



Riesgo geomorfológico de médanos migrantes: minimización mediante la extracción de áridos en Arenas Verdes, municipio de Lobería (Buenos Aires)

Reomorphological risk of migrant dunes: minimization through the extraction of aggregates in Arenas Verdes, Lobería (Buenos Aires)

Bertola, G. R.^{1, 2, ✉} - Farenga, M.¹ - Taverna, B.^{1, 3} - Antenucci, D.² - del Río, J. L.¹

Recibido: 8 de abril de 2021 • Aceptado: 22 de septiembre de 2021

Resumen

La localidad de Arenas Verdes es actualmente el único asentamiento turístico costero desarrollado en el partido de Lobería (Buenos Aires, Argentina). Se ubica sobre la Barrera Medanosa Austral, una de las cuatro que posee la provincia de Buenos Aires. Desde hace unas décadas, médanos barjanoides avanzan en dirección a la urbanización obliterando lotes y calles.

El objetivo del trabajo fue aportar al municipio un instrumento de gestión que le posibilitará desarrollar procedimientos de recuperación de los terrenos soterrados por los médanos migrantes, mediante una política minera compatible con una gestión activa y ambientalmente sostenible, y con una mínima afectación de los ecosistemas costeros y de playa. Para lograr esto, se realizaron estudios cartográficos y con drone que determinaron la cantidad de predios afectados, así como la velocidad de avance de los frentes de médano. También se calculó la tasa de transporte eólico y se cubió las arenas extraíbles, estimado la tasa máxima de extracción en función de ese transporte. Finalmente, se propusieron estrategias de manejo que eviten el avance de los médanos sobre la urbanización, orientando la actividad de la industria minera y a su vez, minimizar los efectos adversos antrópicos sobre el ecosistema medanoso.

Se concluye que en esta zona hay médanos activos progradantes que compromete las construcciones urbanas establecidas

en la localidad. Para evitar este impacto, se propuso que sean exclusivamente las caras de sotavento las únicas que se exploten, siempre bajo estrictos criterios de sostenibilidad. De ese modo la vida útil del yacimiento será prolongada en función de la captación del material que se encuentra en tránsito, siempre que la actividad minera extraiga la misma cantidad de arena que entra al sistema.

Por la larga tradición de esta actividad en el Partido de Lobería, asegurar la disponibilidad de arena es muy

1. Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (Universidad Nacional de Mar del Plata-CIC) - Funes 3350, (7600) Mar del Plata, Argentina

✉ gbertola@mdp.edu.ar

2. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (CONICET-UNMdP)

3. Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires (CIC-PBA).

importante para abastecer el desarrollo urbano y de infraestructura local y regional. Una adecuada gestión se traduce en una utilización racional y sustentable de los mismos, minimizando el riesgo de la pérdida de ambientes por la actividad antrópica.

Palabras Clave: Explotación - Áridos - Geomorfología - Médanos - Buenos Aires.

Abstract

The town of Arenas Verdes is currently the only coastal tourist settlement developed in the Lobería district (Buenos Aires, Argentina). It is located on the Barrera Medanosa Austral, one of the four in the province of Buenos Aires. For a few decades, barjanoid dunes have been advancing towards the urbanization, obliterating lots and streets.

The objective of the work was to provide the municipality with a management tool that will enable it to develop procedures for the recovery of the land buried by migrant dunes, through a mining policy compatible with active and environmentally sustainable management, and with minimal impact on coastal ecosystems and beach. To achieve this, cartographic and drone studies were carried out that determined the number of affected properties, as well as the speed of advance of the dune fronts. The wind transport rate was also calculated and the extractable sands were cubed, estimating the maximum extraction rate based on this transport. Finally, management strategies were proposed to prevent the advance of the dunes over urbanization, orienting the activity of the mining industry and, in turn, minimizing adverse anthropic effects on dune ecosystem.

It is concluded that in this area there are active prograding dunes that compromise the urban constructions established in the locality. To avoid this impact, it was proposed that only the leeward faces be exploited, always under strict sustainability criteria. In this way, the useful life of the deposit will be prolonged depending on the capture of the material that is in transit, as long as the mining activity extracts the same amount of sand that enters the system.

Due to the long tradition of this activity in the Lobería district, ensuring the availability of sand is very important to supply urban development and local and regional infrastructure. Proper management translates into a rational and sustainable use of them, minimizing the risk of loss of environments due to anthropic activity.

Keywords: Exploitation - Aggregates - Geomorphology - Dunes - Buenos Aires.

INTRODUCCIÓN

Los médanos de la costa atlántica bonaerense son geoformas móviles cuando hay abundante suministro de sedimento y baja cobertura vegetal. En este sistema dinámico, el paisaje puede también entenderse como un sistema ecológico en constante cambio natural, que evoluciona en una escala de tiempo humana y con marcadas diferencias microambientales que le confieren distintas condiciones ecosistémicas a cada porción de la duna según el nivel de cobertura vegetal que posee, duna viva, duna semifija y duna fija (Stallins y Parker, 2003; Monserrat, 2010). Desde mediados del siglo XX este sistema ha sido intervenido por el hombre con el desarrollo de asentamientos humanos, minería, turismo y otras actividades conexas (del Río et al., 2018). Por otro lado, los áridos son las principales materias primas para la construcción urbana, desarrollo de infraestructuras e industrias, lo que le confiere un carácter de material estratégico para el desarrollo de una región (Ayala Carcedo et al., 1999). Esos áridos, que pueden tener diferentes tamaños granulométricos (desde gravas a arena mediana) han sido obtenidos de diferentes orígenes como fluviales, costeros, fósiles u offshore, cada uno de esos materiales con costos de extracción y tecnología muy diversas (Wilburn y Goonan, 1998; Al-Ansary et al., 2012; Koirala y Joshi, 2017).

En el litoral marino del partido de Lobería, y específicamente la localidad de Arenas Verdes, los principales factores que impactan en la costa son la urbanización, la forestación, la traza de los caminos costaneros, la circulación de vehículos por médanos y playas, y la extracción de arenas de los médanos

costeros (Aguilar, 2009). La alta movilidad de la faja medanosa en la trama urbana de Arenas Verdes (villa balnearia del partido de Lobería, Figura 1), ha generado un escenario de riesgo geomorfológico sobre el sector urbano de la localidad. El frente de los médanos ha tenido un avance sostenido sobre el ejido urbano provocando la pérdida de un número apreciable de lotes con el consecuente perjuicio económico tanto a los poseedores privados como al erario público y molestias a sus habitantes.

Despejar estas parcelas y mantenerlas libres de arena, obligaría tanto al municipio como a los particulares a una intervención constante y mayores erogaciones. Una adecuada planificación territorial que contemple una gestión minera de intensidad controlada, podría reducir significativamente los costos de recuperación y mantenimiento del sector urbano.

El objetivo del trabajo fue aportar al municipio un instrumento de gestión que le posibilitará desarrollar procedimientos de recuperación de los terrenos soterrados por los médanos migrantes, mediante una política minera compatible con una gestión activa y ambientalmente sostenible, y con una mínima afectación de los ecosistemas costeros y de playa. Para lograr esto, se realizaron estudios topoaltimétricos que determinaron la cantidad de predios afectados, la velocidad de avance de los frentes de médano, se calculó la tasa de transporte eólico y se cubicaron las arenas extraíbles. Finalmente, se propusieron estrategias de manejo que eviten el avance de los médanos sobre la urbanización, orientando la actividad de la industria minera y a su vez, minimizar los efectos adversos antrópicos sobre el ecosistema medanoso.

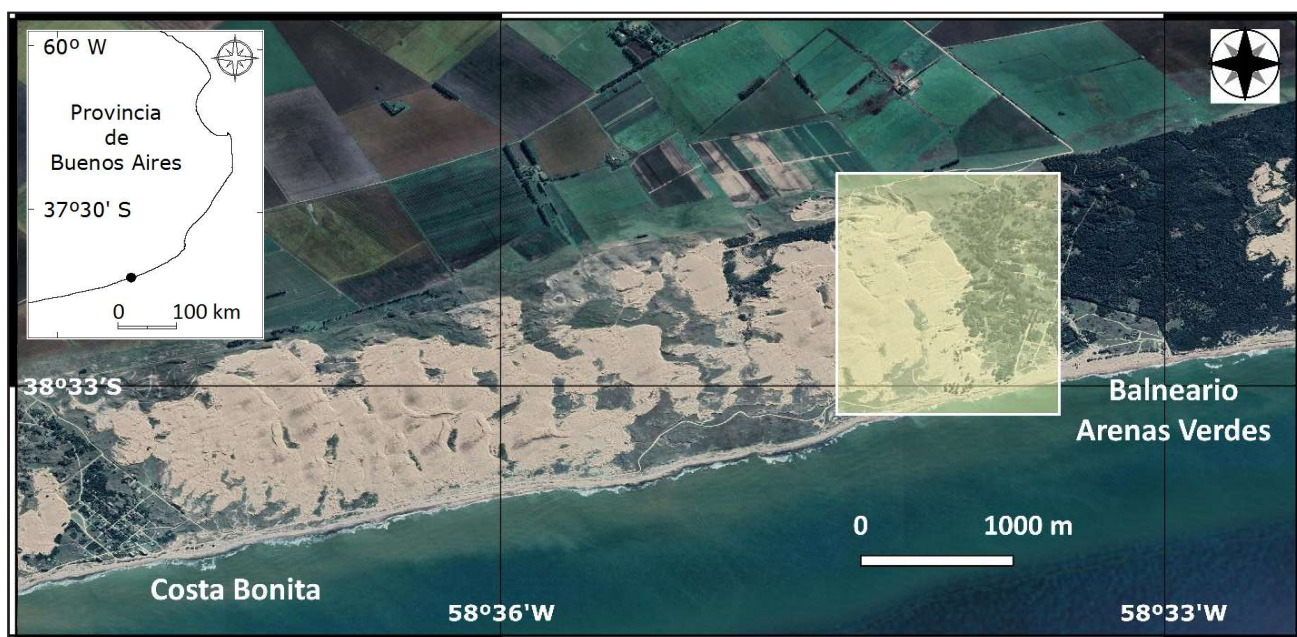


Figura 1. Mapa de ubicación del área de trabajo.

ANTECEDENTES

Las barreras medanosas son ecosistemas complejos y frágiles que articulan los espacios marino-costeros con los continentales. Al mismo tiempo, estos médanos son el soporte de otras actividades económicas como usos residenciales y turísticos. En muchos países las extracciones de áridos naturales de la playa y del médano frontal se encuentran prohibidas, algo que también ocurre en nuestro país, sin embargo para arena de médanos litorales no hay restricciones. Está comprobado que tras una intensa extracción en la playa, el proceso erosivo costero aún persiste varios años después del cese de la misma (Marcomini y López, 2006) indicando una superación de la resiliencia natural y la máxima vulnerabilidad del sistema de médanos costeros (Borges et al., 2002). Sucesivos trabajos han demostrado que la minería no supervisada en estos sitios, conducen irrevocablemente a la degradación ambiental, pérdida de la belleza escénica, radiación de sus minerales componentes, contaminación por polvo, generación de ruido y estropean las carreteras y otras estructuras (López y Marcomini, 2002; Pitchaiah, 2017).

En la provincia de Buenos Aires cuya franja costera está caracterizada por la presencia de cuatro grandes cordones medanosos (Figura 2), la minería de arenas de médanos es una actividad lícita. Caballé y Bravo Almonacid (2006) expresan: "En sectores donde existe suficiente acumulación, es posible realizar explotación controlada de arena de playa sin alterar el equilibrio es decir, asegurando la reposición sedimentaria de modo tal que el recurso se renueve. La excesiva acumulación de arena también puede generar problemas urbanos", aunque para el ciudadano común, es una actividad fuertemente rechazada (Camino et al., 2011).

En los municipios costeros de la provincia de Buenos Aires una parte muy significativa de los áridos que se consumen proviene de la explotación de las arenas de médanos litorales de las Barreras Oriental (del Río et al., 2017), Austral y de Patagones (Figura 2). El municipio de Lobería es uno de esos

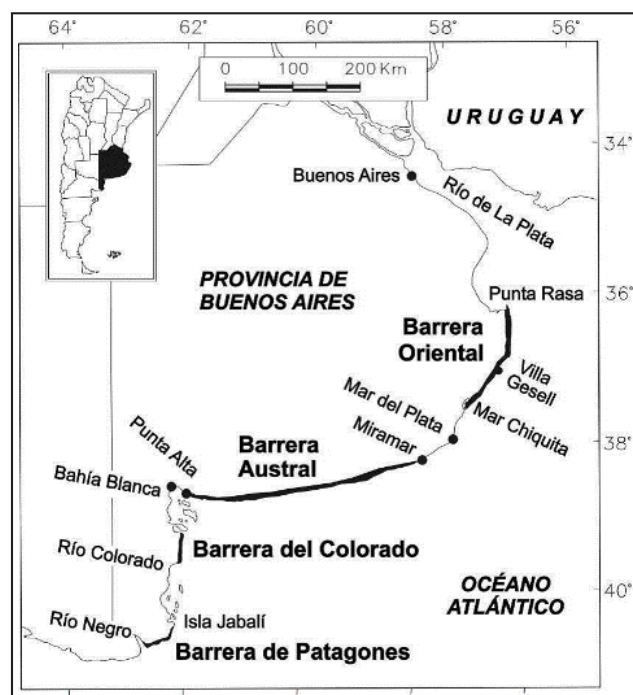


Figura 2. Buenos Aires y sus Barreras Medanosas (Bértola et al., 2020).

15 municipios, en las cuales se desarrollan distintas actividades antrópicas, como la urbanización, forestación, turismo de sol y playa, ganadería y actividades mineras extractivas (del Río et al., 2017; Bértola et al., 2018). Esta multiplicidad de usos territoriales, conlleva un desafío para la gestión en estos sistemas de marcada dinámica económica (Taverna et al., 2018).

Características climáticas y fitogeográficas del área de estudio

El clima general de la región es templado de transición, con influencia oceánica. Las temperaturas máximas oscilan entre los 20°C y los 24°C en promedio. Presenta un régimen de lluvias más intensas en primavera y verano, pero la media anual se encuentra en el rango de los 800 mm. Los vientos alcanzan sus mayores velocidades promedio durante los meses de primavera con 19 m/s, y las mayores fluctuaciones y ráfagas ocurren durante el otoño/invierno. Si bien los más frecuentes son los del Norte, los del Sud-Sudoeste son los que alcanzan mayores velocidades superando los 6 m/s (Aguilar, 2009), siendo los más significativos para el transporte de arenas finas.

Desde el punto de vista fitogeográfico, el área se encuentra incluida dentro de la Provincia Fitogeográfica Pampeana, Dominio Chaqueño de la Región Neotropical (Cabrera, 1976) o Pampa Austral, correspondiente a los pastizales del Río de la Plata (Soriano, 1991). Las comunidades presentes en todas las barreras medianosas presentan un fuerte hábito psammófilo. Sin embargo, los componentes vegetales que conforman las comunidades de la Barrera Austral, encuentran a sus comunidades intervenidas por los elementos provenientes de las provincias fitogeográficas del monte y patagónica en consonancia con el Monte-Espinal (Celsi y Monserrat, 2008). La fisonomía vegetal predominante de estos médanos son los pastizales y en Arenas Verdes se encuentra la gramínea *Spartina ciliata* como principal especie colonizadora. Por otra parte, la especie *Poa lanuginosa* y los pastos del género *Panicum* son los que caracterizan las comunidades establecidas en los médanos fijos y semifijos de la misma área (Celsi, 2009). Esta componente florística es la responsable primaria de la fijación natural de estos médanos costeros, sin embargo, estas especies se encuentran también acompañadas por otras herbáceas como *Solidago chilensis*, *Achyrocline satureioides*, *Senecio bergii* y *Adesmia incana* (Celsi y Athor, 2016). En la zona estrictamente urbana, la vegetación natural ha sido reemplazada por especies forestales exóticas.

Características geológicas y geomorfológicas

La Barrera Medianosa Austral posee una extensión lineal de 390 km, y una superficie del orden de 142.904,87 ha, en una traza continua desde la localidad de Miramar hasta la de Punta Alta (Bértola et al., 2020). La zona posee playas abiertas y están compuestas por una mezcla de sedimentos arenosos y gravosos. Los acantilados que existen en la zona, están conformados por sedimentitas continentales pleistocenas. Cortizo e Isla (2007) mencionan que esos médanos se emplazaron tempranamente sobre una planicie levemente ondulada labrada en sedimentos continentales pampeanos y postpampeanos, con una edad de 5.740±110 años.

La zona costera de Lobería es un mosaico complejo de médanos móviles, semi-móviles y estabilizados (forestados y vegetados), que intercalan con sectores de acantilados y playas de reducida expresión. Entre los médanos vivos, fuertemente móviles, predominan los transversales y barjanoides orientados N-S de más de 30 m de altura, con crestas retrabajadas en dirección E-O que migran en dirección al Noreste (Teruggi et al., 2004). Por el propio accionar diferencial del viento en saltación, se genera un movimiento de arena más lento a sotavento y consecuente sedimentación, de este modo se aprecia que las pendientes de barlovento y la de sotavento son distintas, pudiendo alcanzar entre 30° y 35° las de sotavento y de 5° o 6° las de barlovento, originando un perfil de médano marcadamente asimétrico (Figura 3).

En relación a la tasa de transporte subaéreo hay una extensa bibliografía a nivel mundial (Hesp y Hyde, 1996; Hesp, 1999; Ellis y Sherman, 2013; Guimaraes et al., 2016) donde estiman la capacidad de reformación del médano. Bauer y colaboradores (2009) expusieron la importancia de la humedad de la arena en estas experiencias y Durán y Moore (2013) relacionaron el volumen de arena acumulado (o sea el tamaño del médano) y su estrecha relación con la zonificación vegetal.



Figura 3. Foto ejemplificando la asimetría de los médanos, con sus caras de sotavento y barlovento. Los ubicados en segundo plano poseen 25 metros de altura.

Vulnerabilidad en la localidad de Arenas Verdes

El partido de Lobería tiene una superficie de 468.682 ha, de las que 169 pertenecen a Arenas Verdes (cubriendo un frente costero de 1,2 km) y una población de 17.523 habitantes (Aguilar, 2009). La villa balnearia fue loteada en la década del '50 en 1.000 lotes, de los que sólo se han vendido a la fecha el 19% (Aguilar, 2009). El loteo actual divide al balneario en 60 manzanas con unas 950 parcelas de entre 500 m² a los 2.300 m², con un promedio de lotes de 1.000 m². Se estructura a partir de una avenida principal, con una geometría paisajística y con alto

grado de consolidación de la forestación, produciendo una galería arbórea a ambos lados de la calle. Hay pocas calles trazadas de tierra mejorada, y en general no responden al trazado proyectado. La consolidación del ejido es muy baja, con 7 parcelas edificadas dentro de todo el loteo (Aguilar, 2009).

En el sector más próximo a la playa es donde actualmente se desarrollan estos usos y actividades, y justamente la zona donde progresan los médanos vivos móviles y semimóviles (Figura 4).



Figura 4. Médanos afectando forestaciones junto a la urbanización.

Las arenas como recurso minero

La cantidad de emprendimientos areneros varía en cada una de las barreras medanosas y no se corresponde en general con el grado de urbanización de las mismas. De acuerdo con la información disponible de la Dirección Provincial de Minería, hay unas 20 areneras de médano registradas en la provincia de Buenos Aires aunque la mayor parte de ellas, no están activas en la actualidad (Del Río et al., 2018).

En particular el Partido de Lobería, aun cuando su población es significativamente menor que la de los municipios aledaños, es uno de los principales proveedores de áridos naturales de la provincia de Buenos Aires, abasteciendo con este recurso estratégico al desarrollo urbano de las ciudades que lo circundan. En el 2020 había tres areneras autorizadas: Las Tres Plantas (38°30'27,13''S-58°26'23,34''O), Don José (38°32'30,77''S-58°35'32,49''O) y Monviso Forestal (38°32'16,97''S-58°34'13,47''O). En todos los casos son explotaciones muy simples, con una participación modesta de equipos y tecnologías extractivas y a cielo abierto. Presentan un solo nivel de explotación hasta llegar a los terrenos pampeanos indiferenciados, que son el piso de las canteras. En general, cada arenera cuenta con una pala frontal, a las que eventualmente se incorpora una retroexcavadora, en función de la demanda.

La Arenera Las Tres Plantas activa desde 1999, explota médanos activos y médanos con escaso desarrollo de suelo y

vegetación. Al inicio de la actividad, la extracción se realizaba en médanos fijos, en tanto que ahora se realiza en la pendiente de avance de un médano barjanoide en movimiento, sobre terrenos pampeanos. Los frentes de explotación son en sentido noreste, este y sureste. La firma declaró un volumen de extracción de 190.000 tn (2014 y 2015) y 98.000 tn (2016 y 2020).

En la zona periurbana se encuentran las Canteras Don José y Monviso Forestal en el límite occidental de la cadena medanosa y adyacentes a la zona urbana de Arenas Verdes. La primera está activa desde el 2008 y explota médanos fijos ubicados a 1.600 metros de la playa. El avance de explotación es en sentido oeste-suroeste. Los médanos que se explotan están fijados por vegetación de gramíneas. La producción declarada fue de 70.000 tn (2014), 170.000 tn (2015) y 57.600 tn (2016 a 2020). Monviso Forestal está activa desde el 2015, se ubica a 1.500 metros de la playa y posee una producción de 73.400 tn/año. Explotan médanos parcialmente vegetados con gramíneas.

Las tres canteras tienen un plan de cese que se centra en una recuperación natural, en el sentido de Gallego Valcarlos y Valdillo Fernández (1992), sin intervención.

METODOLOGÍA

Las tareas de campo consistieron en la identificación y geoposicionamiento de los médanos móviles y áreas extractivas en la zona de la localidad de Arenas Verdes, realizándose el

mapeo mediante el uso de un drone Phantom 4 Pro, con una transmisión de imágenes remota OcuSync 2.0 HD y una cámara CMOS con un sensor de 20 megapíxeles de 1 pulgada. Los relevamientos con el Drone se basaron en un vuelo a 150 m de altitud, con 60% de superposición fotográfica ortogonal. En el campo se ubicaron 10 puntos de control materializados con banderas visibles y referenciados en latitud, longitud y cota, con un GPS diferencial de precisión subdecimétrica, con una antena fija A3 o Base R3 con receptor Código C/A de L1 con 12 canales y ciclo de fase portadora completa, y una mochila móvil con receptor GPS Pathfinder ProXT integrado, de 12 canales.

En el gabinete se realizó el pos-proceso de los datos para la creación de un ortomosaico y un modelo digital de elevaciones, para finalmente realizar el cálculo de superficies y volúmenes mediante softwares de procesamiento y post-procesamiento TerraSync Trimble Digital Fieldbook, Trimble Planning, Data transfer y Pathfinder Office 4.0. En este mismo estudio, se procedió a determinar la velocidad y sentido de migración de los médanos transversales sobre la trama urbana, documentándose la cantidad de lotes perdidos debido a ello.

Además, se obtuvieron muestras superficiales (3 cm de profundidad) de las arenas para caracterizar el recurso. En el laboratorio se procedió a su tamizado con Ro-tap (solo había fracción psamítica) y análisis de sus parámetros estadísticos según *Folk y Ward (1957)* en el software GRADISTAT 8.0 (*Blott y Pye, 2001*). Finalmente, las muestras fueron comparadas para evaluar sus condiciones para ser empleadas en hormigón por su compatibilidad con las normas IRAM 1627 (*IRAM, 1997*).

Bertola y colaboradores (2020) calcularon la tasa de transporte subaéreo mediante la aplicación de los algoritmos habituales en la literatura (*Bagnold, 1941; Zingg, 1952; Hsu, 1974*) con la intención de estimar la capacidad de reformación del médano (Tabla 1).

Tabla 1. Ecuaciones para el cálculo de transporte de sedimentos

Bagnold (1941)	$Q = K * (\rho_a/g) * u^{*3} * \sqrt{(d/D)}$
Zingg (1952)	$Q = C * (d/D)^{3/4} * \rho_a/g * u^{*3}$
Hsu (1974)	$Q = H * (u^*/\sqrt{(d/D)})^3$

Q: tasa de transporte masivo en médanos (g/s/cm)
d: D50 de las arenas en mm
D: constante (0,25 mm)
K: constante (1,8)
ρa: densidad del aire (0,001226 g/cm³)
g: aceleración de la gravedad (980 cm/s²)
u*: velocidad crítica de las partículas
C: constante (0,83)
H: e^{(-0,42+4,91 * d) * 10-4}

$Q_v = Q / (\rho_s * (1-P))$
Qv: tasa de transporte volumétrico
ρs: densidad de la arena (2,65 g/cm³)
P: porosidad típica de la arena (0,4)

RESULTADOS

Del análisis de imágenes históricas de Google Earth® del 2003 y 2019, se pudo apreciar que los médanos migran en dirección al NE llegando en algunos casos a 90 metros en 16 años. Para la última década, el riesgo geomorfológico urbano se ha incrementado por el avance de los médanos: en el año 2003 había 32 parcelas afectadas, 36 parcelas para el 2019 y 38 para el año 2021. Comparar las imágenes ha permitido definir dos zonas más estabilizadas y separadas por un sector central, más activo y con mayor velocidad de avance del frente del médano, que progresa sobre la trama urbana y parte sobre terrenos rurales (Figura 5). Por ejemplo el médano en la arenera Las Tres Plantas se desplazó casi 100 m en los últimos 13 años.

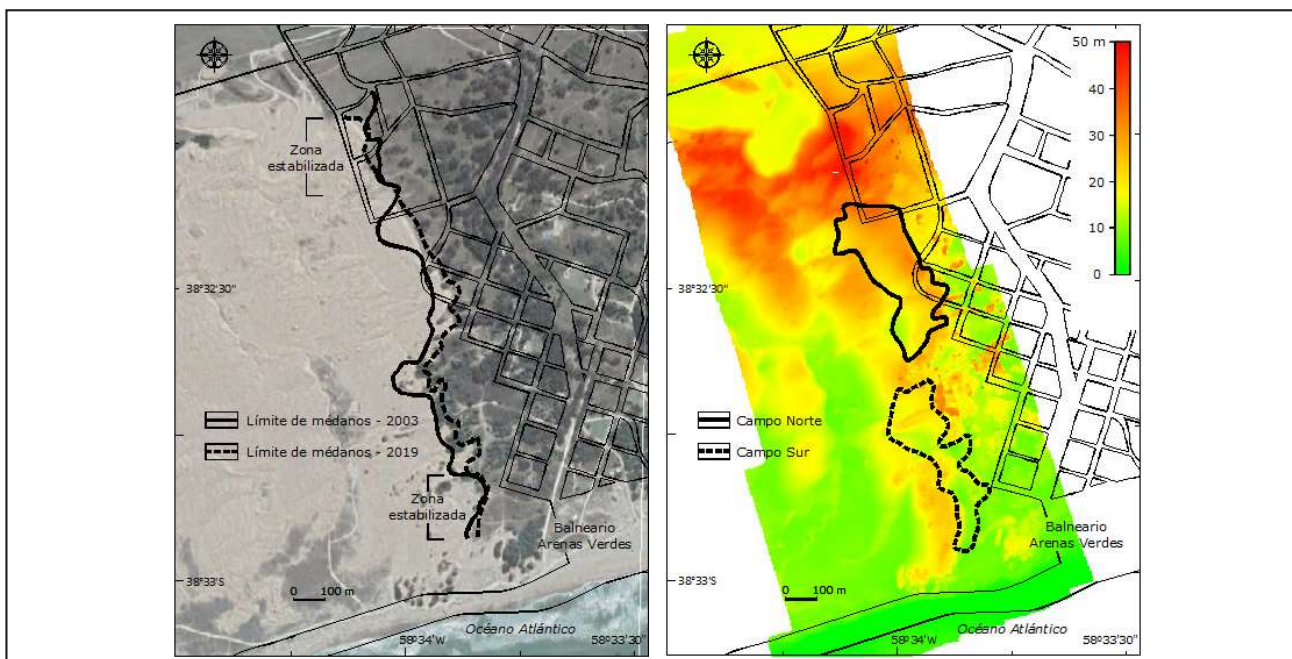


Figura 5. Derecha: Límite del frente de médano en el 2003 y en el 2019. Se aprecian tres zonas, dos estabilizadas (en los extremos) y una con mayor variación, en el centro. La imagen Google Earth® pertenece al 2019. Izquierda: Modelo digital del terreno de la zona estudiada, donde se aprecia el Campo Norte y el Campo Sur, durante el 2019. Las cotas están en metros.

A su vez, en esa zona central se han identificado por su estado de ocupación, un Campo Norte y otro Sur (Figura 5). El Campo Norte comprende unas 8 ha y afecta a unas 17 parcelas de la trama urbana. El Campo Sur es un médano de unas 6 ha sobre una única parcela rural. En este último, se advierte un frente de avance del médano que en poco tiempo alcanzará a la trama urbana del balneario, desde su sector SO.

Bértola y colaboradores (2020) consideraron que por sus dimensiones, sólo en el Campo Norte hay más de 1.920.000 tn de arena acumulada (si se calcula un frente de 850 m, un piso de explotación a cota 10 m.s.n.m. y un peso específico del material de 1,6 tn/m³). Comparando este valor con las casi 230.000 tn extraídas en el año 2016 por las tres empresas situadas en el Municipio de Lobería, sería equivalente a más de 8 años de explotación, con la clara ventaja y oportunidad, que la misma rehabilita parcelas y extrae material de la movilidad del médano que se interna en la zona urbana.

Luego de la extracción de esas arenas que han ocupado en gran medida la trama urbana, se podría continuar con un programa de explotación más sostenible. Estos autores determinaron una tasa de transporte promedio de 91 m³/m por año; en consecuencia si sólo se extrajese el material movilizado que corresponde al frente del médano (de 10 m de ancho, 850 m de largo y 3 m de altura) permitiría una extracción anual de más de 25.000 m³ que controlaría la cara de sotavento del médano migrante.

Características de las arenas de la localidad de Arenas Verdes

Las muestras revelan que las distribuciones granulométricas corresponden a arenas medianas a finas, y solo una posee fracción pefita (sábulo). El parámetro C (o Percentil 1) pertenece a las

arenas gruesas a muy gruesas. El desvío estándar permite apreciar que las muestras van de pobremente seleccionadas (M1 y M3) hasta buena selección (M4), y la asimetría fueron de negativas a simétricas (Tabla 2).

Al confeccionar el gráfico del IRAM 1627 (Figura 6), se evidencia que el 60% de los sedimentos de M1 son las que más se aproximan a la fracción fina requerida por la norma para su uso en hormigones. Las restantes arenas, sólo lo hacen en un 15% de su distribución total, por tener granos mucho más finos que el límite impuesto por la norma. Quizás en alguno de estos casos y si fuese su destino la fabricación de hormigones, sea conveniente la incorporación de arenas de trituración cuarcítica más gruesas para mejorar su calidad (*Bértola et al., 2018*).

DISCUSIÓN

En este sistema dinámico, el paisaje de los médanos interiores puede también entenderse como un sistema ecológico en constante cambio natural, y evolucionando en una escala de tiempo humana (*Stallins y Parker, 2003; Monserrat, 2010*). Esta dinámica es más tangible, cuando este sistema es intervenido por el hombre con el desarrollo de asentamientos humanos, extracciones de áridos, turismo y otras actividades conexas.

Producto del desarrollo de la infraestructura en localidades pequeñas, pueden desencadenarse conflictos con los elementos ambientales de la zona, como por ejemplo el avance de los médanos sobre la trama urbana, lo cual plantea un desafío de gran importancia a la hora de mantener la integridad de las propiedades y construcciones, sin comprometer en el proceso, la calidad ambiental ni la integridad ecosistémica de los componentes naturales, que resultan de un gran atractivo para el público que elige pasar sus vacaciones en estos lugares.

Tabla 2. Resultados de los análisis granulométricos.

Muestras	M1 - Arenera Monviso Forestal	M2 - Arenera Don José	M3 - Arenera Las Tres Plantas	M4 - Médano en la trama urbana
Ubicación	38°32'17"S58°34'15"O	38°32'30,77"S58°35'32,49"O	38°30'35,9"S58°26'17,0"O	38°32'43,2"S58°33'54,6"O
Parámetro C (mm)	1,347	1,079	0,986	0,590
Media (mm)	0,349	0,273	0,265	0,243
DSTD	1,029	0,796	1,033	0,492
Asimetría	-0,104	-0,181	0,004	-0,022
Psefitas (%)	0,04	0,00	0,00	0,00
Psamitas (%)	98,91	99,16	96,72	99,88
Pelitas (%)	1,05	0,84	3,28	0,12
Fracción Psefítica	100 % Sábulo	0,00	0,00	0,00
Arena Muy Gruesa (%)	4,96	1,26	0,79	0,03
Arena Gruesa (%)	27,64	13,39	18,04	1,41
Arena Mediana (%)	29,42	37,84	32,79	44,57
Arena Fina (%)	32,32	43,27	34,63	52,02
Arena Muy Fina (%)	4,57	3,41	10,47	1,85
Percentil 1	Arena Muy Gruesa	Arena Muy Gruesa	Arena Gruesa	Arena Gruesa
Media	Arena Mediana	Arena Mediana	Arena Mediana	Arena Fina
Desvío estándar	Pobrementeseleccionada	Moderadamenteseleccionada	Pobrementeseleccionada	Buenaselección
Asimetría	Negativa	Negativa	Casi Simétrica	Casi Simétrica

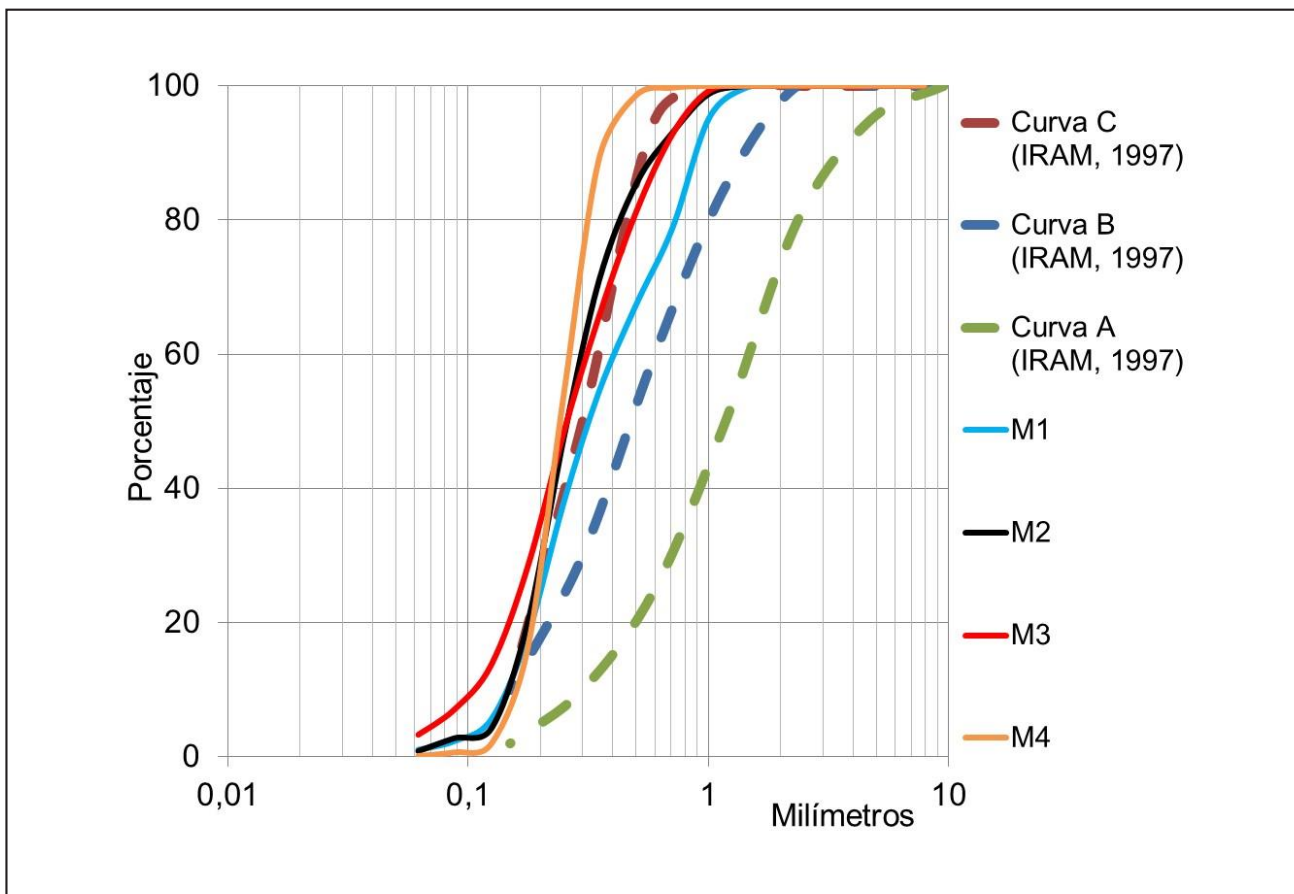


Figura 6. Curvas de frecuencias de las muestras, junto a los límites (según Norma IRAM 1627) para los agregados finos (curva A, B y C) para hormigones.

El asentamiento turístico de Arenas Verdes afronta como problema ambiental de génesis geomorfológica el avance de los médanos, lo cual genera un perjuicio patrimonial para los propietarios de los terrenos y para el gobierno municipal. Despejar estas parcelas obliga al municipio y a los particulares a una intervención constante con altos costos que podrían reducirse mediante una actividad minera de intensidad controlada que debería estar enfocada en los criterios de renovabilidad del recurso y sostenibilidad de la actividad.

Estas acciones, como se verá a continuación, implican la necesidad de establecer parámetros que definan condiciones que minimicen los efectos negativos de la actividad extractiva, incorporando sectores de bajo desarrollo ecológico y diseños mineros adecuados aplicables a las explotaciones medanosas. Siguiendo como criterio general lo expresado por *Jungerius y van der Meulen (1988)*, podemos reconocer 3 escenarios (Figura 7).

De mayor incidencia de procesos geomorfológicos, mínimo desarrollo edafológico y complejidad ecológica baja, donde las comunidades biológicas están poco desarrolladas dejando sedimento para el transporte y permitiendo el desarrollo de médanos migrantes.

Un escenario intermedio, con procesos geomorfológicos y biológicos moderados y la incipiente formación de horizontes distintivos en el perfil de suelos.

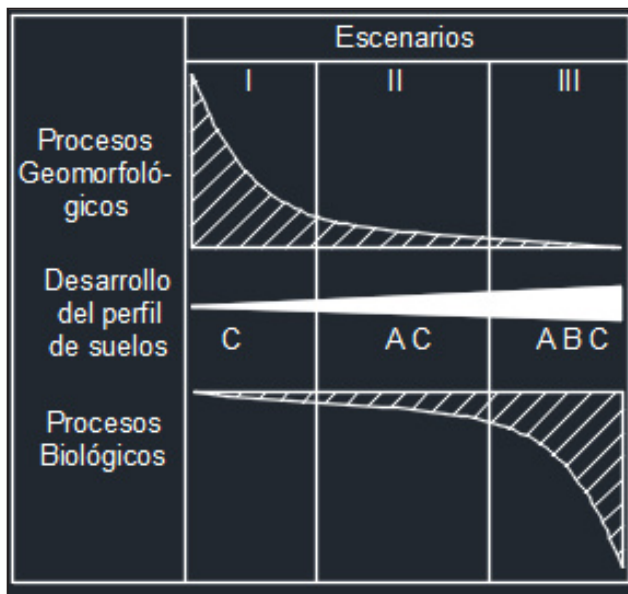


Figura 7. Representación esquemática de ecosistema de médanos (*Jungerius y van der Meulen, 1988*).

Una escenario de máxima complejidad ecológica y edáfica, con mínima actividad geomorfológica relativa causado por la alta estabilización del médano (*Taverna et al., 2018*).

Desde un punto de vista ecológico, se contempla evitar afectar a comunidades mucho más desarrollada que en otras zonas del médano, que lo que acontece en el sector de avance de un médano vivo donde imperan los procesos geomorfológicos por sobre los ecológicos. La propuesta no es quitar el médano, sino sólo establecer un control sobre una duna migrante, por lo que las condiciones a nivel de barrera, no se verían afectadas.

De acuerdo con lo expuesto consideramos que la extracción limitada de las arenas móviles del frente de avance de los médanos migrantes sobre terrenos pampeanos que alojen el acuífero freático, refleja la mejor condición ambiental para la localización de una arenera. Esta condición se expresa en particular, donde encontramos los frentes de sotavento de los médanos transversales o barjanoides migrantes sobre terrenos continentales que corresponden a los Campos Norte y Sur (Figura 5).

El beneficio neto podría ser una adecuada fuente de recursos genuinos para la promoción e impulso de distintos programas ambientales municipales, teniendo en cuenta que la infraestructura y la inversión de inicio serían modestas para efectuar la explotación del sector del médano migrante.

CONCLUSIONES

El estudio de esta área costera, demostró la existencia de médanos activos progradantes con una velocidad de migración de hasta 5 m/año durante la última década. Este avance, conlleva grandes volúmenes de arena que compromete seriamente las propiedades establecidas en la localidad de Arenas Verdes. Son arenas que por su calidad granulométrica, pueden ser usados como áridos finos.

El conocimiento de los ecosistemas y las geoformas, permite comprender qué áreas del sector de médanos pueden ser pasibles de explotación bajo criterios de sostenibilidad.

La vida útil del yacimiento sería prolongada en función de la captación del material que se encuentra en tránsito, ya que si la actividad minera extrae la misma cantidad de arena que entra al sistema, no tendría efectos adversos significativos. Toda vez que a diferencia de algunas areneras en Lobería, la extracción se circunscribiría a un frente móvil de baja complejidad ecológica.

Creemos que una adecuada planificación territorial que contemple una gestión minera de intensidad controlada y un diseño de explotación sobre el frente de sotavento del médano, puede reducir la vulnerabilidad de Arenas Verdes y generar recursos para el municipio, que mantendría su rol de proveedor regional de áridos, sin producir necesariamente, un alto impacto en el ecosistema medanoso.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue elaborado en el marco del Proyectos de Innovación y Transferencia en Áreas Prioritarias de la Provincia de Buenos Aires (PIT-AP-BA) durante el 2018, y financiando por la Comisión de Investigación Científica de la Provincia de Buenos Aires (CIC). Los autores agradecen al IGCyC (UNMDP-CIC) por la logística y la posibilidad de realizar este proyecto en sus instalaciones. Un agradecimiento especial a los Dres. Martínez y Osterrieth.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AGUILAR, M. (2009).
Programa Multisectorial de Preinversión III - Préstamo BID 1896/OC-AR.
Plan de desarrollo local para el municipio del Partido de Lobería. Estudio 1.EE.292. Informe Final Inédito. 185 pp.
- AL-ANSARY, M., POPPELREITER, M., AL-JABRY, A., Y IYENGAR, S. (2012).
Geological and physiochemical characterisation of construction sands in Qatar.
International Journal of Sustainable Built Environment 1:64-84
- ANCTIL, F. Y OUELLET, Y. (1990).
Preliminary evaluation of impacts of sand extraction near Iles-de-la-Madeleine Archipelago, Quebec, Canada.
Journal of Coastal Research 6, 37-51.
- AYALA CARCEDO, F., VALDILLO FERNÁNDEZ, L., FRUTOS GÓMEZ, M., MANGLANO ALONSO, S., MATAIX GONZÁLEZ, C. Y TOLEDO SANTOS, J. (1999).
Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería.
Instituto Tecnológico Geominero de España. 125 pp.
- BAGNOLD, R. (1941).
The Physics of Blown sand and desert dunes.
London: Methuen. 25 pp.
- BAUER, B., DAVIDSON-ARNOTT, R., HESP, P., NAMIKAS, S., OLLERHEAD, J. Y WALKER, I. (2009).
Aeolian sediment transport on a beach: Surface moisture, wind fetch and mean transport.
Geomorphology 105:106-116
- BÉRTOLA G., FARENGA, M., FERNÁNDEZ, J., TAVERNA, B., ANTENUCCI, D. Y DEL RÍO, J. (2020).
Aprovechamiento sustentable de áridos dunarios en el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires.
Actas del XII Congreso Argentino de Geología Económica. De Barrio (ed). CABA. Asociación Argentina de Geólogos Economistas (AAGE). 12 pp.
- BÉRTOLA, G., LEGGIERO, J., MARTÍNEZ, G. Y DEL RÍO, L. (2018).
La provisión de arenas en la costa atlántica de la Provincia de Buenos Aires (Argentina): áridos naturales y de trituración.
V Congreso Nacional de Áridos, Actas:86-97, Santiago de Compostela.

- BLOTT, S. Y PYE, K. (2001).
GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments.
Earth surface processes and Landforms, 26(11):1237-1248.
- BORGES, P., ANDRADE, C. Y FREITAS, M. (2002).
Dune, Bluff and Beach Erosion due to Exhaustive Sand Mining. The Case of Santa Barbara Beach, São Miguel (Azores, Portugal).
Journal of Coastal Research 36:89-95.
- CABALLÉ, M. Y BRAVO ALMONACID, M. (2006).
Minería Costera. Isla y Lasta (eds).
Manual de Manejo Costero para la Provincia de Buenos Aires. EUDEM. 281 pp.
- CABRERA, A. (1976).
Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería: regiones fitogeográficas Argentinas:
Acme. 221 pp.
- CAMINO, M., LÓPEZ DE ARMENTIA, A., BO, M. J. Y DEL RÍO, J. (2011).
Análisis de las variaciones en la función amenidad de ambientes costeros por efecto de la minería de áridos y la urbanización. Caso de estudio: Mar del Sud, provincia de Buenos Aires.
Jornadas Patagónicas de Geografía: Organización Espacial y Social: Desafíos de la Geografía Actual. Resúmenes, Comodoro Rivadavia. 2 pp.
- CELSI, C. (2009).
Estructura vegetal y composición florística en el sistema de dunas costeras aledaño al balneario Arenas Verdes (Lobería, Buenos Aires).
Actas de las VII Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar. 6 pp.
- CELSI, C. Y ATHOR, J. (2016).
La vegetación de las dunas costeras pampeanas. La Costa Atlántica de Buenos Aires. Naturaleza y Patrimonio Cultural.
Fundación de Historia Natural Félix de Azara, 116-138.
- CELSI, C. Y MONSERRAT, A. (2008).
La vegetación duncícola en el frente costero de la Pampa Austral (Partido de Coronel Dorrego, Buenos Aires).
Multequina 17:73-92.
- CORTIZO, L. E ISLA, F. (2007).
Evolución y dinámica de la barrera medanosa entre los arroyos Zabala y Claromecó, partidos de San Cayetano y Tres Arroyos, Buenos Aires.
Revista de la Asociación Geológica Argentina, 62(1):3-12.
- DEL RÍO, J., ANTENUCCI, D., MARTÍNEZ, G., BÉRTOLA, G., OSTERRIETH, M., BOCANEGRA, E., MANTECÓN, C., CICHINO, A., TAVERNA, B., PIANANIDA, F., FERNÁNDEZ HONAIN, M., BÓ, M., CAMINO, M. Y LUPO, S. (2018).
Análisis de los impactos ambientales y desarrollo de criterios de sustentabilidad ambiental para las explotaciones de áridos naturales del sistema de dunas aplicables al desarrollo urbano e infraestructura de las ciudades de la costa atlántica bonaerense.
Informe Final CIC. 144 pp.
- DEL RÍO, J., PIANANIDA, F., ANTENUCCI, D., MOLINA, H., CICHINO, A., DENISIENIA, N., MARTÍNEZ, G., TAVERNA, B., FARENGA, M. Y LUPO, S. (2017).
Huella geomorfológica de actividades mineras en las dunas de la barrera oriental de la costa atlántica bonaerense: relación con otras actividades.
3er Congreso Argentino de Áridos 2017: 203-207.
- DURÁN, O. Y MOORE, L. (2013).
Vegetation controls on the maximum size of coastal dunes.
Proceedings of the National Academy of Sciences 110(43):17217-17222.
- ELLIS, J. Y SHERMAN, D. (2013).
Fundamentals of aeolian sediment transport: Wind blown sand, Treatise on Geomorphology.
Academic Press, San Diego, CA. Aeolian Geo (11):85-108
- FOLK, R. Y WARD, W., 1957.
A Study in the Significance of Grain-Size Parameters.
Journal of Sedimentary Petrology 27:3-26.
- FOX, R. (1993).
The offshore aggregate industry in the UK.
Underwater Technology 19(2). 17 pp.
- GALLEGO VALCARCE, E. Y VADILLO FERNÁNDEZ, L. (1992).
Reclaiming areas degraded by mining operations. In Cendrero, Luttig y Wolf (Eds.).
Planning the use of the Earth's Surface. Berlin:Springer. 247 pp.

- GUIMARAES, P., PEREIRA, P., CALLIARI, L. Y ELLIS, J. (2016).
Behavior and identification of ephemeral sand dunes at the backshore zone using video images.
Anales Academia Brasileira Ciências 88 (3):1357-1369
- HESP, P. (1999).
The beach backshore and beyond, in *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*,
ed. A. D. Short (Brisbane, Australia: John Wiley and Son). 32 pp.
- HESP, P. Y HILTON, M. (1996).
Nearshore-surfzone system limits and the impact of sand extraction.
Journal of Coastal Research 12(3):726-747.
- HESP, P. Y HYDE, R. (1996).
Flow dynamics and geomorphology of a trough blowout.
Sedimentology 43:505-525.
- HILTON, M. (1989).
Management of the New Zealand coastal sand mining industry: Some implications of a geomorphic study
of the Pakiri sand body.
New Zealand Geographer 45:14-25.
- HILTON, M. (1990).
Applying the principle of sustainability to coastal sand mining: The case of Pakiri-Mangawhai Beach, New Zealand.
Environmental Management 18:17-24.
- HSU, S. (1974).
Computing eolian sand transport from routine weather data.
Proceedings of the XIV Conference on Coastal Engineering:1619-1626.
- IRAM (1997). NORMA N°1627.
Agregados, granulometría de los agregados para hormigones.
Instituto Argentino de Normalización. 23 pp.
- JUNGERIUS, P. Y VAN DER MEULEN, F. (1988).
Erosion processes in a dune landscape along the Dutch coast.
Catena 15(3-4):217-228.
- KOIRALA M. Y JOSHI E. (2017).
Construction sand, Quality and supply management in infrastructure project,
International Journal of Advances in Engineering & Scientific Research 4(4):1-15.
- LÓPEZ, R. Y MARCOMINI, S., 2002.
Pautas para el manejo costero en costas de dunas y acantilados, Provincia de Buenos Aires.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente 18: 59-68.
- MARCOMINI, S. Y LÓPEZ, R., 2006.
Geomorfología costera y explotación de arena de playa en la Provincia de Buenos Aires
y sus consecuencias ambientales.
Revista Brasileira de Geomorfología 7(2):61-71.
- MONSERRAT, A. (2010).
Evaluación del estado de conservación de dunas costeras: dos escalas de análisis de la costa pampeana.
Tesis Doctoral. UBA, Buenos Aires. 155 pp.
- PILKEY, O., YOUNG R., KELLEY J. Y GRIFFITH A. (2007).
Mining of coastal sand: a critical environmental and economic problem for Morocco.
White Paper; Western Carolina University: Cullowhee, NC, USA. 45 pp.
- PITCHALAH, P. (2017).
Impacts of Sand Mining on Environment.
International Journal of Geoinformatics and Geological Science 4(1). 5 pp.
- SORIANO, A. (1991).
Río de la Plata grassland.
En: Coupland, R. T. (Ed.) *Natural grasslands. Introduction and Western Hemisphere* :367-407. Amsterdam: Elsevier.
- STALLINS, J. Y PARKER, R. (2003).
The influence of complex systems interactions on barrier island dune vegetation pattern and process.
Anales Asociación Americana Geografía 93:13-29
- TAVERNA, B., DEL RÍO, J. Y ANTENUCCI, D. (2018).
Patrón de micro distribución de *Ctenomys Talarum* en su rol como bioindicador en un pasivo de explotación
de arenas en dunas costeras.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente 41: 33-44

- TERUGGI, L., MARTINEZ, G., BILLI, P. Y PRECISO, E. (2004).
Geomorphologic units and sediment transport in a very low relief basin: Rio Quequén Grande, Argentina.
IAHS Publication Vol. 299. Catalonia, España. 25 pp.
- WILBURN, D. Y GOONAN, T. (1998).
Aggregates from Natural and Recycled Sources. Economic Assessments for Construction Applications -
A Materials Flow Analysis.
U.S. Geological Survey Circular 1176. 37 pp.
- ZINGG, A. (1952).
A study of the characteristics of sand movements by wind. M.S.
Thesis. Dept. of Agricultural Engineering, Kansas State College. Kansas (USA). 255 pp.