

Transporte de arena en medanos litorales activos y colgados del sudeste de Buenos Aires

Germán R. BÉRTOLA^{1,2} y Luis C. CORTIZO^{1,3}

¹ Centro de Geología de Costas y del Cuaternario. Universidad Nacional de Mar del Plata.
C.C. 722 – Correo Central, (7600) Mar del Plata - Argentina.

² CONICET

³ CIC

RESUMEN. El transporte de arena por el viento es la principal fuente de suministro de sedimentos para la existencia de médanos litorales en playas arenosas, así como un importante componente en los cálculos de balance sedimentario entre la playa (la fuente) y el médano (el destino). Para evaluar esto, se analizaron médanos del sudeste de la Provincia de Buenos Aires mediante un novedoso método de muestreo, que permite percibir diferencias en la dinámica y textura de la arena que conforman el perfil de velocidad, diferencias debido a su génesis y características. El objetivo del trabajo fue analizar si había diferencias apreciables cuantificables en las características de médanos costeros colgados en acantilados de Mar del Plata y en médanos frontales, de costas abiertas al sur de la misma zona, en el arroyo de La Ballenera. Se observó que las arenas de médanos frontales son más gruesas que las de los médanos colgados, debido a las zonas de aporte y emplazamiento topográfico. Los mayores volúmenes de arena transportados son por la cara de barlovento y cresta. El perfil del arroyo La Ballenera se halla más influenciado por el efecto marino que el médano colgado, donde predomina la acción eólica. Se observó que cuando la velocidad del viento se duplica, el volumen transportado es 5 veces mayor, lo mismo que el t_0 . El coeficiente de arrastre fue prácticamente despreciable a 2,6 m. La metodología empleada para entrapar el sedimento resultó ser aceptable como una fase inicial para el monitoreo de la dinámica de sectores costeros dominados por el viento.

Palabras Clave: Médanos costeros, Dinámica eólica, Textura, Transporte de sedimentos, Buenos Aires.

ABSTRACT. Sand transport in active and hunged coastal dunes of southeastern Buenos Aires. The sand transport by wind is the main sediment source of supply of silts for the presence of coast dunes in sandy beaches, as well as an important component in the calculations of sedimentary balance among the beach (the source) and the dune (the destination). To evaluate this action, dunes of the southeast of Buenos Aires Province were analyzed by means of a new sampling method that allows to see differences in the dynamics and texture of the sand that conform the profile of speed, differences due to its genesis and characteristic. The objective of the work was to analyze if there were quantifiable appreciable differences in the characteristics of coastal dunes hung in cliffs of Mar del Plata and in front dunes, of open costs to the south of the same area, in the La Ballenera Creek. It was observed that the sands of frontal dunes are coarser than those of the hanging dunes, due to the contribution areas and topographical location. The biggest transported volumes of sand are for the windward face and crest. The profile of the La Ballenera Creek is more influenced by the marine effect that the hanging dune, where the eolic action prevails. It was observed that when the speed of the wind is duplicated, the ported volume was 5 larger more, the same thing that the t_0 . The Drag Coefficient went practically worthless to 2,6 m. The methodology used to trap the silt turned out to be acceptable as an initial phase for the monitoring of the dynamics of coastal sectors dominated by the wind.

Key words: Coastal dunes, Aeolian Dynamics, Grain size, Texture, Sediment transport, Buenos Aires.

Introducción

La ciudad de Mar del Plata, fundada en 1873, está emplazada en las estribaciones del Sistema de Tandilia, cuyos afloramientos limitan playas de bolsillo. Estos afloramientos son de ortocuarcitas, atribuidas al Ordovícico que descansan sobre un basamento cristalino ígneo-metamórfico que no aflora en la zona. Sobre las cuarcitas y en discordancia erosiva, se asienta el loess pampeano (Cuaternario) y sedimentos eólicos. Todo el conjunto configura un relieve suave de colinas, no mayores de 100 m sobre el nivel del mar.

Hacia el Sur, y por unos 80 km (Fig. 1), la costa es mayormente acantilada y de angostas playas (no más de 40 m de

ancho) que se hacen más amplias hacia la ciudad de Necochea, y conformando una extensa barrera de médanos (Barrera Austral). Estas playas, se habrían formado con posterioridad a la fluctuación holocena del nivel del mar (Schnack *et al.* 1982, Violante y Parker 1993). Tanto sobre los acantilados, como sobre las pequeñas playas, existen médanos frontales con variadas topografías. Sus formas y dimensiones dependen de la actividad de los vientos, el aporte de arena (desde y hacia la playa), la densidad y tipo de vegetación, topografía y del tamaño de las partículas.

Los mejores trabajos experimentales en la dinámica del viento los realizó Bagnold a mediados de siglo, empleando para ello experiencias en túneles de viento, datos que posterior-

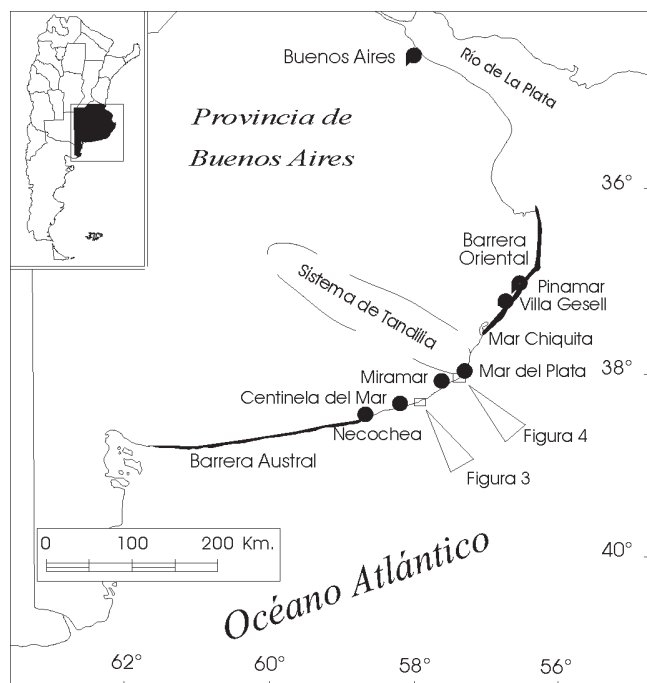


Figura 1: Mapa de ubicación. Distribución de médanos en las barreras austral y oriental.

mente los corroboró en las pruebas del campo en el desierto africano. Con más de 50 años de antigüedad, estos trabajos todavía son comúnmente citados en toda bibliografía eólica. Otros autores siguieron estos trabajos sobre la mecánica del transporte del sedimento por el viento (Hotta *et al.* 1984, Sarre 1988, Nickling y Davidson-Arnott 1990, Pye y Tsoar 1990, Sherman y Hotta 1990, Hotta y Horikawa, 1991), y también hay valiosos aportes a la investigación del comportamiento de la capa límite en presencia de las formas de la superficie, también denominada Rugosidad (Taylor *et al.* 1987, Hsu 1987, Stull 1988, Xu y Taylor 1992). A escala regional, se realizaron trabajos mediante la comparación de fotografías aéreas (Prat 1999, Isla *et al.* 1989) e imágenes LANDSAT (Fryberger y Dean 1979, Breed y Grow 1979, Breed *et al.* 1979). Un completo aporte a la dinámica del transporte de sedimentos lo realizó Perillo (2003), con un capítulo dedicado íntegramente al movimiento de partículas por el viento.

En relación con las playas arenosas del sudeste bonaerense, Teruggi (1959) y posteriormente Spalletti y Mazzoni (1979), las caracterizaron granulométrica y mineralógicamente, reconociendo variaciones texturales transversales entre el médano y la playa frontal y a lo largo de la costa. Entre las variaciones texturales observaron un incremento en el tamaño de grano y del desvío estándar hacia el mar. Las muestras de médano promedio arrojaron valores unimodales, con una marcada moda entre 1 y 3 Phi, media de 2,32 Phi, percentil 1 de 1,34 Phi y desvío estándar de 0,364 (Spalletti y Mazzoni, 1979). Regionalmente, todas las muestras de médano tenían valores semejantes, con una disminución del diámetro de sus arenas de sur a norte, y un aumento en la selección. En cuanto a la mineralogía, los cambios regionales eran más importantes, sobre todo en lo referente a minerales pesados. El porcentaje de li-

vianos es del 90 % por sobre el de pesados, y están mejor seleccionados que los segundos (Spalletti 1979). Desde el punto de vista del aporte mineralógico a estas playas, Isla (1992 a, b) consideró los fenómenos de reciclado de playas relicto, es decir de paleoplayas sumergidas, en la distribución litoral. Marcomini y López (1999) y López y Marcomini (2000) analizaron playas desde Miramar hasta Centinela del Mar e hicieron una completa descripción geomorfológica del sector costero. Su muestreo de médanos arrojó valores de media de 2,48 Phi y selección de 0,66.

El aporte de este trabajo es analizar las características en la morfología y dinámica eólica de médanos costeros colgados en acantilados de Mar del Plata y en médanos frontales de costas abiertas en el arroyo de La Ballenera, y si existen diferencias apreciables y cuantificables entre ellos.

Marco teórico

En relación a la mecánica del transporte en los médanos analizados, los granos de arena individuales se mueven bajo la fuerza del viento de dos maneras distintas: por saltación y por arrastre superficial, siendo la primera la más importante y representando más del 75% del total (Bagnold 1941).

En la saltación, el viento al alcanzar una velocidad determinada (velocidad crítica), produce un esfuerzo de corte que arranca los granos de la superficie con un movimiento ascendente al principio y luego, siguiendo la velocidad y dirección del viento, por el propio peso de las partículas, caen en forma de parábola.

Estos al llegar a la superficie disipan la energía en forma de calor, rebotarán (si ésta es dura o está formada por partículas grandes) o transmitirán su movimiento a otra (si son psamíticas). Sin embargo, debido al hecho que los granos de arena promedian aproximadamente dos mil veces el peso de la atmósfera, no todos los vientos moverán arena, para ello la velocidad del viento debe alcanzar la velocidad crítica (Bagnold 1941).

Después de que los granos de arena comienzan su movimiento, la velocidad del viento lo mantiene. Una vez que la saltación ha empezado, la directa presión del viento no es ya requisito para mantener los granos de arena en el aire. El movimiento se perpetúa mediante la energía generada por el impacto de los granos en saltación que golpean los nuevos granos. Los granos mayores de 1 mm de diámetro (caso que no ocurre en estos médanos) generalmente se mueven por el segundo proceso llamado arrastre superficial (Bagnold 1941). Cuando los que están en saltación impactan a los granos mayores, no tienen bastante energía para elevarlos por el aire, pero les transmiten una energía que los pone en movimiento (Fig. 2).

Características generales de la región

Las costas de la provincia de Buenos Aires desde Mar del Plata hasta Necochea, poseen una orientación 55°N y una amplitud de marea media de 0,80 m (Servicio de Hidrografía Naval 2001). Sus playas poseen un continuo aporte de arenas

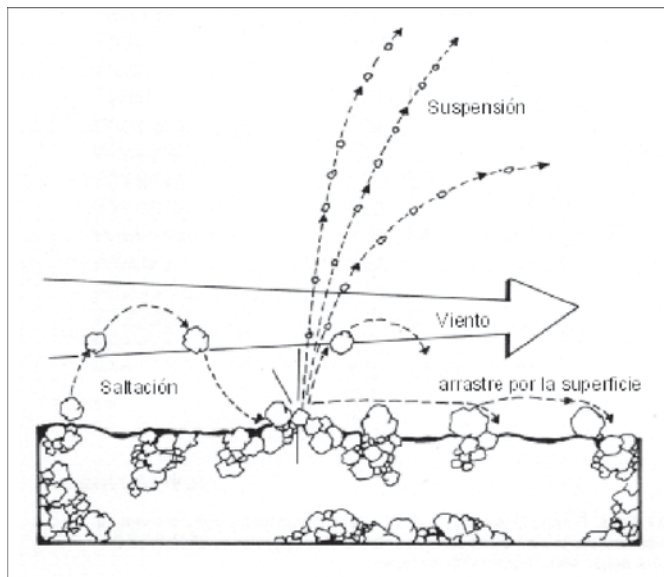


Figura 2: Esquemización de las formas de transporte de arenas (modificado de Hesp y Thorn 1990).

por deriva litoral desde el Sur que varían entre 100.000 m³/año (Sunrise Technical Consultants Co. 1971) y 400.000 m³/año (Caviglia *et al.* 1992). Estos valores aumentarían significativamente durante los meses de invierno cuando las episódicas Sudestadas causan importantes daños a los balnearios así como la acumulación de minerales pesados (Del Río y Schnack 1985, Isla 1995).

De acuerdo a las observaciones con sensores de presión en Mar del Plata (Lanfredi *et al.* 1992) las alturas de ola promedio son de 0,91 m, la altura máxima de 2,30 m, el período medio de 9,5 seg y el poder de ola de 4,3 Kw/m. Debido a la pendiente de la playa, las rompientes son del tipo de volteo.

Con relación a los vientos, los datos climáticos del decenio 1981-2000 para la estación Mar del Plata (Servicio Meteorológico Nacional 1992 y 2001), indican que alcanzan sus mayores velocidades promedio durante los meses de primavera con 19 m/s, sin embargo las mayores fluctuaciones y ráfagas ocurren durante el otoño/invierno. Así mismo se puede observar que las direcciones predominantes son los del noroeste, norte, nordeste y oeste (viento continental), con un total de 52,8 %, en tanto que los del sudoeste, sur, este y sudeste (viento marítimo) totalizan el 37,2 %. En el cuadro 1 se aprecian las frecuencias y las direcciones predominantes en relación a los meses del año. Según la estación del año, se tiene una predominancia en las frecuencias de vientos continentales con 50,7% para el verano, 58,1% para el otoño, 53,1% para el invierno y 49,5% para la primavera. Si bien para el clima de olas estos datos no son sino climas locales es importante considerarlos, ya que ellos son los encargados de erosionar, transportar y depositar los materiales en el campo de médanos costeros, y son agentes eficaces en las regiones con vegetación esparcida y del suministro de sedimentos sin consolidar. Lamentablemente los datos estadísticos que se disponen del Servicio Meteorológico Nacional, poseen valores promedio mensuales (o diarios en el mejor de los casos) y no valores de velocidad instantánea, ni ráfagas, por lo que es imposible decir estadísticamente en estos últimos 10 años cuánto tiempo

se superó la velocidad crítica, por ello en este trabajo se usaron valores *in situ*.

Metodología

Para el análisis de los médanos, se recurrió a estudios realizados en el Arroyo La Ballenera el 11 de noviembre del 2001 (38°19'6"S - 57°56'7"O - Fig. 3) y en la playa La Balconada el 6 de diciembre del 2001, a 50 m del paraje conocido como El Partenón (Mar del Plata, 38°06'3"S - 57°34'4"O - Fig. 4). En ambas experiencias se cubrió con cinta doble-engomada tipo 3M, varillas de madera graduadas al centímetro de 0,4 m de ancho, 1,3 de alto y 0,1 de espesor que fueron hincadas 0,2 m en el médano, con una separación de 10 m, una de otra.

Las varillas fueron ubicadas siguiendo la morfología del médano, desde su cara de barlovento a la de sotavento, coincidiendo con la dirección de aproximación del viento en el momento de la experiencia. El perfil del médano fue confeccionado con teodolito y mira y referido al nivel del mar, cuya altura de marea fue referido a la tabla de mareas del Servicio de Hidrografía Naval (2001).

Las experiencias duraron una hora y la arena que era transportada quedó adherida a las cintas. Una vez terminada la experiencia, fueron rotuladas y guardadas para su posterior análisis. Junto con la experiencia de las cintas, se obtuvieron muestras a los pies de la varilla de la arena superficial que fue embolsada y llevada a laboratorio donde se procesaron según los métodos de tamizado ordinarios, y se calcularon los coeficientes de Folk y Ward (1957).

Así mismo, y durante la experiencia, se tomó la velocidad puntual del viento a alturas determinadas mediante un sistema de anemómetros portátiles (modelo TSI 1650). Este sistema obtenía la velocidad simultánea de la velocidad cada 0,1 m (desde 0,1 a 0,9 m de altura). También se obtuvo la velocidad continua mediante un anemómetro a cangilones a 10 m de altura perteneciente a una estación de clima *Davis Instruments* de *Weatherlink*. El dato de la velocidad del viento es el resultado de un promedio en un período de 5 minutos que suaviza fluctuaciones y ráfagas. Para la dirección se empleó los valores dados por la estación Davis, ya que los anemómetros individuales no daban ese parámetro. Las fluctuaciones de las direcciones no superaron los 20° con respecto a la media.

Los datos fueron volcados a planillas electrónicas y posteriormente se obtuvieron y analizaron factores como coeficiente de rugosidad (Z_0), velocidad de fricción (u^*), tensión de corte en la superficie (t_0), velocidad de iniciación de movimiento (u^*_i), coeficiente de arrastre (C_D) y tasa de transporte del sedimento (Q). Si bien estas fórmulas fueron obtenidas por diversos autores, se las tomó del manual del CERC (1977), en tanto que las de Q , fueron tomadas de sus autores originales. Estos parámetros simplifican las condiciones y consideran que el transporte del sedimento arenoso empieza cuando el viento ejerce una tensión de corte en la superficie del médano o de la playa, que excede un determinado valor, para comenzar el movimiento de los sedimentos. Es decir, si la velocidad del viento aumenta y alcanza un cierto valor crítico, la tensión de corte (t_0) también supera un valor crítico y la arena inicia su movimiento. Para viento uniforme sobre una superficie hori-

Cuadro 1: Frecuencia y direcciones predominantes de vientos (1981-2000), obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional 1992 y 2001.

Enero	16,6 % - NE	14,4 % - N	13,4 % - S
Febrero	17,7 % - NE	13,8 % - N	13,0 % - NO
Marzo	16,3 % - NE	14,6 % - N	13,9 % - NO
Abril	17,9 % - NO	15,0 % - N	12,3 % - W
Mayo	21,9 % - NO	15,3 % - O	15,0 % - N
Junio	21,5 % - NO	17,8 % - O	14,1 % - N
Julio	20,2 % - NO	15,7 % - N	15,3 % - O
Agosto	16,6 % - NO	13,5 % - N	13,5 % - O
Septiembre	13,9 % - SO	13,7 % - NE	13,2 % - N
Octubre	16,1 % - NE	13,1 % - N	13,0 % - NO
Noviembre	16,5 % - NE	15,0 % - N	14,0 % - S
Diciembre	16,6 % - NE	14,5 % - NO	14,0 % - S

zontal, puede derivarse la velocidad de fricción del terreno de la pendiente del perfil logarítmico de velocidad. La pendiente del perfil de velocidad depende de la velocidad del viento y del coeficiente de rugosidad de la superficie. Esta dependencia es conocida como la Ley de la Pared, que puede resumirse como que para una rugosidad del terreno (o del grano) dada, la velocidad de fricción aumenta con la velocidad del viento, y viceversa.

Para arena limpia, seca y bien seleccionada en una superficie horizontal, puede estimarse la velocidad de iniciación de movimiento usando la expresión de Bagnold (1941) y que se resume en que el inicio del movimiento para superficies ideales depende principalmente del tamaño del grano, así como de las densidades del aire y del sedimento. Es de hacer notar la muy buena selección de las arenas analizadas en este trabajo, ya que el valor de iniciación del movimiento varía si no son uniformes.

Sobre la base de estas consideraciones básicas, se han creado infinidad de modelos para predecir la proporción de transporte del sedimento bajo las condiciones ideales, como las fórmulas propuestas por Bagnold (1941), Zingg (1952), Horikawa y Shen (1960), Williams (1964), Kawamura (1964), Hsu (1974), Lettau y Lettau (1977), White (1979), Sarre (1988) y Nakashima (1979), entre otros. Estas fórmulas fueron aplicadas para obtener un valor medio de transporte del sedimento, pero también se compararon para elegir la que más se ajusta a nuestros médanos.

Las cintas engomadas fueron analizadas mediante un microscopio óptico a 4 x, y fotografiadas cada 5 cm empleando para ello una cámara digital anexa al equipo óptico. Posteriormente las imágenes fueron llevadas a un software de reconocimiento de formas. Mediante el mismo, se obtuvo el porcentaje de granos de arena con respecto al fondo vacío (es decir, sin granos) y el parámetro de redondez.

Resultados

Análisis geomorfológico del sector estudiado

De las áreas en estudio, analizadas con imágenes LANDSAT TM de 1990 y con fotografías aéreas de los años 1964,

1984 y 1987 y posteriormente supervisadas en el campo, podemos hacer una división en ambientes continentales y en mixtos/marinos (*sensu* Fairbridge y Bougeois 1978). En ambas áreas (Figs 3 y 4) y en relación con los ambientes continentales ubicados al noroeste y norte de la ruta 11, se ubica material loessico y por suelos formados a sus expensas. El tipo de vegetación original es la estepa o pseudoestepa de gramíneas, que sólo persiste junto a las vías férreas o en algunos campos abandonados. Los suelos poseen vegetación de pasturas y cultivos (p.e. papa, horticultura y cereales), y en menor medida bosques de *Pinus* sp., *Pinus pinaster* y *Pinus radiata*, y forestaciones localizadas de *Eucalyptus* sp. Otros sectores están parcialmente urbanizados. Las modificaciones más sustanciales ocurren en los ambientes mixtos/marinos, pudiéndose identificar dos geoformas relacionadas a diferentes agentes: eólicas y marinas (López y Marcomini 2000).

Arroyo La Ballenera (Fig. 3)

Geoformas eólicas: Las geoformas asociadas al viento dan lugar a los médanos litorales y se pueden agrupar en función del grado de actividad en:

1. Médanos vivos: Localizadas en zonas proximas a la costa y desprovistas de vegetación; este campo alcanza alturas de 10 m sobre el nivel del mar y un ancho transversal a la costa de hasta 500 metros. La morfología superficial se caracteriza por presentar crestas barjanoides y acumulaciones de arena tipo médano en montículo (*hummocky dune*). Las mediciones se realizaron sobre un médano frontal en su cara que da al mar con una importante escarpa de erosión de 6 m de altura. Se encuentra cubierto en su cara de barlovento (tendida al sudoeste) por vegetación embrionaria de gramíneas de muy escasa altura. En el mismo sector se identificaron montículos y formas parcialmente edafizadas (*coppice dune sensu* Hesp y Thorn 1990) de escasa altura. La longitud de onda del campo de médanos es de aproximadamente 270 metros. Hacia el sudoeste hay campos de médanos parabólicos con sus cuernos apuntando al sudoeste, con un ancho de 140 m y una longitud de 160 metros. Están asociadas a antiguas crestas barjanoides degradadas y en muchos sectores conforman médanos complejas (López y Marcomini 2000).

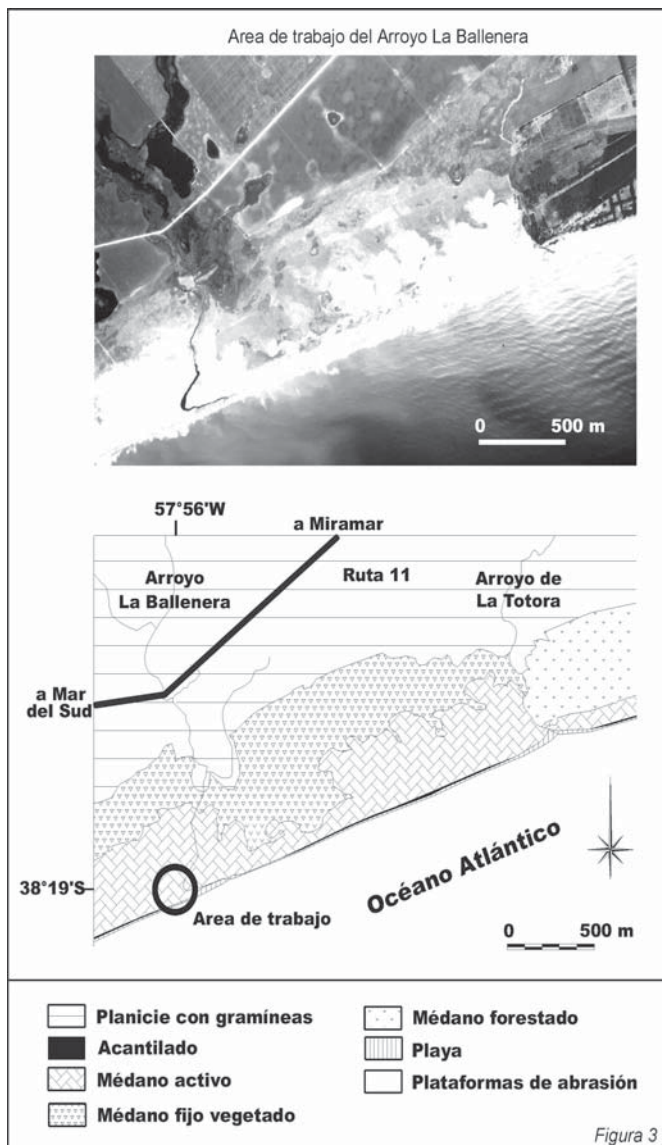


Figura 3: Mapa geomorfológico del área estudiada: Arroyo La Ballenera.

2. *Médanos fijos*: El litoral está recorrido por médanos costeros cubiertos por una vegetación típica de comunidades herbáceas naturales que se suceden según el grado de colonización. Predomina en la zona de trabajo *Panicum racemosum*, *Senecio crassiflorus*, *Poa lanuginosa*, *Achyrocline satureioides*, *Panicetum*, *Spartinetum*, *Margaricarpum* y *Androtrichetum* (Cabrera 1941). Se pudo constatar la presencia de sombras de arena originados por la vegetación arraigada en el médano.

3. *Médanos forestados*: Las áreas de bosques están asentadas sobre antiguos médanos vivos y fijos. En este caso se favorece la pedogénesis, provocando importantes cambios en el suelo (Tinley 1985). Los suelos formados son Entisoles. Estas forestaciones (*Pinus* sp., *Acacia longifolia* y *Eucalyptus* sp.) actúan como una barrera eólica produciendo cambios morfológicos en sectores aledaños (Marcomini y López 1999; López y Marcomini 2000; Isla et al. 1998).

4. *Cubetas de deflación (Blowout)*: Son médanos que antiguamente han estado estabilizados por la vegetación y ahora se han reactivado. Poseen una altura media de 2 m; los sectores correspondientes a las cubetas presentan un diámetro de 15 a 20 m y se disponen en rumbo suroeste-nordeste con las depresiones hacia el cuadrante sur. Se reconocieron las mismas formas descritas por López y Marcomini (2000), pero especialmente los de tipo canaleta (Fig. 8), cuya mecánica son bien conocidas.

Geoformas marinas: Entre las geoformas marinas se pueden citar las siguientes:

1. *Acantilados*: Esta geoforma erosiva se encuentra prácticamente desde Mar del Plata a Necochea. Poseen alturas variables entre 5 y 20 m, y están compuestas por material loésico. En donde los arroyos desembocan en el mar, los valles han erosionado los acantilados y hay formación de médanos vivos emplazados en playas de bolsillo. Los acantilados pueden ser activos o inactivos dependiendo si aún siguen retrocediendo en la actualidad o si están cubiertos por dunas (López y Marcomini 2000).

2. *Playas*: Distribuidas a lo largo de toda la costa atlántica. En la zona de trabajo existe una playa frontal (desde la línea de baja marea hasta la pleamar) y una playa distal (desde la línea de pleamar hasta el espaldón). Sobre esta última puede haber bermas atribuidos a tormentas excepcionales o a la acción combinada de tormentas y marea. Las playas son del tipo intermedias a disipativas (estadio 3 a 5 *sensu* Short y Wright, 1984). Poseen anchos de 20 metros. Se pudo constatar la presencia de sombras de arena originados por guijarros o trozos de conchillas marinas que actúan por peso sobre la arena, de modo que el viento no alcanza a transportarlos y dejan un montículo con el guijarro encima y una cola arenosa a sotavento del obstáculo.

Playa La Balconada (Fig. 4)

Geoformas eólicas: Entre estas geoformas se encuentran las siguientes:

1. *Médanos colgados*: El campo de médanos se halla sobre elevado con relación al nivel del mar. Si bien López y Marcomini (2000) encuentran en el sector de su trabajo, que la movilidad de los médanos es prácticamente inexistente, se ha visto que en esta zona pueden comportarse como médanos vivos con una importante migración eólica, de modo tal que el municipio local mensualmente extrae la arena para evitar que obstruya la ruta 11. El médano medido está asentado sobre un acantilado de 26 m de altura, con un perfil asimétrico e inclinación de 20° a barlovento y 35° a sotavento y lineación de la cresta de rumbo N-S. En zonas con gramíneas de corta altura, se pudo constatar la presencia de sombras de arena. En el área de trabajo se confirmó la existencia de médanos vivos, vegetados y forestados con características similares a las descritas para el arroyo La Ballenera.

2. *Acantilados parcialmente cubiertos por médanos*: Esta configuración responde a un activo proceso eólico actual que

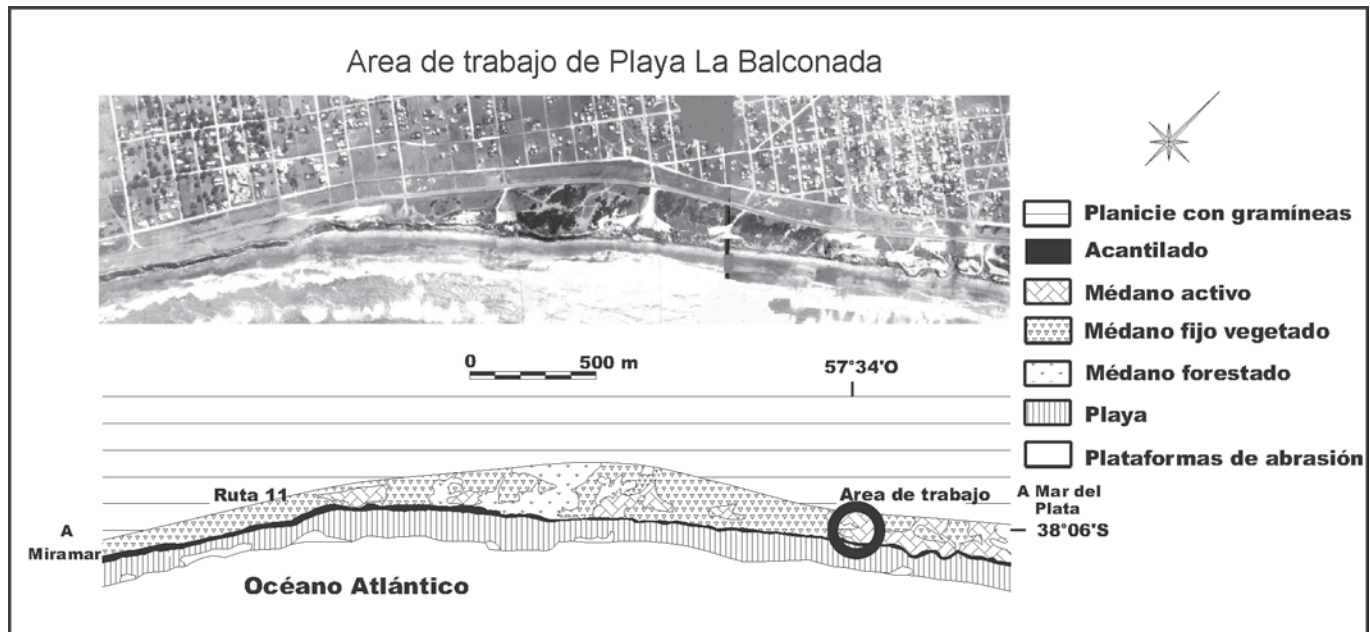


Figura 4: Mapa geomorfológico del área estudiada: Playa La Balconada.

predomina sobre la hidrodinámica marina (López y Marcomini 2000). En este caso existe un menor aporte eólico del sector continental y de la playa. Las plataformas rocosas en la playa se hallan parcialmente cubiertas por sedimentos.

3. Rampas de médano: Esta geoforma es de transición entre eólica y marina. Aparece en sectores del área analizada con aproximadamente 12 m de ancho que cubre la base del acantilado. El aporte eólico que proviene principalmente de la playa, es bajo. Se la incluye como forma de transición, ya que si bien posee un origen eólico, la acción del mar se verifica permanentemente en el periódico retrabajo de sus sedimentos y cambios de morfología, en épocas de tormenta.

Geoformas marinas: Entre las geoformas marinas presentes se destacan:

1. Acantilados: Poseen características similares a las del arroyo La Ballenera, pero sus alturas son de hasta 30 metros. Están compuestos por material loésico muy entoscado.

2. Plataformas de abrasión: Estas geoformas se encuentran por trechos cortos de hasta 25 m, que quedan emergidos durante las bajamareas. Constituyen restingas de toscas del Ensenadense, que por su mayor dureza resisten la acción del oleaje.

3. Playas: Con características similares a las del arroyo La Ballenera, son playas del tipo intermedias a reflectivas (estadio 1 a 4 *sensu* Short y Wright 1984). Poseen anchos de 35 metros. En ellas se pudo constatar la presencia de cúspides de playa de forma triangular en planta y longitudes de onda de 12 m y corrientes de retorno de 8 m de ancho espaciadas por 110 metros.

Parámetros texturales

Los resultados fueron graficados en dos figuras donde se aprecia el perfil del médano referido al 0 de IGM, los datos de media, desvío estándar y asimetría de las muestras extraídas y los perfiles de velocidad en cada varilla (Fig.s 5 y 6). En el cuadro 2 se exponen las variaciones de los parámetros estadísticos según la locación.

Los mayores tamaños de grano se dieron en la cara de barlovento, con valores que varían a lo largo del perfil entre 1,40 y 2,33 Phi. Las muestras de La Ballenera son de arena mediana y las de La Balconada de arena fina. En general las muestras analizadas tienen moderada a buena selección, con valores fluctuantes entre 0,36 y 0,97 Phi. En ambos médanos la mejor selección se dio en sus caras de barlovento, en tanto que las muestras de la Balconada son mejor seleccionadas que las de La Ballenera. Esto posiblemente es así, debido a la mayor selección que genera el viento al transportar los granos a los emplazamientos topográficos más altos. Se encontraron asimetrías negativas principalmente en las caras de barlovento y positivas en los sectores de cresta. Las mayores desviaciones de la misma se dan en el médano de La Balconada.

En relación con la redondez de los clastos, no hay variaciones apreciables ni a lo largo del perfil de cada médano, ni entre las distintas locaciones. En general en todas las muestras, los clastos inorgánicos son redondeados a bien redondeados y los bioclastos (restos de conchillas molidas) poseen un grado de redondez mucho menor. Hay mayor porcentaje de estos últimos en los médanos frontales del arroyo La Ballenera, alcanzando un 40 % del total. Los minerales pesados no son más de un 4 % del total en ambos médanos analizados.

Transporte de arena

Teniendo en cuenta que ambas experiencias difieren en la fecha de realización, con la consiguiente diferencia en veloci-

dad y dirección del viento, en relación con los porcentajes de arena entrapados en las varillas se pudo constatar que el 90 % de lo retenido se concentró en los primeros 0,26 m para la Balconada y 0,47 m en La Ballenera. A partir de los 0,85 m (La Balconada) y de 1 m (La Ballenera) el transporte de arena fue prácticamente despreciable, sólo entre 1 y 6 % del total se transportó por sobre esa altura. Realizando un promedio en la distribución vertical del porcentaje de arena en los médanos, se pudo observar que las mayores concentraciones están en la base, disminuyendo hacia el metro de altura. El perfil del viento respondió, según lo sugerido por la mayoría de los autores (Perillo, 2003) a la morfología de una curva de regresión logarítmica. Para el médano de La Balconada se ajustó a la siguiente ecuación: $y = -52,64 * \ln(x) + 235,14$ ($R^2 = 0,959$) para los valores de barlovento e $y = -29,61 * \ln(x) + 124,88$ ($R^2 = 0,71$) para los de sotavento.

Cualitativamente, si bien no puede realizarse una comparación en forma directa entre ambas locaciones por lo anteriormente expuesto, en la hora que duraron las experiencias la arena que se movió sobre el médano de La Ballenera, aunque más gruesa que la de La Balconada, llenó las cintas a mayor altura y velocidad. Por ello se observó que para realizar una relación cuantitativamente comparable, en el médano de La Ballenera la experiencia tendría que haber durado menos tiempo por la mayor velocidad del viento y por consiguiente el mayor volumen transportado de arena. En general se pudo constatar una importante masa transportada en la cara de barlovento y en la cresta de los médanos, disminuyendo significativamente en la de sotavento.

La Ballenera

La experiencia se inició a las 11:00 hs del día 15 de noviembre de 2001. La velocidad del viento en cota 10 m fue de 6,22 m/s ($\pm 2,0$ m/s de fluctuación) del sudeste. Los datos aportados de esta experiencia (Cuadro 3), arrojan valores de velocidad crítica de 0,29 m/s, por lo que valores menores a ella, en principio, y para facilitar los cálculos, pueden ser descartados por no generar transporte de los granos. Se calculó el perfil vertical de velocidad en cada estaca y el promedio de velocidades en cada una de ellas (8,6 m/s). De los valores de velocidad se obtuvo la rugosidad (Z_0 media = 0,09 m) y de ellos la velocidad de defricción (u^* promedio de 0,89 m/s), el coeficiente de arrastre (CD promedio = 18,6) y la tensión de corte en la superficie ($t_0 = 1,032$ Newton/m²) (CERC, 1977). Sobre la base de los datos obtenidos se empleó los algoritmos oportunamente referidos en la metodología (cuadro 4) para calcular el Transporte de arena (Q), llegando a un promedio de 0,2378 Kg/m/s. El número de Froude indica para todo el perfil una velocidad supercrítica.

La Balconada

La experiencia empezó a las 10:15 hs del día 6 de diciembre de 2001. La velocidad del viento a cota 10 m fue del noroeste a 5,6 m/s ($\pm 3,2$ m/s). Los datos aportados (Cuadro 3) arrojan valores de velocidad crítica de 0,25 m/s, por lo que valores menores a ella pueden ser descartados. De los perfiles de velocidad de cada estaca se obtuvo un promedio fue de 2,67 m/

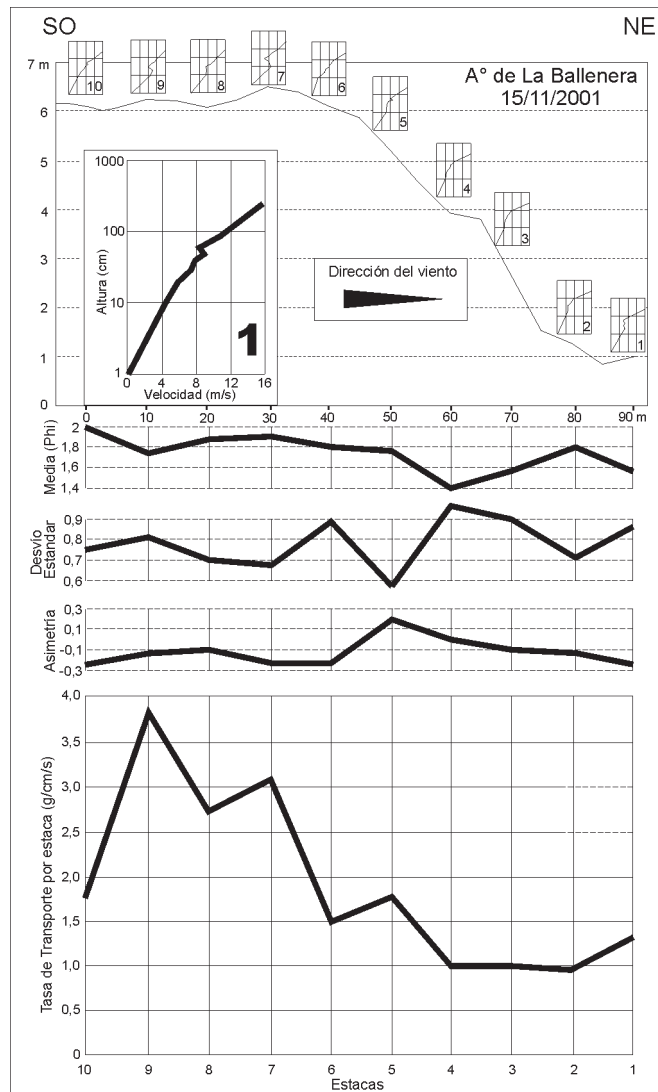


Figura 5: Perfil La Ballenera y datos obtenidos.

s; de ellos, la rugosidad (Z_0 media = 0,1 m) y la velocidad de fricción (u^* promedio de 0,32 m/s), el coeficiente de arrastre (CD promedio = 20,2) y la tensión de corte en la superficie (t_0 promedio = 0,167 Newton/m²). Posteriormente se obtuvieron datos de transporte de arena (Cuadro 4) llegando a un valor promedio de 0,0269 Kg/m/s. El número de Froude, indica que por encima de los 1 m (medido desde la base), la velocidad fue subcrítica.

Comparativamente se aprecia que cuando la velocidad del viento se cuatricula (8,6 m/s con respecto a 2,67 m/s), se genera un volumen transportado de sedimento 10 veces mayor (0,2378 contra 0,0269). Por supuesto el t_0 también se ve incrementado en 10 órdenes de magnitud (Cuadro 3).

Discusión

Las playas y médanos vivos son parte integral de un ambiente dinámico en el que la arena constantemente está en

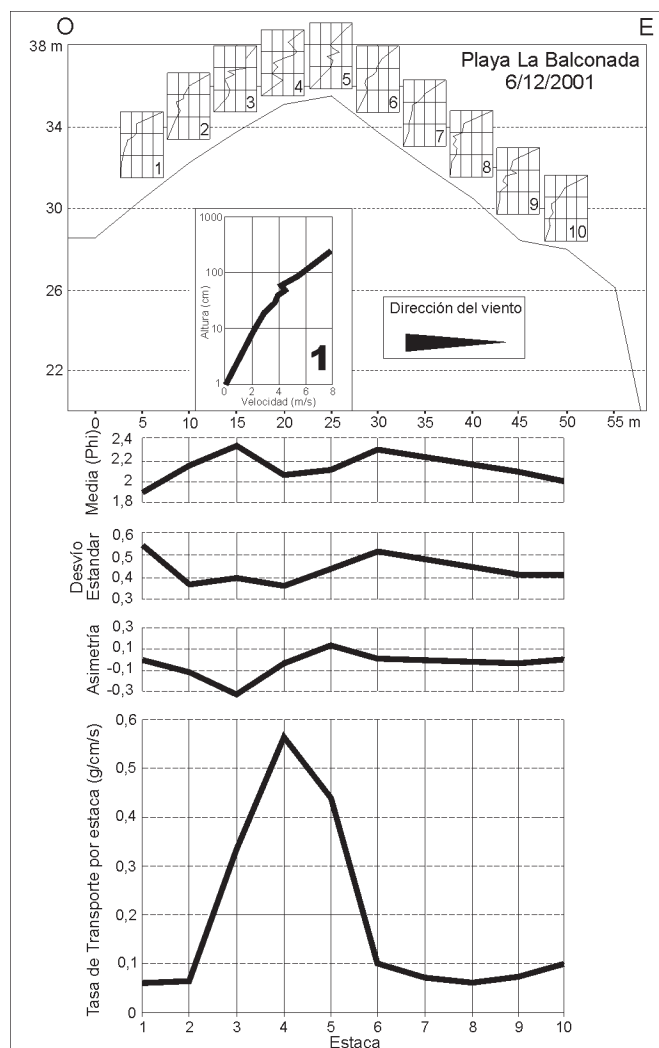


Figura 6: Perfil La Balconada y datos obtenidos.

movimiento. Como surge de estudios climáticos y oceanográficos (Lanfredi *et al.* 1992), las condiciones que prevalecen en la costa de Mar del Plata la mayor parte del año son de un promedio de olas de 0,9 m de altura y 9,5 seg de período, que aumenta durante las tormentas. Las olas transportan arena desde las barras mar afuera y de la zona de deslizamiento a la playa, causando que la misma se vaya gradualmente acrecionando. Posteriormente, la arena es transportada hacia el médano frontal, donde se entrapa por la vegetación y es retenida hasta que cambie de sitio por acción de tormentas. Durante las mismas, las olas poseen mayor energía, superando los 2 m de altura, y alisan la playa. El lavado de las olas contra la base del médano lo erosiona, generando una escarpa de erosión hacia el mar. En tormentas severas, el médano puede retroceder varios metros dejando un acantilado empinado, e inclusive puede ser completamente destruido. Las olas que se retiran se llevan la arena erosionada mar afuera y la depositan cerca de la zona de deslizamiento en grandes barras sumergidas. Este proceso de erosión del médano y transporte de arena, disipa gran parte de la energía de las olas de tormentas, colaborando en ello las barras de arena.

Cuadro 2: Parámetros estadísticos de las muestras de médano.-

	LA BALLENERA			LA BALCONADA		
	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.
MEDIA (Phi)	1,40	2,00	1,74	1,90	2,33	2,14
MEDIANA (Phi)	1,40	2,10	1,79	1,90	2,40	2,16
DESVIÓ ESTANDAR	0,57	0,97	0,78	0,36	0,54	0,43
ASIMETRÍA	-0,24	0,19	-0,126	-0,32	0,13	-0,059
AGUDEZA (Kurtosis)	0,92	1,28	1,056	0,94	1,78	1,159

Si el suministro de arena es constante, el intercambio natural entre la áreas costeras, playa y médanos repararán y reconstruirán estos últimos a una altura y ancho determinados por las condiciones locales. Sin embargo, la pérdida de vegetación que entrapa la arena hace que la playa y los médanos sean más susceptible al viento y erosión por el agua, inhibiendo su recuperación de las tormentas.

La actividad humana también es un factor importante en la estabilidad de los médanos. La construcción, la recreación y el tránsito de vehículos pueden acelerar o agravar el daño natural a las dunas destruyendo la carpeta vegetal y su desarrollo, promoviendo el desarrollo de cubetas de deflación (*blowouts*). Si la destrucción es importante, se puede llegar a eliminar por completo al médano, quedando menos material para el suministro de arena disponible para el intercambio durante tormentas. A veces se excavan los médanos para nivelar un sitio y ubicar balnearios, playas de estacionamiento, o para evitar que obtruya rutas o salidas de arroyos. En esos casos, el daño no se limita al sitio inmediato ya que las dunas adyacentes al sitio también estarán sujetas a la erosión.

Para que pueda existir la geoforma de acumulación, debe haber una reducción suficiente de energía del viento a lo largo de la dirección de movimiento de arena en un sistema extenso activo (Fryberger y Ahlbrandt 1979). Cualquier obstáculo, como un afloramiento de roca o la presencia de vegetación, puede forzar a la acumulación de arena disminuyendo la velocidad del viento y creando una «sombra de arena» al abrigo del obstáculo, inclusive una depresión pequeña puede generar esta acumulación. Pero no siempre se necesitan obstáculos para la acumulación de arena, ya que todos los sólidos tienen el poder de autoacumularse y es por ello que existen los médanos vivos. Esta autoacumulación se genera porque en la saltación sobre una superficie arenosa, el impacto de los granos de arena transfiere un poco de su energía a la superficie y otro poco es empleada para desalojar otros granos. Este proceso genera un movimiento de arena más lento a sotavento (Bagnold 1941), observado en este trabajo. En el caso de los granos que se arrastran, se origina una fricción de los granos de arena de saltación que reduce la velocidad del viento cerca de la superficie.

Para el caso de los médanos colgados como los de La Balconada, su formación sugiere que el sedimento que es originado y aportado desde la playa, al llegar al frente del acantilado con cárcavas no obturadas de vegetación densa, genera que la arena se mueva hacia arriba por ellas. Dependiendo de las condiciones del viento, los sedimentos son forzados a trepar, proceso facilitado muchas veces por la presencia de

Cuadro 3: Parámetros en el Transporte de arena.-

PARÁMETRO	LA BALLENERA	LA BALCONADA
U promedio (velocidad promedio)	8,6 m/s	2,67 m/s
Z₀ (Coeficiente de Rugosidad)	0,09 m	0,1 m
U* (Velocidad de fricción)	0,89 m/s	0,32 m/s
τ₀ (tensión de corte en la superficie)	1,032 Pascales	0,167 Pascales
U_τ (velocidad de iniciación del movimiento)	0,29 m/s	0,25 m/s
Cd (Coeficiente de Arrastre)	18,6	20,2
Q promedio (Tasa de transporte promedio)	0,2378 Kg/m/s	0,0269 Kg/m/s

rampas de arena pegadas al acantilado. Mientras esto sucede las arenas van cambiando, adquiriendo texturas más “eólicas” que “marinas” (Cuadro 2). Una vez arriba, los sedimentos pasan a formar parte del sistema de médanos colgados y pueden formar médanos parabólicos (Jackson y Nevin 1992).

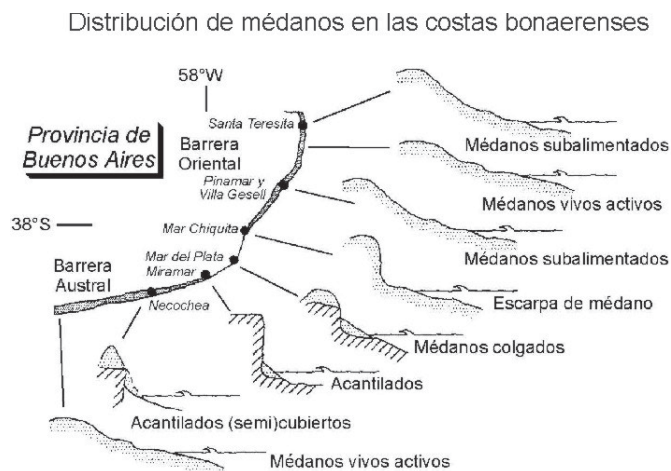
A nivel regional, y analizando las barreras medianosas bonaerenses (Fig. 7) puede observarse el siguiente patrón de comportamiento de los médanos costeros (Isla 1997): en la Barrera Oriental y Austral hay predominio de médanos vivos (activos) y vegetados. Extensos médanos forestados están en su mayoría sobre la Barrera Oriental. Las diferencias apreciables comienzan a observarse en la zona de transición entre ambas barreras. En la zona de Villa Gesell, Pinamar y ciudades cercanas a Santa Teresita hay presencia de médanos subalimentados y en Mar Chiquita, debido principalmente a la fuerte erosión de sus costas, los médanos poseen importantes escarpas de hasta 1 m de altura. Al sur de Mar Chiquita y hasta Necochea la existencia de acantilados sobre ortocarcitas y/o sobre loess posibilita la formación de médanos colgados o, en algunos lugares, la ausencia total de los mismos. En este caso puede aparecer pequeñas rampas de médano de hasta 15 m de ancho y plataformas de abrasión debido al bajo aporte de sedimentos. Más al sur y hasta Necochea, los acantilados pueden quedar cubiertos total o parcialmente por médanos colgados. De este modo, la disponibilidad de arena juega un papel fundamental en el crecimiento de las barreras. Esta disponibilidad puede alterarse por modificaciones en el nivel del mar (Isla y Espinosa 1995) o inclusive artificialmente como en el caso de ciudades donde se realizaron importantes forestaciones alterándose las distribuciones de arena por disminución de la dinámica eólica y originando médanos que emplean menos cantidad de arena, por ejemplo transversales a parabólicos (Isla *et al.* 1998).

En ambas barreras se ha podido constatar, sobre todo en zonas con intensa antropización, formas erosivas de cubetas de deflación. Es decir, en médanos con cobertura vegetal principalmente arbustiva, la eliminación de la misma por fuertes lluvias, tormentas de viento, el tránsito pedestre o de vehículos, favorece este tipo de erosión, que tienden a perpetuarse y migrar hacia sotavento de los vientos predominantes ya que los flujos de viento que se producen se encauzan siguiendo su fisonomía e impiden la fijación de vegetación.

En relación con los datos de transporte, se aprecia disparidad de valores según los autores. Hay que hacer la salvedad de que todas estas ecuaciones son empíricas y por ello, sólo

válidas para las condiciones en las que fueron calculadas. Se observó que esta disparidad se incrementa a medida que la velocidad del viento en las locaciones es mayor. Si se aplican las fórmulas a los datos obtenidos en el campo (Cuadro 4), se aprecia que los valores de Q según los algoritmos de Kawamura (1964) y Nakashima (1979) sobrepasan holgadamente (en un 50 %) a los obtenidos con las fórmulas de los restantes autores. Estos, así como los valores de Hsu (1974) y Williams (1964), poseen una variación de hasta un 20 % con respecto a la media. Las fórmulas que más se aproximaron a los obtenidos en las locaciones son los de Lettau y Lettau (1977 - Fórmula b), White (1979) y Sarre (1988), para La Balconada, y Bagnols (1941), Lettau y Lettau (1977 - Fórmula a), White (1979) y Sarre (1988) para La Ballenera. En todas ellas se aprecia que cuando la velocidad de fricción aumenta al doble, el Q es 5 veces mayor (Cuadro 3). En la Figura 5 y 6 (gráfico inferior) se exponen los valores de Q para cada zona del médano, donde se constató un mayor transporte en la zona de cresta que en la de sotavento.

En referencia a la metodología, ésta debe ser aún perfeccionada y estandarizada. Se sugiere para el futuro realizar algún test para saber el grado de adhesión que poseen las cintas a los granos individuales. Es importante saber si un grano que impacta con la cinta se adhiere siempre o sólo ante determina-

**Figura 7:** Distribución de médanos en las costas bonaerenses (modificado de Isla, *et al.* 2001).

Cuadro 4: Comparación de los valores de la tasa de transporte de sedimentos (Q) medido según algoritmos empíricos de diferentes autores, aplicando los datos recolectados en ambas locaciones (unidades Kg/m/s).

AUTOR	LA BALLENERA	LA BALCONADA
Bagnold, 1941	0,2117	0,0164
Hsu, 1971	0,0049	0,0146
Kawamura, 1964	0,3492	0,0475
Zingg, 1952	0,1022	0,0074
Hsu, 1974	0,0122	0,0010
Lettau y Lettau, 1977 F.a	0,3195	0,0374
Lettau y Lettau, 1977 F.b	0,3500	0,0356
White, 1979	0,2155	0,0271
Sarre, 1988	0,2601	0,0327
Williams, 1964	0,4365	0,0389
Horikawa y Shen, 1960	0,1160	0,0170
Nakashima, 1979	0,4759	0,0468
Promedio	0,2378	0,0269
Desvío	0,1561	0,0154

das condiciones, es decir, podría ser que el viento arranque un grano pegado, que el grano rebote sobre la cinta, o inclusive sobre los que ya están adheridos. Así mismo, la calidad de las cintas y sus adhesivos deben ser muy variables, aunque para esta experiencia se empleó en ambas locaciones, material del mismo rollo 3M.

Conclusiones

1. Las arenas de los médanos del arroyo La Ballenera poseen mayor tamaño de grano que las de La Balconada, resultado de las zonas de aporte y su emplazamiento topográfico. Independientemente de ello, en ambos perfiles de médano se constató un mayor transporte de arena hacia la zona de cresta y cara de barlovento, que en la de sotavento y pié de médano.

2. Por su ubicación topográfica los médanos de La Balconada se hallan más influenciados por el efecto eólico que los del arroyo La Ballenera donde predomina la acción marina, esto se demuestra por la textura de sus arenas.

3. Para los médanos analizados, cuando la velocidad del viento se duplica, el volumen transportado es 5 veces mayor, lo mismo que el t_0 . El coeficiente de arrastre es prácticamente despreciable a 2,6 metros.

4. De las fórmulas empíricas analizadas, las que más se ajustan a las tasas de transporte de arena en ambas locaciones son las de White (1979), Sarre (1988), Lettau y Lettau (1977 -ambas fórmulas-) y Bagnold (1941).

5. La metodología empleada para entrapar el sedimento resultó ser aceptable como una fase inicial para el monitoreo de la dinámica de sectores costeros dominados por el viento.

6. En zonas densamente pobladas, las cubetas de deflación tienden a perpetuarse y migrar por la propia actividad humana, siempre que no exista una gestión sustentable del recurso.

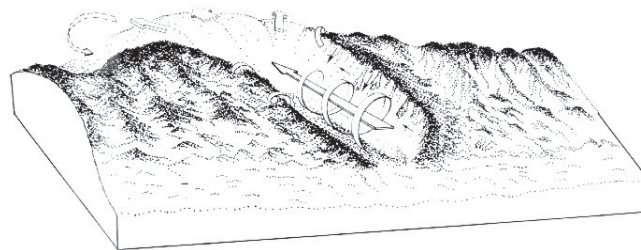


Figura 8: Esquema de la circulación del viento en las cubetas de deflación en canaleta. (Modificado de Hesp y Thorn 1990).

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Sra. Susana Serra por los análisis de laboratorio, al Dr. F. Isla por la sugerencia del método de cintas engomadas, su apoyo económico y logístico, al Dr. G. Perillo por sus acertadas sugerencias y la lectura crítica del trabajo, y a la botánica Lic. Susana Pastorino por las determinaciones florísticas. A las Dras. Tripaldi y Marcomini por sus sugerencias y comentarios que enriquecieron el texto. Este trabajo está dedicado en memoria del Dr. Mario Teruggi, de dos de sus innumerables alumnos.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bagnold, 1941. The physics of blown sand and desert dunes. Methuen, London. 265 p.
- Breed, C. y Grow, T., 1979. Morphology and distribution of dunes in sand seas observed by remote sensing. A study of global sand seas. U.S. Geological Survey, Professional Papers 1052: 137-169.
- Breed, C., Fryberger, S., Andrews, S., McCauley, C., Lennartz, F., Gebel, D. y Horstman, K., 1979. Regional studies of sand seas using Landsat (ERTS) imagery. A study of global sand seas. U.S. Geological Survey, Professional Papers 1052: 305-398.
- Cabrera, H., 1941. Las comunidades vegetales de las dunas costaneras de la Provincia de Buenos Aires. DAGI 1(2): 1-44.
- Caviglia, F., Pousa, J. y Lanfredi, N., 1992. Transporte de sedimentos: una alternativa de cálculo. 2° Congreso de Ciencias de la Tierra. Santiago, Chile. Memorias: 413-422.
- CERC (U.S. Army Coastal Engineering Research Center), 1977. Shore Protection Manual (Third ed. 1984), U.S. Government Printing Office, 1 a 4, 2000 p., Washington DC.
- Del Río, J. y Schnack, E., 1985. Efectos de tormenta en la depositación selectiva de minerales pesados en playas. Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología 16(1-4): 27-33.
- Fairbridge, R. y Bourgeois, J., 1978. The Encyclopedia of Sedimentology. Encyclopedia of Earth Sciences, 6. Dowden, Hutchinson & Ross (eds.) 900 p.
- Folk, R. y Ward, W., 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentology and Petrology 27(1): 3-26.
- Fryberger, S. y Ahlbrandt, T., 1979. Mechanics for the formation of eolian sand seas. Zeitschrift für Geomorphologie, NF 23(4): 440-460.
- Fryberger, S. y Dean, G., 1979. Dune forms and wind regime in McKee. A study of global sand seas. U.S. Geological Survey, Professional Papers 1052: 169-189.
- Hesp, P. y Thorn, B., 1990. Geomorphology and evolution of active transgressive dunefields. Nordstrom, Psuty & Carter (eds.) Coastal

- Dunes: Form and Process. Wiley & Sons: 253-288.
- Horikawa, K. y Shen, H., 1960. Sand movement by wind action (of the characteristics of sand traps). U.S. Army Corps of Engineers. Technical Memo 119, 51p.
- Hotta, S. y Horikawa, K., 1991. Study of wind-blow sand on beaches. A collection of papers. Hotta & Horikawa (eds.) 270 pp.
- Hotta, S., Kubota, S., Katori, S. y Horikawa, K., 1984. Sand transport by wind on a wet sand beach. 9° Coastal Engineering Conference: 1265-1281.
- Hsu, S., 1974. Computing eolian transport from routine weather data. 14° Conference of Coastal Engineering, ASCE, NY: 1619-1626.
- Hsu, S., 1987. Structure of air flow over sand dunes and its effect on eolian transport in coastal regions. Proc. of Coastal Sediments'87, ASCE, 1: 188-201, New York.
- Isla, F., 1995. Efectos de tormentas sudestadas en el litoral bonaerense durante 1993, Argentina. 5° Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar: 111, Mar del Plata.
- Isla, F. y Espinosa, M., 1995. Environmental changes associated to the Holocene sea-level fluctuation: Southeastern Buenos Aires, Argentina. Quaternary International 26: 55-60.
- Isla, F., Bértola, G., Farenga, M., Cortizo, L. y Serra, S., 1989. Villa Gesell: Un desequilibrio sedimentario inducido por fijaciones de médanos. Revista Asociación Argentina de Sedimentología, 5(1): 41-51.
- Isla, F., Cortizo, L. y Turno Orellano, H., 2001. Dinámica y evolución de las barreras medanosas, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista Brasileira de Geomorfología, 2(1): 73-83.
- Jackson, D. y Nevin, G., 1992. Sand transport in a cliff top dune system at Fonte de Tejha, Portugal. Coastal dunes. Geomorphology, Ecology and Management: Proceedings of the III European Dune Congress. Carter, Curtis y Sheehy-Skeffington (eds), Balkema: 81-92, Rotterdam.
- Kawamura, R., 1964. Study of sand movement by wind. University of Colorado. Hydraulics Engineering Laboratory Report. HEL 2-8. 38p.
- Lanfredi, N., Pousa, J., Mazio, C. y Dragani, W., 1992. Wave-power potential along the coast of the Province of Buenos Aires, Argentina. Energy 17(11): 997-1006.
- Lettau, K. y Lettau, H., 1977. Experimental and micrometeorological field studies of dune migration. Exploring the World's driest climate. Lettau y Lettau (ed). University of Wisconsin and Madison. Special Report 101: 110-147.
- López R. y Marcomini, S., 2000. Geomorfología y ordenamiento territorial del sector costero comprendido entre la ciudad de Miramar y el Arroyo Nutria Mansa, partido de General Alvarado. Revista de la Asociación Geológica Argentina 55(3): 251-264.
- Marcomini, S. y López, R., 1999. Alteración de la dinámica costera por efecto de la explotación de arena de playa, partidos de General Alvarado y Lobería, Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología 6(1-2): 1-18.
- Nakashima, Y., 1979. A fundamental study on the blown sand control. Bulletin Kysushu. University Forests 51: 125-183
- Perillo G., 2003. Dinámica del transporte de sedimentos. Asociación Argentina de Sedimentología, Publicación Especial 2, 200 p.
- Prat, M., 1999. La dynamique dunaire sur le littoral Landais (Seignosse et Tarnos). Travaux de Lab. de Géographie Physique Appliquée. Numero Special: 63-87, Bordeaux.
- Pye, K. y Tsoar, H., 1990. Aeolian sand and sand dunes. Hyman (ed). 396 p, Londres.
- Sarre, R., 1988. Evaluation of aeolian sand transport equations using intertidal zone measurements, Sounton Sands, England. Sedimentology 35: 671-679.
- Schnack, E., Fasano, J. y Isla, F., 1982. The evolution of Mar Chiquita Lagoon coast, Buenos Aires Province, Argentina. Holocene sea level fluctuations: magnitude and causes. Colquhoun (Ed.) University of South Carolina: 143-155, Columbia.
- Servicio de Hidrografía Naval, 2001. Tabla de mareas. Puertos de la Rep. Argentina y puertos principales de Brasil, Uruguay y Chile. Servicio de Hidrografía Naval (Ed.). Publicación H-610, 400p
- Servicio Meteorológico Nacional, 1992. Estadísticas climatológicas 1981-1990. Publicación B1, 125 p.
- Servicio Meteorológico Nacional, 2001. Estadísticas climatológicas 1991-2000. Publicación B12, 240 p.
- Sherman, D. y Hotta, S., 1990. Aeolian sediment transport: theory and measurements. Coastal Dunes: Form and Process. Nordstrom, Psuty y Carter (Eds.), J.Wiley :17-37, Chichester.
- Short, A. y Wright, L., 1984. Morphodynamics of high energy beaches: an Australian perspective. Coastal Geomorphology in Australia. Thom (Ed.) Academic Press Australia: 43-68.
- Spalletti, L., 1979. Análisis granulométrico de componentes pesados y livianos en arenas costeras bonaerenses con especial referencia a los concentrados naturales de minerales pesados. Revista del Museo de La Plata: 23-43.
- Spalletti, L. y Mazzoni, M., 1979. Características granulométricas de arenas de playa frontal, playa distal y médano del litoral bonaerense. Revista de la Asociación Geológica Argentina 34(1): 12-30.
- Stull, R., 1988. An introduction to boundary layer meteorology. Klumer Academic Publications (Ed.). 235 p, Boston.
- Sunrise Technical Consultants Co., 1971. Estudio mediante ensayo hidráulico sobre modelo del Puerto de Mar del Plata y sus alrededores. Harmi, Chou-Ku, Tokyo, Japón. 7 Tomos.
- Taylor, P., Mason, P. y Bradley, E., 1987. Boundary-layer flow over low hills (a review). Boundary-Layer Meteorology 39: 107-132.
- Teruggi, M., 1959. Las arenas de la costa de la Provincia de Buenos Aires entre cabo San Antonio y Bahía Blanca, LEMIT, Serie 2 (77): 1-37.
- Tinley, K., 1985. Coastal dunes of South Africa. South African National Scientific Programmes Report 109, CSIR, 300 p, Pretoria.
- Violante, R., y Parker, G., 1992. Estratigrafía y rasgos evolutivos del Pleistoceno medio a superior – Holoceno en la llanura costera de la región de Faro Querandí (Provincia de Buenos Aires). Revista de la Asociación Geológica Argentina 47(2): 215-227.
- White, A., 1979. Soil transport by winds on Mars. Journal of Geophysical Research 84: 4643-4651.
- Williams, D., 1964. Some aspects of the eolian saltation load. Sedimentology 3: 257-287.
- Xu, D. y Taylor, P., 1992. A non-linear extension of the mixed spectral finite difference model for neutrally stratified turbulent flow over topography. Boundary-Layer Meteorology 59: 177-186.
- Zingg, R., 1952. Wind tunnel studies of the movement of sediment material. Proc. of the V Hydraulic Conference Bulletin 34: 111-135.

Recibido: 13/11/03

Aceptado: 01/09/04