

DINÁMICA EÓLICA E HÍDRICA EN EL SISTEMA DE MÉDANOS GRANDES, SE DE SAN JUAN, ARGENTINA

AEOLIAN AND HYDRIC DYNAMIC IN THE MEDANOS GRANDES SYSTEM, SE SAN JUAN, ARGENTINA

GRACIELA PASTRÁN¹, EDUARDO MARTÍNEZ CARRETERO^{1,2},
MANUEL MAMANI³, ALBERTO VICH³ Y VICTOR SÁNCHEZ⁴

¹ Geobotánica y Ecología Vegetal, Departamento Biología-Museo de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional San Juan-Argentina

² Geobotánica y Fitogeografía (IADIZA) (CONICET), CC 507 5500 Mendoza-Argentina

³ Instituto Argentino de Glaciología, Nivología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) (CONICET)

⁴ Instituto Nacional del Agua (INA), Centro Regional de Aguas Subterráneas (CRAS)
mpastran@unsj.edu.ar

RESUMEN

En los sistemas sammófilos los factores ecológicos más importantes son el movimiento de arena y la disponibilidad de agua.

En este trabajo se describe la dinámica eólica e hídrica en crestas e intermédanos del sistema de los Médanos Grandes de San Juan, mediante el análisis del movimiento eólico de arena, los volúmenes de arena removidos por erosión hídrica medidos en cubetas y estudios topográficos y geofísicos para determinar el perfil de humedad del suelo.

En las crestas dominan los procesos eólicos, sin la formación de nebkhas y con diferencias en el movimiento de arena en función

de la cobertura vegetal. Para el período de estudio en las crestas con cobertura vegetal menor al 5% el movimiento de arena fue de $-0,361 \text{ m}^3/\text{m}$, mientras que en las crestas con cobertura de hasta el 35 % fue de $-0,017 \text{ m}^3/\text{m}$. Estos ambientes presentaron resistividades entre 5000 a 6000 $\Omega \cdot \text{m}$ correspondientes a menos de 0,6 gr de agua/100 gr de arena en los primeros metros de profundidad.

En los intermédanos las variaciones en la depositación y erosión eólica neta para el período de estudio fue de $0,032 \text{ m}^3/\text{m}$, mientras que la tasa media de erosión hídrica fue de $0,184 \text{ m}^3/\text{año}$.

En cuanto a la disponibilidad de agua se detectaron valores de

resistividad entre 500 y 700 $\Omega.m$ a a 5 m de profundidad que corresponden a un bulbo húmedo (agua capilar aislada) con valores de 1,21g a 2g de agua/100 g de arena.

Palabras clave: erosión, bulbo húmedo, agua capilar aislada, sammófilo

SUMMARY

In psammophilous systems the most important ecological factors are the sand movement and water disponibility.

In this paper is described the aeolian and hydric dinamism in crests and inter sand-dunes in the Medanos Grandes system (San Juan), analyzing the aeolian sand movement, volumes of sand removal by hydric erosion registered in erosion registered in canvas and by topographic and geophysic studies determining the soil profile of humidity,

In crests domain aeolian processes, without nebkhas formation and with differences in sand movement according to plant cover. For the studied period, in crests with plant cover less than 5% sand movement was $-0,361 m^3/m$ (agradation), while $-0,017 m^3/m$ when plant cover was up to 35%. These environments showed

resistivities between 5000 and 6000 $\Omega.m$, belonging to less 0.6 g water/100 g sand, in the first meters of depth.

In inter sand-dunes variations in both net deposition and aeolian erosion, for the studied period, was $0.032 m^3/m$, while the water (hydric) mean erosion rate was $0.184 m^3/year$. On the other hand, resistivity values between 500 and 700 $\Omega.m$ were detected to 5 m deep, belonging to a wet bulb (isolated capillary water) with values 1.21 to 2 g water/100 g sand.

Key words: erosion, wet bulb, isolated capillary water, psammophilous system

INTRODUCCIÓN

Los denominados mares de arena constituyen extensas áreas cubiertas por arenas eólicas en las que el viento juega un papel determinante en el modelado y en la distribución de las especies vegetales, principalmente por su efecto fisiológico de desecamiento y mecánico de enterramiento-desenterramiento de las plantas (Braun Blanquet, 1979; Ennos, 1997); a su vez, la vegetación obstaculiza la acción del viento reteniendo partículas, funcionando

como trampa de arena (Cooke *et al.*, 1993) generando montículos denominados nebkhas.

La dinámica de los ecosistemas dunarios se explica fundamentalmente por la interrelación entre arenas móviles, vientos constantes y regulares que involucran movimiento eólico de arena, obstáculos (vegetación) y por la dinámica del agua.

En los médanos la dirección de vientos, la topografía y la vegetación influyen en los patrones espaciales y temporales de erosión eólica (Fearnehough *et al.*, 1998). Yizhaq *et al.* (2007) determinaron que la velocidad crítica o umbral del viento para desplazar una partícula de arena es la de 22 km/h. El efecto del viento en las dunas es intenso y diferencial, siendo las laderas de barlovento las de máxima erosión. Este cambio inducido por la topografía del médano influirá en el transporte de arena (Qian *et al.*, 2009) y consecuentemente en la composición de la vegetación (Moreno-Casasola, 1986; González Loyarte, 1990, 2003; Méndez, 1992; Lortie *et al.*, 2007).

Entre los trabajos que analizan los procesos de erosión eólica en sistemas sammófilos continentales en Argentina se encuentran los aportes de Hueck (1951) en la cuenca de Andalgalá (Catamarca), Morello (1956) en Neuquén,

Dalmasso *et al.* (1988) en Lavalle (Mendoza) y Tripaldi (2010) en San Rafael (Mendoza).

La erosión hídrica es la resultante de la acción combinada del agua en forma de lluvia y del escurrimiento superficial para disgregar y transportar partículas del suelo, y de la capacidad del suelo para resistir dicha acción (Vich, 2004). Los factores climáticos, por lo tanto, cumplen un papel importante, y es la precipitación, tanto por su intensidad como por su duración, el elemento desencadenante del proceso. Las dunas también están sujetas a erosión hídrica que, en contraste con la erosión eólica, conduce a nivelación gradual de la topografía de la duna (Jungerius & Decker, 1994).

En los sistemas de médanos la arena determina poros grandes y uniformes con buena capacidad de infiltración, por lo que la mayor parte del agua caída es infiltrada, de manera que usualmente hay más humedad en las capas más profundas. En la Argentina, Hueck (1950) en los médanos de Cafayate (Salta) determinó diferencias de humedad entre la superficie y 30 cm de profundidad, en época de sequía, de hasta el 4,6%. Morello (1956) encontró que el sector de mayor humedad en los médanos se ubica entre los 10 y 40 cm de profundidad. En

general se considera que valores de humedad relativa que sobre la superficie del suelo alcanzan hasta un 5%, a profundidades de 20-30 cm muestran incrementos del 50% (Müller-Hohenstein, 1992).

Para conocer la humedad del subsuelo a profundidades mayores habitualmente se aplican técnicas de geofísica, fundamentalmente sondeos eléctricos verticales que usan métodos de prospección geoelectrónicos. Diversos autores han analizado el comportamiento del suelo en relación a los recursos hídricos (Rhoades, 1979; Barker, 1989; Frohlich & Parke, 1989). Gispert-Folch (2005) presentó una modificación de la metodología de Wenner, usada para el cálculo de la resistividad eléctrica (ρ) en estudios geoelectrónicos, y definió el desarrollo del volumen de suelo húmedo; mientras que Romero Castellanos (2007) determinó la distribución vertical de humedad en las dunas de Guardamar (España) combinando sondeos mecánicos y geoelectrónicos.

A la distribución tanto vertical como horizontal del agua en el suelo desde un punto de entrada de agua se lo denomina volumen de suelo húmedo (Roth, 1974; Zur, 1996).

MATERIAL Y MÉTODO

ÁREA DE ESTUDIO

Los Médanos Grandes son un conjunto de dunas fijas y semifijas ubicadas en el sector sur-sureste de San Juan, entre los 31° 40'S-67° 42'W y los 32° 00'S-68° 10'W cubriendo una superficie aproximada de 1700 km². El bioclima de la región corresponde al Tropical Hiperárido (Pastrán, 2011). La precipitación media anual es de 140 mm, el déficit hídrico anual es aproximadamente de 1168 mm (Berra & Ciancaglini, 1979). Considerando datos de la Estación Meteorológica Las Chacritas, situada a 15 km al oeste de los Médanos Grandes, el período con mayor frecuencia porcentual de vientos con velocidades críticas superiores a los 22 km/h corresponde a primavera, que es la época más seca, con lo que se acentúa su efecto erosivo.

DISEÑO DE CAMPO

EROSIÓN

Para analizar la erosión eólica se establecieron cuatro transectas con 10 estacas graduadas al milímetro en crestas con 5% de cobertura vegetal y en crestas con cobertura vegetal del 35%. En

los intermédanos se colocaron 4 transectas fijas con 4 estacas graduadas. Los datos se registraron entre junio y diciembre de 2009 y se efectuaron lecturas quincenalmente, midiendo las variaciones de altura (erosión-depositación).

Para estudiar la erosión hídrica se midieron los volúmenes de arena removidos en 8 cubetas ubicadas en intermédanos. El volumen de suelo erosionado se determinó como el producto entre la sección transversal media resultante entre dos mediciones consecutivas y la distancia que las separa (Figura 1).

Cada cubeta estaba delimitada por vegetación dominada casi exclusivamente por *Tricomaria usillo*, que retuvo el suelo con sus raíces. Dendrocronológicamente se determinó la edad de 20 plantas de *T. usillo* presente en las



Figura 1. Determinación de la cubeta de erosión hídrica a campo y parámetros medidos para su caracterización

Figure 1. Determination in field of a canva of water erosion and parameters for its characterization

cubetas, se midió el diámetro de tronco a altura de cuello de planta (2,7-4,5 cm) y se estableció la relación funcional entre el diámetro y la edad. Mediante la ecuación de regresión obtenida se calculó la edad de las plantas de otras cubetas.

PERFIL DE HUMEDAD EDÁFICA

Para modelar el perfil de humedad se empleó la técnica geofísica de Tomografía Eléctrica. Se realizó una campaña geofísica en el mes de octubre de 2008 (período libre de lluvias), se midieron 3 perfiles de Tomografía Eléctrica R2D: uno de 360 m y dos de 180 m de longitud, distribuidos de manera de cubrir: 1) la cresta de una duna de gran altura (80 metros), 2) la zona de intermédanos y 3) el perfil de enlace entre los dos anteriores para facilitar la interpretación. De esta manera se obtuvo información y resultados comparables entre cresta e intermédano, y además se identificaron en el subsuelo los distintos niveles resistivos en conjunto.

Para relacionar los valores de resistividad obtenidos mediante tomografía eléctrica con porcentajes de humedad en el médano se realizaron ensayos de tomografía en laboratorio. Se trabajó con arena de los Médanos Grandes tipifica-

das como arenas finas ($X=2,88 \phi$) (Tripaldi, 2002), efectuando mediciones geoelectricas con el Dispositivo Wenner-Schlumberger. Previo al ensayo se determinó gravimétricamente el contenido de agua a saturación.

Las lecturas iniciales fueron con la arena seca a estufa a 60°C durante 96 horas. Las lecturas de resistividad se realizaron variando el contenido de humedad de la arena mediante la incorporación de volúmenes conocidos de agua destilada (conductividad eléctrica: 200 micro siemens/cm), hasta llegar a la condición de saturación para al volumen de arena en estudio, con una temperatura media de la arena de 25°C. Se obtuvieron datos de resistividad, medidos inmediatamente de agregada el agua, a distinta profundidad: 30, 37 y 45 cm; para ello se varió la distancia entre los electrodo. Se asume que el movimiento de agua en los poros en profundidad no fue homogéneo, a pesar de que el agua en cada muestra se distribuyó lo más uniformemente posible. A partir de los datos geofísicos se realizó el modelado tridimensional empleando el programa Rock-Works Versión 1.5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

EROSIÓN

Los resultados que se presentan son indicadores de magnitudes y no valores exactos, ya que interesa conocer la dinámica de cada geotopo: crestas e intermedanos.

A diferencia de lo encontrado en otros sistemas de dunas donde en las crestas se registró la mayor tasa de depositación (Ardon *et al.*, 2009), en el sistema de Médanos Grandes en las crestas domina la erosión eólica y no se forman nebkhas.

Teniendo en cuenta los datos de campo registrados, las crestas indican deflación; las que tienen cobertura vegetal menor al 5% presentaron un movimiento de arena absoluto de: 0,361 m³/m/año y las con cobertura mayor al 35%, de 0,017 m³/m/año; en los intermedanos, el movimiento eólico de arena para el período estudiado fue de 0,032 m³/m/año (Figura 2).

Thomas *et al.* (2005) en las dunas del Kalahari (África) registraron diferencias en el movimiento de arena en crestas con distintas coberturas vegetales, sugiriendo que la cobertura vegetal es el primer factor limitante para el movimiento de arena.

La ubicación topográfica y el incremento de elementos finos en

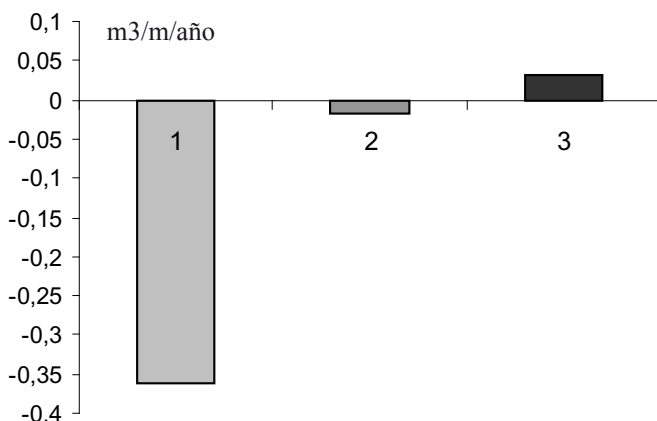


Figura 2. Movimiento absoluto de arena en crestas con diferente cobertura vegetal e intermédanos. Las crestas con cobertura vegetal menor al 5% presentan aproximadamente 20 veces más movimiento de arena. 1. Crestas con menos del 5% de cobertura vegetal, 2. Crestas con cobertura vegetal >35%, 3. Intermédanos
Figure 2. Absolut sand movement in crests with different plant cover and inter-sand dunes. Crests with plant cover <5% show approximately 20 times more sand movement. 1. Crests < 5% plant cover, 2. Crests with plant cover >35%, and 3. Inter sand-dunes

los intermédanos proporciona mejores condiciones de humedad, lo que permite mayor cobertura vegetal disminuyendo el efecto erosivo del viento en estos geotopos (Kim & Yu, 2008).

El volumen medio por erosión hídrica en cubetas fue de 9,20 m³/m².

Las plantas de *T. usillo* mostraron edades entre 45-50 años. La relación funcional diámetro-edad fue de: edad=42.7138+ (0.5783*diám.) (p=0,05; r²=0,49).

Teniendo en cuenta los volúmenes de las cubetas y la edad de *T. usillo* que definía cada cubeta se calculó una tasa media de ero-

sión en los intermédanos de 0,184 m³/año, para plantas con edades de 50 años.

PERFIL DE HUMEDAD EDÁFICA

Para estudiar la disponibilidad de agua considerando el volumen de arena estudiado y el volumen de agua a saturación, se determinó en laboratorio gravimétricamente la cantidad de gramos de agua contenida por cada 100 gr de arena, relacionándolo con datos de resistividad obtenidos en el ensayo inmediatamente después de la aplicación (Tabla 1), de manera similar a lo realizado por Gispert-Folch (2005) en áreas bajo riego.

Tabla 1. Contenido de agua y resistividad a distintas profundidades
 Table 1. Water content and resistivity to different depths

Lectura	Litros de agua	% saturación	g H ₂ O/100 g arena	Resistividad 45 cm	Resistividad 37 cm prof	Resistividad 30 cm prof
1	0,0	0	0	10851	8352	820
2	3,0	2,67	0,60	1865	1538	790
3	6,0	5,35	1,21	1055	785	639
4	9,0	8,03	1,81	810	533	338
5	12,0	10,71	2,42	640	439	288
6	22,0	19,64	4,44	395	267	175
7	32,0	28,57	6,46	233	220	102
8	42,0	37,5	8,48	171	120	76
9	52,0	46,42	10,50	137	92,6	53,9
10	72,0	64,28	14,54	107	97,5	48,9
11	92,0	82,14	18,58	88,5	64	45
12	112,0	100	22,62	81	51,8	42,6

En la Figura 3 se muestra la relación entre las tasas de incremento de la resistividad, entre 47-37 cm y entre 37-30 cm de profundidad, y el porcentaje de agua en el suelo. Para el período en estudio, con contenidos de agua entre 1,81 y 2,41 gramos cada 100 gramos de arena, las tasas de resistividades tienden a ser constantes, lo que reafirma que los rangos de resistividades menores a 1000 Ω.m se

relacionan con contenidos de agua mayores a 1,21 g % g de suelo.

La correlación obtenida entre las resistividades a distintas profundidades y el contenido de agua se observa en la Figura 4.

Los valores de resistividad registrados a campo varían entre 500-6300 Ω.m. Arenas secas de las dunas costeras de Guardamar (España) presentaron resistividades mayores a 9800 Ω.m (Romero

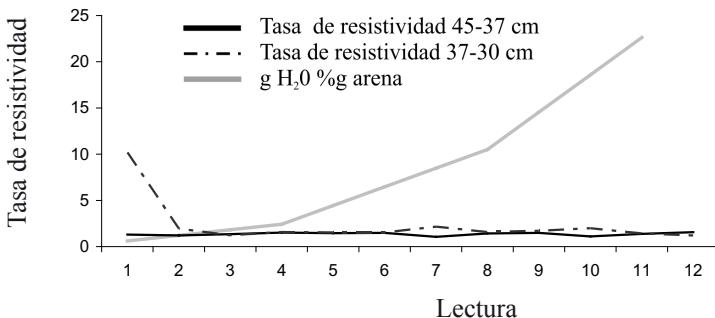


Figura 3. Variación de la tasa de resistividad (Ω.m) a tres profundidades y contenido de agua (g%g)
 Figure 3. Resistivity tax (Ω.m) variation at three depths and water content (g%g)

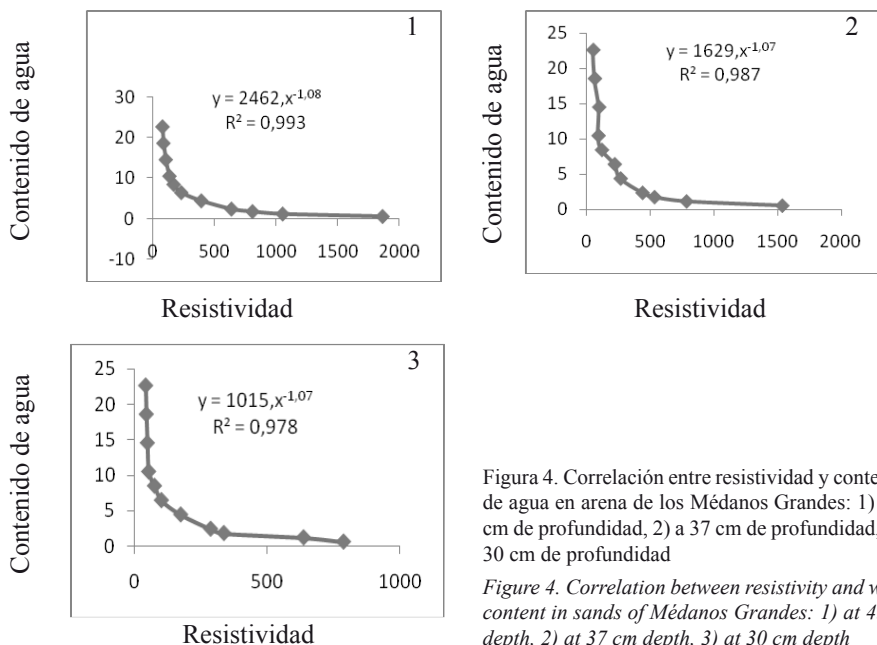


Figura 4. Correlación entre resistividad y contenido de agua en arena de los Médanos Grandes: 1) a 45 cm de profundidad, 2) a 37 cm de profundidad, 3) a 30 cm de profundidad

Figure 4. Correlation between resistivity and water content in sands of Médanos Grandes: 1) at 45 cm depth, 2) at 37 cm depth, 3) at 30 cm depth

Castellanos, 2007). En las crestas de Medanos Grandes, las arenas eólicas sueltas superficiales, muy secas, presentan valores superiores a 5000 $\Omega.m$ que corresponden a menos de 0,6 gr de agua/100 gr de arena. En el perfil tomográfico de la megaduna, el 4% de los datos presentan valores menores a 500 $\Omega.m$ a profundidades mayores a los 37 m correspondientes a 2 gr de agua/100 gr de arena. En el perfil del intermédano el 21% de los datos presenta resistividad menor a 500 $\Omega.m$, que corresponde a 2 gr de agua/100 gr de arena a 5 m de profundidad, en suelo no saturado. Muller-Hohenstein (1992) refiere que en campos eólicos de Arabia y Norte de África,

las capas profundas (sin indicar profundidad) contienen entre 3 y 5 gramos de agua/100 g de arena, que por la composición granular de la arena está disponible para las plantas.

En el modelado tridimensional (Figura 5) se han graficado las resistividades entre 6000-500 $\Omega.m$, obtenidas a campo.

En la Figura 5 se observa, por debajo de los 35 metros de profundidad en la megaduna y por debajo de los 5 metros hasta los 13 metros en el intermédano, el sector que correspondería al bulbo húmedo (suelo no saturado), con agua capilar aislada, con valores de resistividad menores a 700 $\Omega.m$ y que corresponde a contenidos de

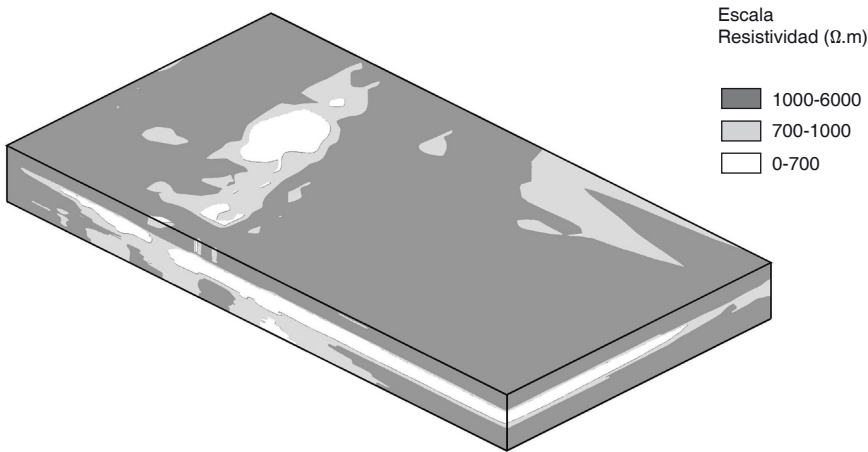


Figura 5. Modelado 3D del subsuelo con datos de resistividad (vista oeste transparente). De color blanco el área con resistividad menor a $700 \Omega.m$, que correspondería al bulbo húmedo (agua capilar aislada) con 1,21 hasta 2 gr de agua/100 gr de arena.

Figure 5. 3D Modeling of the sub-soil with resistivity data (West view transparent). White colour shows the area with resistivity below $700 \Omega.m$, it would correspond to the wet bulb (isolated capillarity water) with 1.21 to 2 g water each 100 g of sand.

humedad disponible para las plantas de aproximadamente 2 gr de agua/100 gr de arena. Este bulbo húmedo resulta equiparable al volumen de suelo húmedo, a partir de un punto de aporte, propuesto por Roth (1974) y Zur (1996).

CONCLUSIONES

En relación a los procesos de modelado por erosión eólica el sistema sammófilo de Médanos Grandes se encuentra estabilizado por la vegetación siendo inactivo o con actividad solo en las crestas con cobertura vegetal menor al 5%. En los intermédanos domina el proceso de erosión hídrica.

La técnica geofísica permitió trazar el perfil de humedad en las megadunas. Se encontró correla-

ción negativa entre la resistividad aparente del suelo y el nivel de saturación. Los sectores de mayor interés, desde el punto de vista del perfil de humedad del subsuelo en las megadunas, están ubicados entre los 15 y 35 metros de profundidad, y en los intermédanos altos entre los 5 y los 13 m, donde constituyen un bulbo húmedo o volumen de suelo húmedo con valores de 1,21 hasta 2 g de agua/100 g de arena disponible para las plantas.

BIBLIOGRAFÍA

ARDON, K., D. TSOAR, G. BLUMBERG, 2009. Dynamics of nebkhas superimposed on a parabolic dune and their effect on the dune dynamics. *Journal of Arid Environments*, 73: 1014-1022.

- BARKER, R.D., 1989. Depth of investigation of collinear symmetrical four electrode arrays. *Geophysics*, 54: 1031-1037.
- BERRA, A. & N. CIANCAGLINI, 1979. Mapas de evapotranspiración potencial de la provincia de Mendoza. IADIZA, *Cuaderno Técnico*, 1: 1-37.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1979. *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Editorial Blume. 820 Pp.
- COOKE, R., A. WARREN & A. GOUDIE, 1993. *Desert Geomorphology*. UCL Press, London. 526 Pp.
- DALMASSO, A., M. HORNO & R. CANDIA, 1988. Utilización de especies nativas en la fijación de médanos. En: Covas, G. (ed.), *Erosión: Sistemas de Producción, Manejo y Conservación del suelo y agua*, 221-290.
- ENNOS, A.R. 1997. Wind as an ecological factor. *Trends in Ecology and Evolution*, 12: 108-111.
- FEARNEHOUGH, W., M.A. FULLEN, D.J. MITCHELL, I.C. TRUEMAN & J. ZHANG, 1998. Aeolian deposition and its effect on soil and vegetation changes on stabilized desert dunes in northern China. *Geomorphology*, 23 (2-4): 171-182.
- FROHLICH, R.K. & C.D. PARKE, 1989. Electrical Resistivity of the Vadose Zone. *Ground water*, 27(4): 524-530.
- GISPERT-FOLCH, J., 2005. Definición del volumen de suelo húmedo (VSH) en microirrigación mediante la resistividad eléctrica: aplicación del estudio del porcentaje de VHS en el comportamiento del manzano (*Malus domestica* Borkh). En: Samper Calvete, F.J. & A. Paz González (eds.), *Estudios de la Zona no Saturada del Suelo*, VII: 75-80.
- GONZALEZ LOYARTE M., E. MARTINEZ CARRETERO & F.A., ROIG, 1990. Forest of *Prosopis flexuosa* var. *flexuosa* (Leguminosae) in the NE of Mendoza. I. Structure and Dynamism in the Area of the Telteca Natural Reserve. *Documents Phytosociologiques*, n.s. 12: 285-289.
- GONZÁLEZ LOYARTE, M., 2003. Relaciones entre granulometría, comunidades vegetales y procesos hídricos y eólicos en un piedemonte de los Andes centrales de Argentina. *Ecología Austral*, 13 (1): 27-48.
- HUECK, K., 1950. Estudio ecológico de los médanos de Cafayate (Salta). Posibilidades de su fijación. *Lilloa*, 23: 63-115.
- HUECK, K., 1951. Dos problemas fitogeográficos de la cuenca de Andalgalá. Provincia de Catamarca). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 3 (4): 224-233.
- JUNGERIUS P. & L. DECKER, 1994. Water erosion in the dunes. *CATENA* 23 (3-4): 269-279.
- KIM, D. & K. B. YU, 2008. A conceptual model of coastal dune ecology synthesizing spatial gradients of vegetation, soil and geomorphology. *Plant Ecology*. 202. 1.135-148.
- LORTIE, C. & H. CUSHMAN, 2007. Effects of a directional abiotic gradient on plant community dynamics and invasion in a coastal dune system. *Journal of Ecology*, 95:468-481.
- MÉNDEZ, E., 1992. Conservación de nuestros ecosistemas naturales. I. Los médanos de Potrerillos, Luján de Cuyo, Mendoza. *Multequina*, 1: 19-23.
- MORELLO, J., 1956. Estudios Botánicos en las Regiones Áridas de la Argentina. Reacciones de las plantas a los movimientos de suelos en Neuquén

- Extraandino. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 2. 79–152.
- MORENO-CASASOLA, P., 1986. Sand movement as a factor in the distribution of plant communities in a coastal dune system. *Plant Ecology*, 65(2): 67-76.
- MÜLLER-HOHENSTEIN, K., 1992. Las dunas como ecosistemas: experiencias en Europa, Arabia y Africa. *Bosque*, 13(1): 9-21.
- PASTRAN, M., 2011. La vegetación de los Médanos Grandes, provincia de San Juan: Análisis florístico y sinecológico. Tesis Doctoral. Probiol. Universidad Nacional de Cuyo. Inédita. 138 p
- QIAN, G.Z., W. LUO DONG, & H. WANG, 2009. Variations of horizontal and vertical velocities over two-dimensional transverse dunes: A wind tunnel simulation of the effect of windward slope. *Journal of Arid Environment*, 73: 12.1109-1116.
- RHOADES, J.D., 1979. Inexpensive four-electrode probe for monitoring soil salinity. *Soil Science. Society American Journal*, 43: 817- 818.
- ROMERO CASTELLANOS, L., 2007. Estudio de los flujos hídricos en las dunas de Guardamar del Segura. Tesis de Doctorado. Universidad de Alicante, 288 pp.
- ROTH, R.L., 1974. Soil moisture distribution and wetting pattern from a point source. *En: II International Drip Irrigation Congress Proceedings*. California, USA. 246-251.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. *Estación Meteorológica Las Chacritas Período 1951-1990*.
- THOMAS, D. & H. LEASON, 2005. Dunefield activity response to climate variability in the southwest Kalahari. *Geomorphology*, 64. 1-2, 117-132.
- TRIPALDI, A., 2002. Sedimentología y evolución del campo de dunas de Médanos Grandes (Provincia de San Juan, Argentina). *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 9.1: 65-82.
- TRIPALDI, A., 2010. Campos de Dunas de la Planicie Sanrafaelina: Patrones de Dunas e Inferencias Paleoclimáticas durante el Pleistoceno Tardío-Holoceno. *En: Zárate, M., A. Gil y G. Neme (comps.), Condiciones paleoambientales y ocupaciones humanas durante la transición Pleistoceno-Holoceno y Holoceno de Mendoza*. Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires, 331 Pp
- VICH, A., 2004. Erosión. *En: A. Gonzalez y A. Bejerman (eds.), Peligrosidad Geológica en Argentina. Metodología de análisis y mapeo. Estudios de caso*. ASAGAI Publicación especial 4.
- YIZHAQ, H., Y. ASHKENAZY & H. TSOAR, 2007. Why Do Active and Stabilized Dunes Coexist under the Same Climatic Conditions? *Physical Review Letters*, 98: 1-4.
- ZUR, B., 1996. Wetted soil volume as a design objective in trickle irrigation. *Irrigation Science*, 16: 101-105.

AGRADECIMIENTOS

A PROBIOL UN de Cuyo.

Recibido: 06/2011

Aceptado: 12/2011