esto permite a un TIN conservar toda la precisión de los datos de entrada al mismo tiempo que modela los valores entre los puntos conocidos. Este método permite además incluir entidades tales como construcciones, carreteras y arroyos con alta precisión, incluyéndolos en entidades de entrada a los nodos del TIN. Los TIN se suelen utilizar para el modelado de alta precisión de áreas más pequeñas, como en aplicaciones de ingeniería, donde resultan útiles porque permiten realizar cálculos de área planimétrica, área de superficie y volumen. En resumen, el modelo TIN tiene varias cualidades de interés, no presupone ni exige la continuidad estadística de la superficie a representar, puede generarse incorporando una amplia variedad de estructuras auxiliares (selección de puntos críticos), se adapta a la complejidad del terreno, variando la densidad local de la red, y por último, respeta los valores de los datos que son usados como vértices (Olaya, 2014; Peucker *et al.*, 1978; Zeiler, 1999).

A partir de los diferentes MDEs se realizaron los cálculos de volúmenes de material presente en el sistema para cada muestreo. Para esto se cuantificó el volumen de arena contenido entre la superficie relevada y el nivel medio del mar (cota 0) en m<sup>3</sup>. Las variaciones volumétricas entre los diferentes relevamientos se calcularon utilizando algebra de mapas entre superficies consecutivas en el tiempo. Esta operación resume las áreas y los volúmenes de cambio con una operación de corte y/o relleno, y consiste en un procedimiento en el que la elevación de una superficie se modifica añadiendo o quitando materiales de superficie (I. ESRI, 1998). Al tomar superficies de una misma área medida en dos momentos diferentes, se identifican las regiones en donde disminuyó el material de superficie, en donde aumentó el material de superficie y donde no se modificó. El algoritmo utilizado para este procedimiento realiza una resta aritmética entre cada una de las celdas que conforman las superficies analizadas, para nuestro caso, la superficie inicial es la más antigua y la superficie final, la más reciente. La ecuación para calcular la variación volumétrica de sedimento es la siguiente:

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa- duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>

$$\Delta V_p = Z_{p(i-1)} - Z_{p(i)} \quad (1)$$

Donde  $\Delta V$  es la variación de volumen por unidad de mapeo  $p$  (pixel),  $Z_{p(i-1)}$  es el nivel topográfico del muestreo previo ( $i-1$ ) y  $Z_{p(i)}$  el nivel topográfico de la campaña consecutiva en el tiempo ( $i$ ).

A partir de este cálculo a nivel de pixel, se deducen las áreas donde el volumen es positivo ( $Z_{p(i-1)} - Z_{p(i)} > 0$ ), indicando procesos de erosión, por el contrario, el volumen es negativo ( $Z_{p(i-1)} - Z_{p(i)} < 0$ ), donde se depositó material, y es cero donde no se registró ningún tipo de cambio ( $Z_{p(i-1)} - Z_{p(i)} = 0$ ). Adicionalmente se generaron mapas categorizados que representan la frecuencia de los procesos de erosión o depositación y aquellas zonas donde es permanente un proceso u otro (es decir, zonas donde durante todas las mediciones predominó el proceso de erosión o de acumulación). Para ello se reclasificaron los mapas de variación de nivel topográfico en mapas binarios, siendo 1=presencia de proceso y 0=ausencia del mismo. Mediante álgebra de mapas se sumaron estos últimos, siendo 6 el valor máximo posible, indicando la ocurrencia continua del proceso en la zona. A su vez, se obtuvo la frecuencia de ocurrencia del proceso de erosión o acreción categorizando como de *baja frecuencia* cuando el proceso se presentó en al menos 1 ocasión, *media frecuencia* cuando se presentó entre 2 y 3 ocasiones y *alta frecuencia* cuando el proceso se dio en más de 3 ocasiones. El marco metodológico propuesto se visualiza en la Figura 2.

Con el objetivo de establecer el tipo de material sedimentario que compone el sistema dunar costero, se realizó un análisis granulométrico a través de tres perfiles en la zona. Para cada perfil se recolectaron 5 muestras, separadas por una distancia aproximada de 50 m, considerando tanto la zona de playa como la zona de dunas. El muestreo consistió en la extracción de material superficial con pala. Los análisis sedimentológicos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Sedimentología del Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Cada una de las muestras fue tamizada cada 0.5 PHI. La información sedimentológica se procesó con el programa GRADISTAT V8 (Blott & Pye, 2001). Este procedimiento permitió clasificar las arenas y obtener los parámetros estadísticos de selección, asimetría, curtosis, sugeridos por Folk y Ward (1957).

Los datos hidrometeorológicos (Precipitación, temperatura, humedad y dirección y velocidad del viento) para la zona de estudio fueron suministrados por la empresa Cooperativa Telefónica de Pinamar Ltda. (TELPIN), para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de marzo de 2017, a partir de una estación telemétrica completa que toma registros cada 10 minutos. Estos datos fueron procesados y analizados para establecer las condiciones hidrometeorológicas durante el periodo analizado.

A partir del análisis espacial basado en SIG de la información topográfica del mes de marzo de 2016 y en base a criterios que relacionan la pendiente y orientación del terreno, la altura topográfica y el grado de cobertura vegetal, se definieron áreas prioritarias para instalar dispositivos experimentales de entrapamiento de sedimentos. Los criterios a considerar fueron: 1. Pendiente del terreno  $\geq 3^\circ - \leq 6^\circ$ ; 2. Orientación de la pendiente: Dirección SE, S y SO) y 3. Altura topográfica  $\geq 2 - \leq 4$  msnm (metros sobre el nivel del mar). Adicionalmente, se consideraron los parches de vegetación existentes, relevados a partir de visitas de campo y GPS. Toda esta información fue

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa- duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>

analizada aplicando álgebra de mapas, convirtiendo cada uno de estos mapas en coberturas booleanas en donde el valor 0 se asigna si no se cumple el criterio y el valor 1 a zonas donde se cumple la condición. Posteriormente y en función del mapa de zonas prioritarias obtenido, se definieron los tipos de dispositivos a emplear, su orientación y material constructivo de los mismos.

Toda la información generada y recopilada se almacenó en un Sistema de Información Geográfica generado para este proyecto, utilizando para ello el sistema de coordenadas POSGAR\_1994 Argentina\_Zone\_6. Todo el procesamiento geoespacial se llevó a cabo utilizando la herramienta ArcGIS 10.2 (G. Esri, 2006).



**Figura 2. Marco metodológico basado en SIG propuesto para el estudio del sistema duna-playa.**

## 4. Resultados

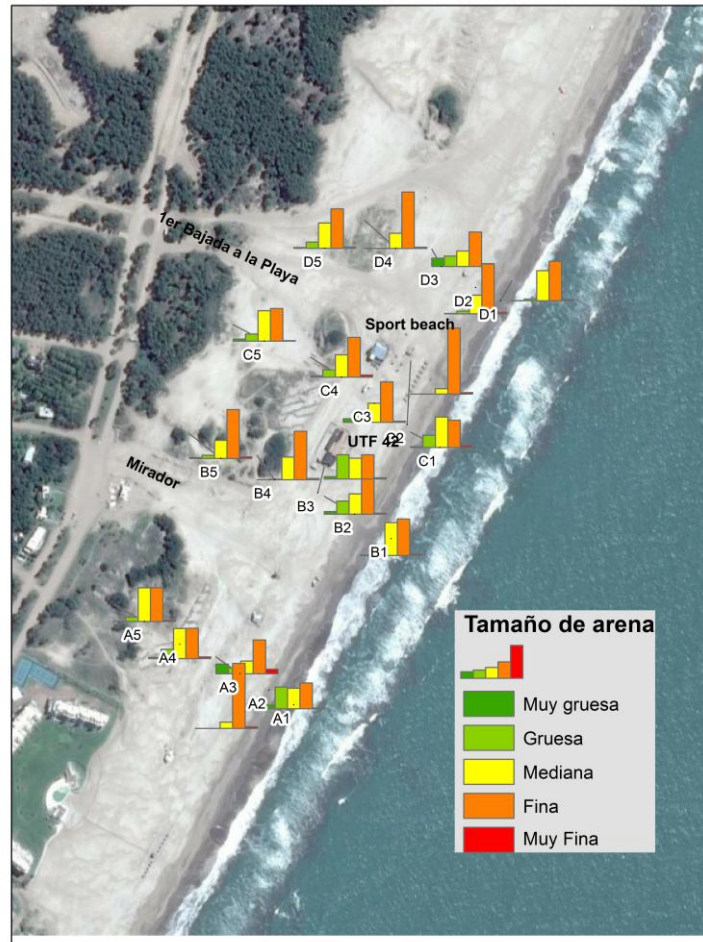
### 4.1 Análisis granulométrico

La figura 3 muestra la distribución espacial de los distintos tamaños de arena encontrados en los sitios muestreados. En forma general, para la zona de médanos, predomina la fracción de arena fina, con aumento de la fracción de arena media a medida que los muestreos se alejan de la línea de costa. Las muestra tomadas en la zona de playa, presentaron un componente importante de arena media, aunque con predominio en todos los casos de la fracción de arena fina. En los perfiles A y C, se puede observar un importante contenido de arena gruesa en la zona de playas. El 70% de las muestras se clasificaron como arenas medias, mientras que el 30% restante se clasificó como arenas



Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa- duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>

finas. Sólo dos muestras presentaron una pobre selección (A3 y D3), el resto de las muestras presentaron una buena o moderadamente buena selección.



**Figura 3.** Distribución de fracciones de arena en los diferentes sitios de muestreo.

#### 4.2 Balances volumétricos de sedimento y distribución espacial de procesos de erosión y acumulación

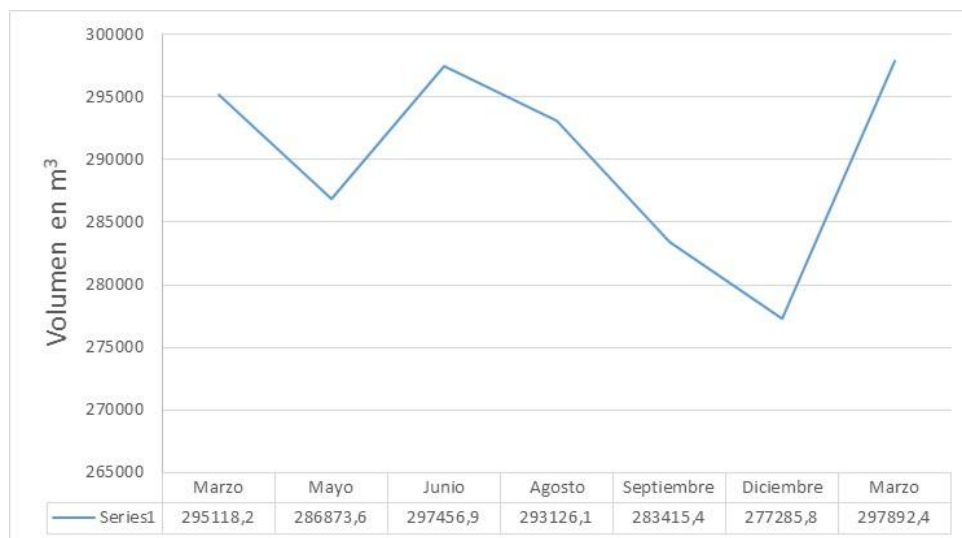
Los volúmenes de arena cuantificados para cada relevamiento se muestran en la Tabla 1, junto con el número de puntos relevados y las cotas máximas, mínimas y promedio. El análisis topográfico mostró que las menores cotas mínimas relevadas, asociadas a las zonas de playas, se obtuvieron en los meses de septiembre (-0,5 m), junio (-0,7 m) y diciembre (-0,8 m). Por el contrario, las mayores cotas máximas, coincidentes con las crestas de los médanos frontales, se registraron durante el mes de marzo con valores de 12,4 y 12,6 msnm para el año 2016 y 2017, respectivamente. Las variaciones en el volumen total de arena evidencian el dinamismo del sistema (Figura 4), dominando los procesos de acumulación durante los meses de marzo y junio, mientras que en los meses restantes los procesos de erosión predominaron en el sistema.

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa- duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>

**Tabla 1. Parámetros generales de los diferentes relevamientos topográficos efectuados y volumen total de arena calculado (Nivel de referencia, cota cero msnm).**

Período de análisis	Nro. puntos relevados	Volumen (m <sup>3</sup> )	Cota (msnm)		
			Máxima	Mínima	Promedio
Marzo (2016)	346	295118,2	12,4	0,2	4,46
Mayo (2016)	436	286873,6	12,6	0,0	4,45
Junio (2016)	611	297456,9	12,4	-0,7	3,66
Agosto (2016)	434	293126,1	11,0	-0,3	3,67
Septiembre (2016)	325	283415,4	9,3	-0,5	2,83
Diciembre (2016)	303	277285,8	9,3	-0,8	4,07
Marzo (2017)	340	297892,4	12,6	-0,5	3,12

Si se realizara un análisis general de este sistema considerando sólo un relevamiento al año, es decir, comparando los volúmenes cuantificados en marzo de 2016 y marzo de 2017, se concluiría el predominio del proceso de acumulación en el sistema dunar. Sin embargo, al considerar los relevamientos detallados, como un indicador de la dinámica del sistema, se observa que los volúmenes de arena son fluctuantes, variando entre 277285,8 m<sup>3</sup> y 297892,0 m<sup>3</sup>, presentando una clara tendencia a disminuir desde junio hasta diciembre. Dicha reducción en volumen es coincidente con la disminución en las cotas máximas determinadas tanto en los relevamiento de campo como en la interpolación de cada DEM. Esto sugiere que gran parte del volumen que sale del sistema, lo hace desde la parte alta de los médanos.



**Figura 4. Variación volumétrica del sistema playa-duna a lo largo del año de muestreo.**

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa- duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>

Los volúmenes de sedimento psamítico y las áreas asociadas a los procesos de erosión y depositación calculados entre las diferentes campañas de muestreo se visualizan en la Tabla 2. El volumen total de arena movilizada fluctuó entre 31079 m<sup>3</sup> y 77680 m<sup>3</sup>. La distribución espacial de los procesos de erosión y acumulación se observan en la Figura 5. Los datos obtenidos entre los meses de diciembre de 2016 y marzo del 2017, indican un incremento en el predominio del proceso de acumulación que permite la recuperación del sedimento erosionado durante los meses precedentes. En ningún caso se detectaron sitios sin cambio en el volumen de arena.

**Tabla 2. Variación de arena entre los diferentes relevamientos (Área expresado cómo % del área total de estudio; Volumen en m<sup>3</sup>).**

Meses	DEPOSITACIÓN		EROSIÓN		BALANCE
	Área %	Volumen	Área %	Volumen	Volumen
Mar – May 2016	42	14152.1	58	22609.4	-8457.3
May – Jun 2016	57	20071.1	43	11095.7	8975.4
Jun –Ago 2016	46	12656.0	54	18423.7	-5767.7
Ago – Sep 2016	39	15268.5	61	25553.3	-10284.8
Sept – Dic 2016	43	15535.4	57	25835.9	-10300.5
Dic 2016 – Mar 2017	73	32623.6	27	8212.7	24410.9

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa-duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>

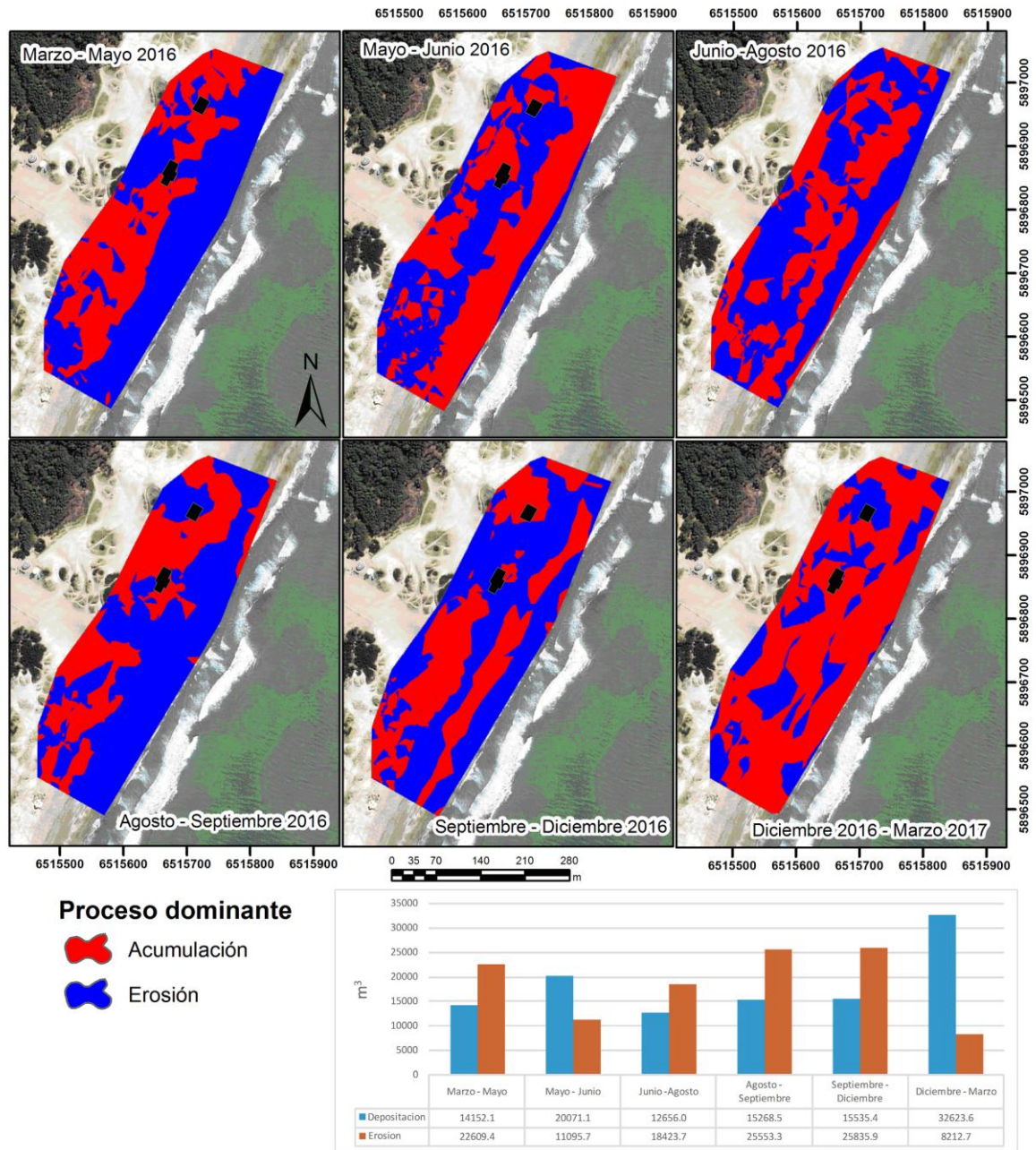
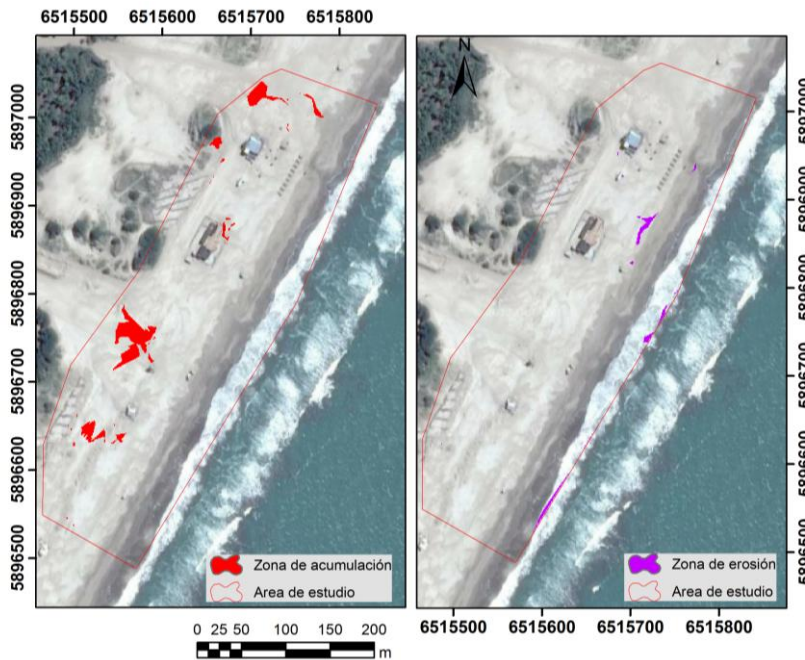


Figura 5. Variación espacial y volumen de arena movilizado entre los meses de marzo de 2016 y marzo de 2017.

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa-duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>

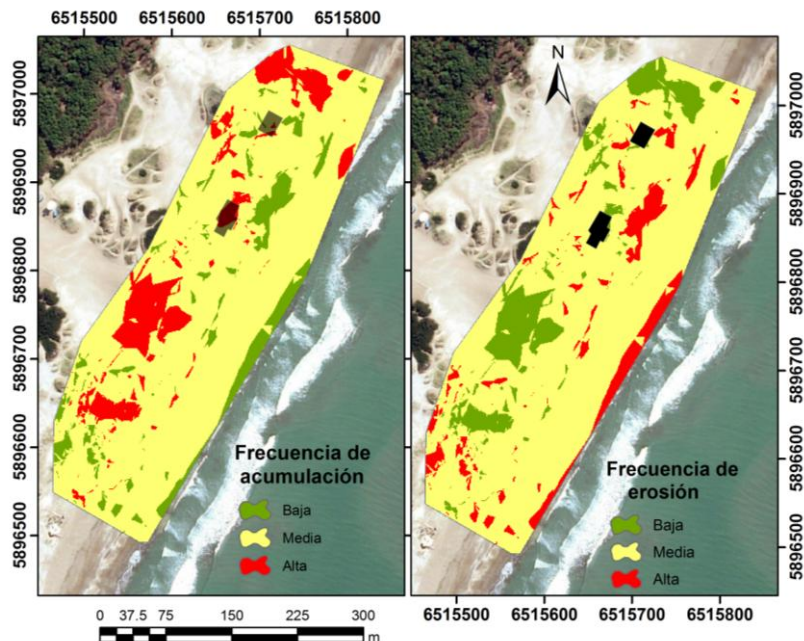
La Figura 6, muestra las zonas donde predominan a lo largo del año los procesos erosivos y de depositación. Para el primer caso, se cuantificó un área total de 488 m<sup>2</sup> asociada a zonas más cercanas a la línea de costa. Para el caso de las zonas de depositación permanente se cuantificó un área total de 2468 m<sup>2</sup>, siendo coincidentes en forma general con las partes más altas de las dunas.

Complementariamente se generaron mapas categorizados que representan la frecuencia de ocurrencia de los procesos de erosión o depositación (Figura 7). Para el caso de la erosión las zonas con mayor frecuencia se encuentran asociadas en forma general a la zona de playa, mientras que las zonas de acumulación son coincidentes con las zonas la cresta de las dunas principales.



**Figura 6. Mapas de acumulación y erosión permanente.**

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa- duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>

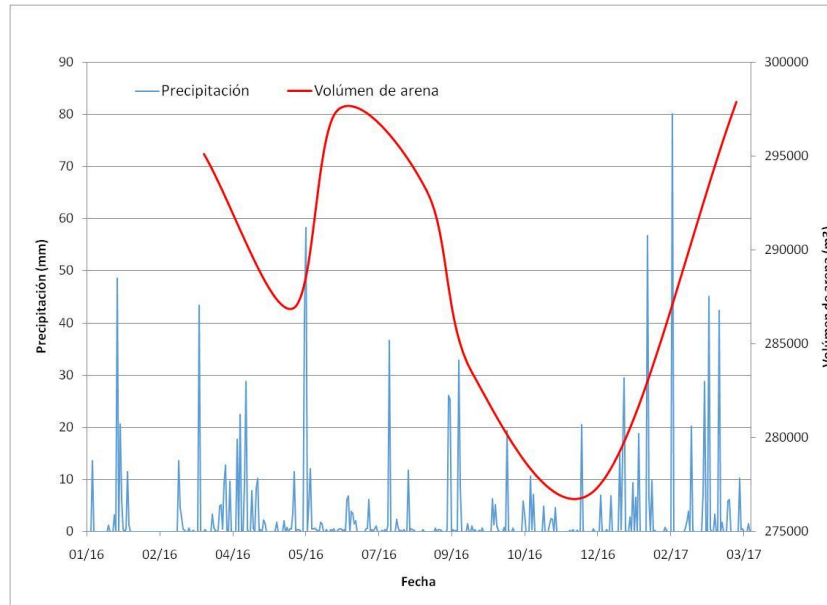


**Figura 7. Mapas de frecuencia de ocurrencia de los procesos de a) acumulación y b) erosión.**

#### 4.3 Influencia de variables hidrometeorológicas en la dinámica de sedimentos

Se evaluó la influencia de las principales variables hidrometeorológicas en los cambios de volumen de arena en el sistema relevado. En relación a la precipitación, el total de lluvia registrado para el año 2016 estuvo por debajo del valor promedio establecido para el Municipio de Pinamar, alcanzando los 738 mm; la lluvia se presentó en 150 días del año. El total de precipitación en el periodo analizado tuvo un valor de 1366 mm, con un valor máximo diario de precipitación de 80 mm. La Figura 8 muestra la distribución de la lluvia durante el período de muestreo considerado junto con el volumen de arena cuantificado en las diferentes campañas de muestreo. Se observó que los cambios positivos en el balance sedimentario (ocurrido en el verano del año 2017) se correlacionaron con un aumento en las lluvias, debido a que la humedad proveniente de las precipitaciones puede actuar como elemento de cohesión entre las partículas, dificultando el transporte eólico de los sedimentos psamíticos.

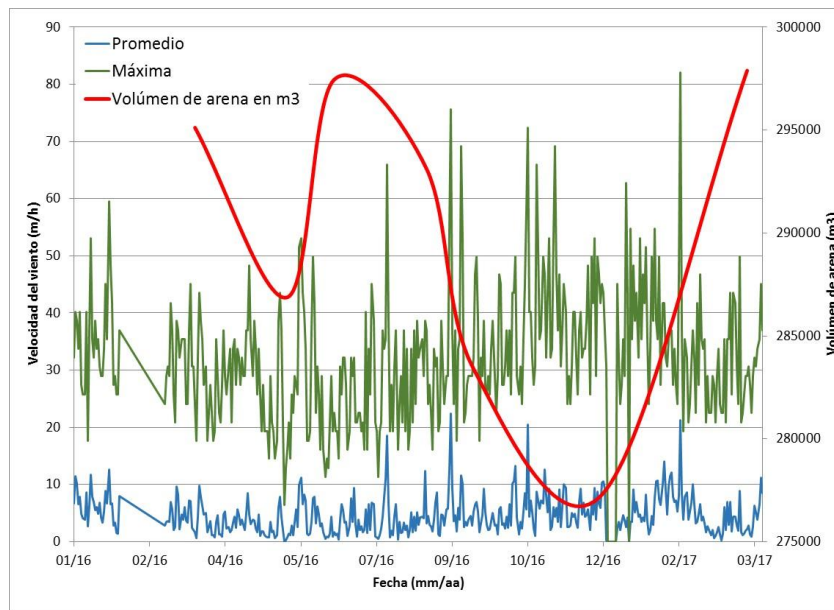
Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa- duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>



**Figura 8. Precipitaciones diarias y volumen de arena en el sistema dunar costero entre marzo 2016 y marzo 2017.**

Respecto al viento, el agente sedimentario que afecta de manera más constante a todo el sistema dunar costero, las direcciones diarias medias más frecuentes fueron hacia el SSO y NE, las cuales predominaron 53 y 52 días respectivamente. Los vientos con direcciones menos frecuentes fueron las provenientes desde el O y SO, durante 23 y 15 días respectivamente. La velocidad del viento alcanzó un valor máximo de 82,1 km/h, con un valor promedio de 32,4 km/h. La distribución temporal de las velocidades diarias máximas y medias junto con el volumen total de arena estimado en cada uno de los relevamientos en campo se visualizan en la Figura 9. El periodo donde el balance sedimentario se hace más negativo es coincidente con un periodo de registros altos de velocidad del viento (alcanzando los 70 km/h) durante los meses de octubre y noviembre del 2016, encontrándose el promedio de las máximas cerca de los 40 km/h, la dirección predominante de estos vientos es SSO, NNE, S y ESE. De igual manera, el periodo donde se presenta mayor acumulación de arena en el sistema es coincidente con el periodo donde las velocidades máximas del viento oscilaron alrededor de los 25 km/h y predominaron las direcciones E, NE y NNE.

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa- duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>



**Figura 9. Velocidades medias y máximas de viento (1 enero de 2016 -31 marzo 2017) – Volúmenes de arena total en sistema dunar costero.**

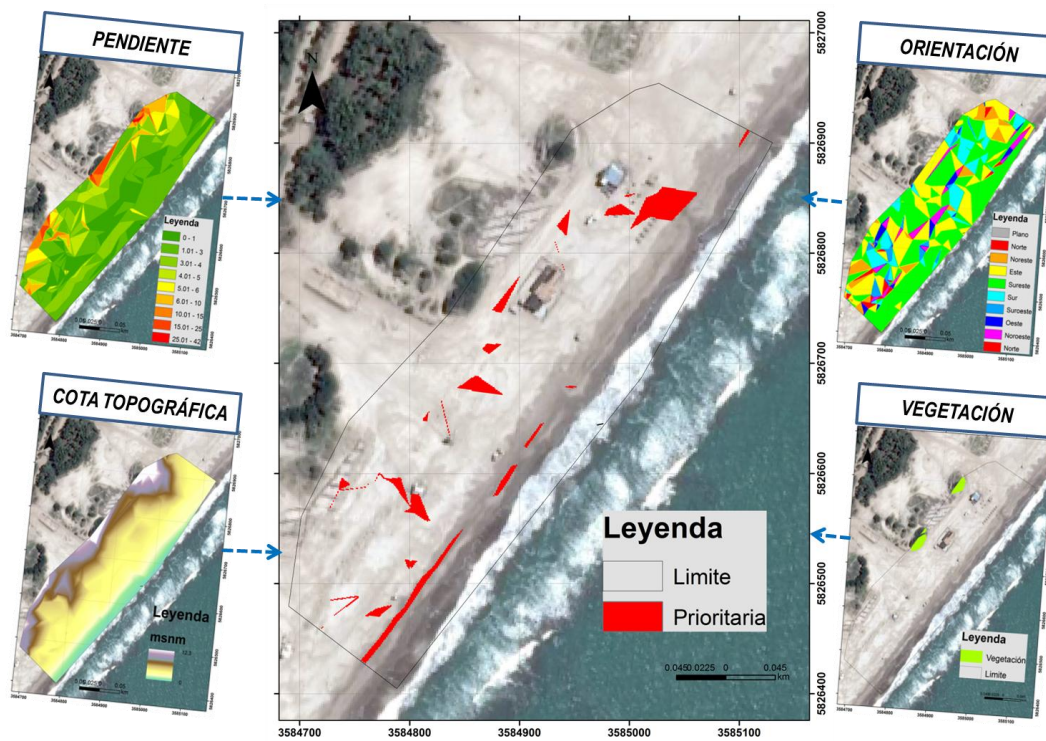
#### 4.4 Identificación de zonas prioritarias recomendadas para instalar dispositivos de acumulación de arena

Los proyectos de regeneración de dunas tienen su inicio con un estudio detallado de la evolución geomorfológica del sistema y de su uso a lo largo de las últimas décadas. Ese análisis preliminar es imprescindible para determinar la situación actual de los elementos ecológicos, geomorfológicos y de presión humana que actúan sobre el sistema (de Seoane *et al.*, 2007). De este modo, será posible diseñar con éxito las futuras fases de actuación que tengan como meta recomponer el sistema dunar alterado.

En base al análisis espacial de la información relevada del sistema y los criterios considerados, se generó el mapa de zonas prioritarias recomendadas para la localización de dispositivos de acumulación de arena (Figura 10). El 3,7 % del área bajo estudio corresponde a zonas prioritarias, las cuales requieren la implementación de alguna medida de mitigación de la erosión. Se evidencia la fragmentación del sistema dunar en pequeñas unidades aisladas y dispersas, con pérdida de estructuras de acumulación eólica, condición que acelera la degradación general. Las zonas coincidentes con los parches de vegetación representan barreras naturales de acumulación y, por lo tanto, no deben considerarse como zonas prioritarias. Estas zonas están restringidas a la cresta de las dunas.



Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa-duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>



**Figura 10. Mapa de zonas prioritarias recomendadas para la instalación de dispositivos de entrapamiento de sedimento.**

Las principales técnicas utilizadas mundialmente en la estabilización de las dunas son el enquinchado, el acolchado o mulching de paja y la siembra de especies herbáceas o forestales (de Seoane et al. 2007). Pueden implementarse por separado, aunque la siembra de herbáceas suele utilizarse habitualmente en combinación con dispositivos de enquinchados que les brindan protección. En este caso, se propone la utilización de enquinchados de dos tipos de materiales constructivos, malla de arpillera y tramado de ramas de álamo, material disponible abundantemente en las inmediaciones del lugar y que es metabolizado rápidamente por el sistema. Se sugieren dos disposiciones en el espacio, sentido SO-NE (en paralelo a la línea de dunas frontales) y O-E (enfrentados a 45 ° del frente de dunas frontales), las cuales derivan del mapa de zonas prioritarias generado. Se proponen construir barreras de 20 m c/u, con 1 m de altura promedio. Para interponer el dispositivo de entrapamiento de arena de modo efectivo, se recomienda que la primera barrera se localice inmediatamente al pie del médano o cambio brusco de pendiente. Se recomienda utilizar también vegetación autóctona como *Panicum racemosum* o *Spartina ciliata*, especies dominantes, ya que se evidenció en diversos puntos la capacidad de retención de sedimento contribuyendo a la estabilización de las dunas y al desarrollo del resto de las especies que forman la comunidad vegetal. Se sugiere la siembra de estas herbáceas separadas 0,40 m unas de otras y dispuestas en sentido SO-NE.

## 5. Discusión

El efecto de los procesos ambientales dominantes sobre la dinámica de las áreas costeras está asociado al desarrollo potencial del depósito sedimentario. Éste depende, entre otros factores, de las características de la unidad geomorfológica al que está asociado. Por otro lado, el desarrollo y morfología de los frentes costeros se relaciona de forma directa con las características del sedimento, tales como granulometría, forma, cohesión y densidad del grano de arena. Se considera que los diámetros de partículas menores aumentarán la fragilidad de la duna costera, ya que los sedimentos finos son más fácilmente transportados por el viento, y por lo tanto, favorecerán las pérdidas por deflación. La proximidad del nivel freático a la superficie en las depresiones interdunares aumenta la cohesión entre las partículas y dificulta el transporte eólico del sedimento, a la vez que favorece una mayor cobertura vegetal, disminuyendo la movilidad de las arenas y la pérdida sedimentaria del sistema.

En definitiva, la pérdida de superficie ocupada por elementos morfológicos de acumulación de arena así como la fragmentación del sistema dunar en pequeñas unidades aisladas y dispersas, modifica las condiciones ecológicas y geomorfológicas, acelerando la degradación y eliminación de las estructuras de acumulación eólica. En general, cuanto mayor sea el volumen de sedimento acumulado en el sistema dunar - costero mayor será la capacidad de absorción de impactos y más estable será el sistema. De igual manera, la deflación eólica de un volumen determinado de sedimento será más importante en sistemas de menor tamaño, ya que los efectos de la deflación aumentan con la fracción de material medanoso erosionado. Por ello, e independientemente de la tipología del frente costero, la longitud, altura y potencia de las dunas activas, se consideran variables determinantes de la capacidad amortiguadora del sistema ante los efectos erosivos marinos y eólicos (de Seoane *et al.*, 2007). Conocer las condiciones geomorfológicas y sedimentológicas es el primer paso para establecer las características del sistema de médanos costeros y tratar de entender su funcionamiento y vulnerabilidad. En este sentido los resultados obtenidos en este trabajo permiten evidenciar la evolución temporal del sistema duna-playa con una resolución espacial de 1 m en dos y tres dimensiones, cuantificando los cambios volumétricos del sistema y la evolución de los mismos en el tiempo. Además, se pudieron establecer las zonas donde predominaron los procesos de acumulación y de erosión, obteniendo la frecuencia de los mismos.

La identificación de las áreas de erosión y depositación continua y la frecuencia de estos procesos, junto con la información derivada del procesamiento de la topografía relevada deben ser utilizadas para implementar medidas de gestión del sistema costero que propendan a su recuperación o mantenimiento. Si bien se propone el montaje de dispositivos de enquinchado específicos con una disposición particular, es necesario realizar un monitoreo de estas barreras artificiales, de manera de evaluar su eficacia en la recomposición del sistema dunar. Deben considerarse los comportamientos de acumulación en función de los tipos de materiales utilizados, permeabilidad y orientación de las barreras. A su vez, la utilización de especies vegetales autóctonas de manera complementaria a los enquinchados debe monitorearse y así evaluar su adaptación y su eficacia como efecto barrera.

Si bien en términos generales se puede inferir un predominio de los procesos de acumulación, en concordancia con lo definido para la zona por Bertola (2006), el seguimiento periódico permitió establecer épocas, zonas y volúmenes negativos en el balance sedimentario. De este modo, mientras

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa- duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>

---

que al final del verano pudo cuantificarse la recuperación de la arena perdida durante otras estaciones, en el análisis temporal se evidencia la gran dinámica de todo el sistema, ya que no existen áreas donde no se hayan presentado cambios volumétricos.

En la aplicación de esta metodología debe considerarse que la precisión de las estimaciones volumétricas a partir de los DEM, está directamente relacionada con la sumatoria de la incertidumbre que surge, entre otros factores, por la calidad del punto de muestreo (precisión del instrumento), la estrategia de relevamiento en campo (separación y distribución entre puntos), composición de superficie (cambios en tipo de suelo), complejidad topográfica (cambios de pendiente) y métodos de interpolación (Wheaton *et al.*, 2010). Adicionalmente, al procesar los DEM para calcular los cambios volumétricos, la incertidumbre es aditiva debido a la comparación de los DEM con su propia incertidumbre individual. Pese a esto, la metodología planteada en este trabajo presenta ventajas sobre la metodología de generación de perfiles longitudinales mediante el uso de teodolitos o estaciones totales. Dicho método aunque puede presentar buenas precisiones, solo proporciona datos en vistas 1-D y no proporciona un mapa de contorno, lo que dificulta el mapeo de datos espaciales. La metodología de perfiles longitudinales también suele presentar dificultades al momento de elegir un transecto que sea lo suficientemente representativo de la playa en su vecindad local (Mason *et al.*, 2000). El cálculo de volúmenes utilizando dicha metodología sugiere una mayor incertidumbre ya que el proceso de interpolación infiere una mayor cantidad de puntos y no considera cambios morfológicos más allá de los incluidos en cada uno de los perfiles. Sherman y Hotta (1990), señalan que los cálculos de volumen realizados en base a transectas no representa las variaciones de micro a mesoescala porque no tienen en cuenta cambios presentes a lo largo de la costa. Adicionalmente, sostienen que en cierto sentido, es una medida estática de un sistema de dunas en el sentido de que solo muestra la forma característica general.

Con respecto a las otras metodologías usuales en la realización de este tipo de relevamientos (fotografías aéreas, imágenes de satélite, radares, imágenes LIDAR ), los costos excesivos, escalas de trabajo y precisión resultan ser las principales desventajas de su aplicación (Andrews *et al.*, 2002). Un caso particular lo ocupa la tecnología de los vehículos aéreos no tripulado (drones), los cuales permiten a un bajo costo realizar relevamientos topográficos detallados con muy alta precisión. Como principal desventaja, de este tipo de herramientas surge el alto costo computacional que requieren para su post-procesamiento. Desventaja que cada vez es más pequeña debido al avance tecnológico actual.

## 6. Conclusiones

El factor eólico es el responsable directo, junto con el factor marino, del modelado del sistema dunar-costero. La morfología y dinámica de las estructuras de acumulación eólica van a depender en forma directa de la disponibilidad de arena susceptible a ser transportado y de la textura de la superficie. Así, arenas de menor tamaño, aumentarán la susceptibilidad del sistema ya que requerirá umbrales más pequeños de energía eólica para ser movilizados. En este sentido, las arenas medias y finas que conforman el sistema analizado en este trabajo, hacen al mismo altamente susceptible a procesos de deflación. De manera general, cuanto mayor sea el volumen del sedimento acumulado en el sistema dunar-costero mayor será la capacidad de absorción de impactos, siendo

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa- duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>

---

así más estable el sistema, y así, la deflación eólica de un volumen determinado de sedimento será más importante en sistemas de menor tamaño, ya que los efectos de la deflación aumentan con la fracción de material dunar erosionado. Puede considerarse que acorde a las mediciones realizadas durante un año y a la fluctuación de los volúmenes, en términos generales el sistema es constante entre las mediciones iniciales y finales, pese a presentar disminuciones entre los meses de julio y diciembre. Con estos datos en consideración y teniendo en cuenta que solo se han realizado mediciones por un año, se recomienda reforzar las tareas de atrapado de arena entre los meses de marzo y junio, ya que es durante estos meses que se presentan los mayores volúmenes en el sistema.

La fragmentación del sistema dunar en pequeñas unidades aisladas y dispersas, modifica las condiciones ecológicas-geomorfológicas, acelerando la degradación y eliminando las estructuras de acumulación eólica ya que promueven la formación de pasillos de deflación, que acentúan los efectos erosivos eólicos. Acorde a lo anterior, y en pro de recuperar el sistema, se recomienda la ubicación de estructuras de acumulación en zonas cercanas al médano principal y/o en zonas de división intermediana con el objetivo de unificar las diferentes geoformas. Esto permitirá aumentar el tamaño del médano principal en lugar de crear pequeñas dunas embrionarias dispersas de poca entidad previas al médano principal.

Es necesario continuar con estudios detallados de los elementos físicos e hidroclimatológicos que conforman dicho ecosistema, así como procesos y relaciones que los mantiene en el espacio y en el tiempo (procesos geomorfológicos y ecológicos). Un elemento importante y del cual carece la zona de estudio es una medición continua de la velocidad y dirección del viento en superficie, esto podrá mejorar el análisis de la dinámica del sistema. De igual manera no se cuenta con equipamiento que permita cuantificar el comportamiento de las olas, lo cual es un elemento esencial para estimar la relación entre estas y los procesos de transporte de material en el sistema duna-playa.

## Referencias bibliográficas

- Adhikari, M.D., Maiti, S., Patra, S., Jana, A., Maiti, S.K. and Sengupta, A. (2016): GIS based beach sand budget analysis through seasonal beach profiling using cartographic techniques, *Modeling Earth Systems and Environment*, 2 (2), 74.
- Andrews, B., Gares, P.A. and Colby, J.D. (2002): Techniques for GIS modeling of coastal dunes, *Geomorphology*, 48 (1-3), 289-308.
- Anfuso, G., Del Pozo, J. (2005): Towards management of coastal erosion problems and human structure impacts using GIS tools: case study in Ragusa Province, Southern Sicily, Italy, *Environmental Geology*, 48 (4-5), 646.
- Anfuso, G., Del Pozo, J. (2009): Assessment of coastal vulnerability through the use of GIS tools in South Sicily (Italy), *Environmental Management*, 43(3), 533-545.
- Anfuso, G., Del Pozo, J., Nachite, D., Benavente, J., Macias, A. (2007a): Morphological characteristics and medium-term evolution of the beaches between Ceuta and Cabo Negro (Morocco), *Environmental Geology*, 52(5), 933-946.

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa-duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>

---

Anfuso, G., Dominguez, L., Gracia, F. (2007b): Short and medium-term evolution of a coastal sector in Cadiz, SW Spain, *Catena*, 70 (2), 229-242.

Anthony, E.J., Vanhee, S., Ruz, M.-H. (2006): Short-term beach-dune sand budgets on the north sea coast of France: Sand supply from shoreface to dunes, and the role of wind and fetch, *Geomorphology*, 81(3-4), 316-329.

Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C., Silliman, B.R. (2011): The value of estuarine and coastal ecosystem services, *Ecological monographs*, 81(2), 169-193.

Bertola, 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.

Crowell, M., Leatherman, S.P., Buckley, M.K. (1993): Shoreline change rate analysis: long term versus short term data. *Shore and Beach*, 61(2), 13-20.

de Seoane, C.L.V., Fernández, J.B.G., Pascual, C.V. (2007): Manual de restauración de dunas costeras, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Costas, España, 251 pp.

Eamer, J.B., Walker, I.J. (2013): Quantifying spatial and temporal trends in beach-dune volumetric changes using spatial statistics. *Geomorphology*, 191, 94-108.

El Banna, M.M., Frihy, O.E. (2009): Natural and anthropogenic influences in the northeastern coast of the Nile delta, Egypt. *Environmental Geology*, 57(7), 1593-1602.

ESRI (2006): Mapping Software. ArcGIS: <http://www.esri.com/software/arcgis>.

ESRI (1998): Working with the Arcview Spatial Analyst.

Gares, P.A., Wang, Y., White, S.A. (2006): Using LIDAR to monitor a beach nourishment project at Wrightsville Beach, North Carolina, USA. *Journal of Coastal Research*, 1206-1219.

Heslenfeld, P., Jungerius, P., Klijn, J. (2008): Coastal dunes, pp. 335-351, Springer.

Hill, H.W., Kelley, J.T., Belknap, D.F., Dickson, S.M. (2004): The effects of storms and storm-generated currents on sand beaches in Southern Maine, USA. *Marine Geology*, 210(1-4), 149-168.

Isla, F., Cortizo, L.C., Turno Orellano, H.A. (2001): Dinámica y evolución de las barreras medianosas, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Geomorfología*, 2(1), 73-83.

Mason, D., Gurney, C. and Kennett, M. (2000): Beach topography mapping-a comparison of techniques. *Journal of Coastal Conservation*, 6(1), 113-124.

Merlotto, A., Bertola, 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.

Olaya, V. (2014): *Sistemas de información geográfica*. Un libro libre de Víctor Olaya. [Consulta: 30-11-2018]. Disponible en <http://volaya.github.io/libro-sig/>

Pagán, J.I., Aragonés, L., Tenza-Abril, A.J., Pallarés, P. (2016): The influence of anthropic actions on the evolution of an urban beach: Case study of Marineta Cassiana beach, Spain. *Science of the Total Environment*, 559, 242-255.

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., González, F., Cermelo, L., Dalto, C. (2019): "Metodología SIG para el análisis de la dinámica, monitoreo y remediación de un sistema playa- duna del sudeste bonaerense, Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n° 24, p.77-97. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.631>

---

Parker, G. (1979): Geología de la planicie costera entre Pinamar y Mar de Ajó, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 34(3), 167-183.

Peucker, T.K., Fowler, R.J., Little, J.J., Mark, D.M. (1978): The triangulated irregular network, American Society of Photogrammetry, *Proc. Digital Terrain Models Symposium*, Vol. 516, p.p. 532,

Portz, L., Jardim, J., Manzolli, R., Gruber, N. (2016) Impacts on the dunes system: natural dynamic versus anthropogenic interference. *Ambiente & Sociedade*, 19(3), 135-154.

Rosati, J.D. (2005): Concepts in sediment budgets. *Journal of Coastal Research*, 21(2), 307-322.

Santa Cruz, J., Busso, A.S. (2001): Elementos hidrodinámicos para la explotación sostenible de acuíferos en cordones de dunas en la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Boletín geológico y minero*, 112(4), 97-105.

Sherman, D.J. and Hotta, S. (1990): Aeolian sediment transport: theory and measurement. *Coastal Dunes: form and process*. K.F. Nordstrom, N.P. Psuty, R.W.G. Carter (Eds.), Coastal Dunes: Form and Process, John Wiley, Chichester, pp. 17-37.

Taaouati, M., Nachite, D., Benavente, J., Elmrini, A. (2011): Seasonal changes and morphodynamic behavior of a high-energy mesotidal beach: case study of Charf el Akab beach on the North Atlantic coast of Morocco. *Environmental Earth Sciences*, 64(5), 1225-1236.

Teruggi, M., Chaar, E., Remiro, J., Limousin, T. (1959): Las arenas de la costa de la provincia de Buenos Aires entre cabo San Antonio y Bahía Blanca. Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas (LEMIT), Serie 2, 1-37.

Wheaton, J.M., Brasington, J., Darby, S.E., Sear, D.A. (2010): Accounting for uncertainty in DEMs from repeat topographic surveys: improved sediment budgets. *Earth surface processes and landforms: the journal of the British Geomorphological Research Group*, 35(2), 136-156.

Zeiler, M. (1999): Modeling our world: the ESRI guide to geodatabase design, ESRI, Inc.

