

Depósitos de dunas ascendentes en la sierra de Los Tarjados, provincia de La Rioja, Argentina

Climbing dunes deposits in sierra de Los Tarjados, La Rioja province, Argentina

A. Tripaldi y C. O. Limarino

Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad de Buenos Aires. Pab. II, Ciudad Universitaria, C-1428EHA, Buenos Aires, Argentina y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

ABSTRACT

Eolian climbing dunes found in the sierra de Los Tarjados (south of the La Rioja province, Argentina) are described in this paper. According to their morphology two mayor types of dunes have been recognized: 1) climbing dunes associated to ramp deposits, which can ascent the mountain front; and 2) climbing dunes do not related to ramps and where deflationary channel developed between the dune front and the cliff. Climbing dunes sands show finer mean grain-size, better sorting and lower skewness than associated sand sheet deposits.

Key words: climbing dunes, ramps, falling dunes, sand sheet.

Geogaceta, 28 (2000), 141-144

ISSN: 0213683X

Introducción

La vertiente occidental de la Sierra de Los Tarjados, centro-sur de la provincia de La Rioja, Argentina (Fig. 1), muestra curiosas acumulaciones de arenas eólicas, en forma de dunas ascendentes, que trepan las laderas de la mencionada sierra (Figs. 2 y 3). Estas acumulaciones presentan escala variable, llegando las de mayor porte, a resultar visibles en imágenes satelitales a escala 1:250.000. Es importante destacar que en el área de Talampaya, si bien las dunas ascendentes son las dominantes, también se presentan acumulaciones eólicas que descienden el margen opuesto de la sierra, aunque alcanzando menor desarrollo (Fig. 3c). Más allá de la espectacularidad de estas formas de acumulación, su estudio reviste importancia por cuanto: 1) la existencia de dunas ascendentes (y descendentes) es un rasgo identificable en diversos sectores de los bolsones intermontanos del noroeste argentino (véase Muruaga *et al.*, 1999), 2) son escasos los modelos que expliquen la dinámica de transporte y deposición de sedimentos en este tipo de acumulación, y 3) el reconocimiento de estas formas eólicas en secuencias antiguas pueden tener importancia paleogeográfica (Jones y Blakey, 1993).

La existencia de acumulaciones de arena eólica relacionadas a altos topográficos, aunque aún no tratada en forma exhaustiva en la literatura, ha sido destacada por Smith (1954), Evans (1962), Goldsmith (1978), Tsoar (1983), Lancaster y Tchakerian (1996) y

Muruaga *et al.* (1999). Es importante aclarar que las acumulaciones eólicas en cuestión han recibido diversos nombres, basados en: 1) la forma externa que presenta el depósito y 2) su relación con la topografía (formas ascendentes versus descendentes). De este modo, las acumulaciones desarrolladas a barlovento de los frentes montañosos (formas ascendentes) fueron subdivididas en *echo dunes* (Clos-Arceuduc, 1969), cuando se trata de crestas aisladas de arena, paralelas a escarpas verticales y *climbing dunes* (Smith, 1954), en el caso de cuerpos de arena de aspecto mantiforme que ascienden los frentes montañosos (véase también Tsoar, 1983). Por otra parte, cuando las acumulaciones arenosas ocurren a sotavento del frente montañoso se denominaron *falling dunes* (Evans, 1962), aunque frecuentemente no constituyen acumulaciones de arena comparables a verdaderas dunas. Un interesante ejemplo de este último tipo de acumulación eólica ha sido estudiado por Muruaga *et al.* (1999), quienes denominaron médanos de altura a este tipo de depósitos.

Recientemente, Lancaster y Tchakerian (1996) analizaron las acumulaciones de arena ascendentes presentes en el desierto de Mojave, denominándolas rampas de arena (*sand ramps*). De acuerdo a los mencionados autores las rampas de arena conforman un depósito compuesto por sedimentos eólicos, fluviales y coluviales interestratificados, ubicados al pie de los frentes montañosos.

El objetivo de este trabajo es examinar distintos tipos de acumulaciones eólicas asocia-

das a altos topográficos. En particular se analizarán sus mecanismos de formación y crecimiento, así como las características texturales de los sedimentos que las componen. Las dunas estudiadas se ubican sobre la vertiente occidental de la sierra de Los Tarjados. Desde el punto de vista geográfico el área muestra dos unidades orográficas principales, la sierra de Los Tarjados-Sañogasta al Este y la de Valle Fértil-Sierra Morada al Oeste (Fig. 1). Entre estas dos áreas montañosas se dispone un dilatado valle intermontano, conocido con el nombre de campo de Talampaya, que se halla cubierto por acumulaciones eólicas y fluviales, estas últimas correspondientes a cursos fluviales efímeros y a bajadas aluviales.

Dinámica eólica del ambiente de margen de valle

En este trabajo se utiliza la denominación de ambiente eólico de margen de valle para designar al conjunto de depósitos formados como resultado de la perturbación que sufren los vientos regionales al interactuar con los frentes montañosos que limitan los laterales de los valles. En este contexto han podido reconocerse dos tipos de acumulaciones principales: 1) dunas ascendentes y 2) abanicos de arena. La denominación de dunas ascendentes incluye a las *climbing dunes* de Smith (1954), *echo dunes* de Clos-Arceuduc (1969), y parcialmente a las *sand ramp* de Lancaster y Tchakerian (1996). Se utiliza esta denomi-

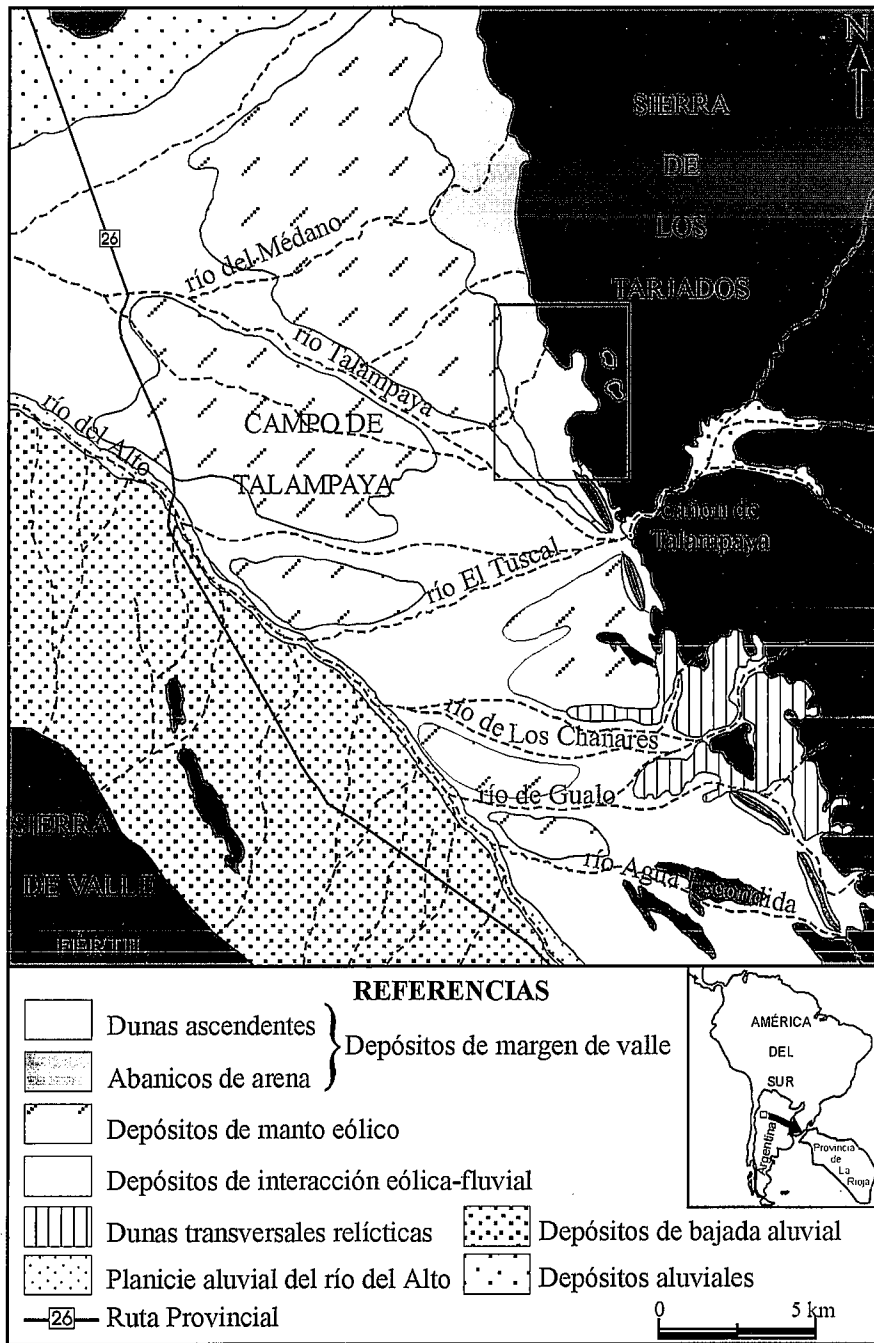


Fig. 1.- Mapa de ubicación mostrando la distribución de los sedimentos cuaternarios del campo de Talampaya. El área indica la localización de las fotos de las figuras 2 y 3.

Fig. 1.- Location map showing the distribution of quaternary sediments in the campo de Talampaya. The marked area correspond to photographs of figures 2 and 3.

nación en un sentido general para designar todas aquellas macroformas eólicas que ascienden a niveles topográficamente más altos del valle. Por su parte, los abanicos de arena (equivalentes a las *falling dunes* de Tsoar, 1983) son acumulaciones que se forman a sotavento del frente montañoso, de forma similar, aunque obviamente a una escala mucho mayor, a como lo hacen las sombras de arena a sotavento de la vegetación (Hesp, 1981). Estos depósitos, a diferencia de las dunas ascendentes, se hallan desconectados del piso del valle e incluyen

verdaderos cuerpos con forma de abanicos y otras acumulaciones de carácter cordoniforme, controladas por la presencia de altos topográficos elongados (Fig. 1).

Las dunas ascendentes de la sierra de Los Tarjados resultan complejas, siguiendo la denominación de McKee (1979), porque sobre ellas se superponen otros tipos de dunas menores. De esta forma, sobre las dunas ascendentes ocurren formas de lecho de menor porte, como pequeñas dunas y protodunas, ambas del tipo de crestas barjanoides, junto a sombras de

arena y, en algunos casos, formas de deflación como hoyos de voladura. Cabe destacar que estas dunas no se hallan completamente desprovistas de vegetación, aunque ésta es, en general, escasa. Por el contrario, los abanicos de arena, poco representados en el área, no muestran importante desarrollo de mesoformas eólicas y se encuentran casi enteramente tapizados por diferentes tipos de óndulas ("ripples").

La observación detallada de la morfología de las dunas ascendentes ha permitido identificar dos situaciones diferentes. Por un lado, aquellos casos en los que las dunas ascendentes se hallan asociadas a depósitos de rampa y, por el otro, cuando estos últimos faltan, produciéndose entonces el desarrollo de canales de deflación entre el frente de montaña y la duna (Fig. 4b). El término rampa (Lancaster y Tchakerian, 1996), corresponde a depósitos situados al pie de los frentes montañosos, formados por una asociación de sedimentos aluviales de grano grueso (taludes) y arenas eólicas. Estas rampas actúan como plataformas permitiendo el ascenso de las dunas sobre el frente de montaña (Fig. 3a), obsérvese que la existencia de las mismas disminuye el ángulo que forma el frente montañoso con la horizontal (a en la Fig. 4b). Este punto resulta crítico para la dinámica de las dunas ascendentes pues, como ya fue señalado por Tsoar (1983), cuando las pendientes son suaves las acumulaciones de arena conforman dunas de apariencia mantiforme, que pueden ascender el frente de montaña (c.f. *climbing dunes* de Smith, 1954). Por el contrario, cuando las rampas están ausentes, el obstáculo (frente de montaña) resulta más empinado y ejerce mayor resistencia al flujo eólico. Esto determina la separación del viento en un flujo ascendente, que sobrepasa el acantilado, y otro de tipo reverso (obsérvese las líneas de flujo de la Fig. 4b). De acuerdo a Tsoar (1983) ángulos mayores a 55° provocan el desarrollo de un importante flujo reverso que inhibiría el ascenso de las dunas. Como resultado de lo enunciado, las dunas ascendentes que no se encuentran asociadas a depósitos de rampa permanecen estacionarias y a cierta distancia del afloramiento rocoso, y separadas del mismo por canales de deflación (Fig. 3b). Esta distancia depende del ángulo que forma el frente montañoso con la horizontal, siendo mas grande para ángulos mayores (Tsoar, 1983). Debido a la presencia de un flujo reverso existe transporte de sedimentos desde el canal de deflación hacia la zona más alta de la duna, quedando evidenciado por el desarrollo de protodunas, con caras de sotavento opuestas al frente de montaña (obsérvese el esquema c de la Fig. 4). Según Tsoar (1983) la mayor altura que las dunas ascen-

m	X	S	σ	moda	% < 53 μ	ϕ 1%	Md	K_g	SK_1
D1	2,14	0,03	0,28	2,125	0,01	1,73	2,08	1,28	0,21
D2	2,29	0,17	0,46	2,125	0,62	1,70	2,18	1,25	0,41
D3	2,15	0,06	0,32	2,125	0,07	1,65	2,08	1,33	0,36
D4	2,25	0,04	0,35	2,125	0,03	1,70	2,18	1,04	0,26
D5	2,34	0,11	0,42	2,125	0,69	1,73	2,25	1,00	0,22
D6	2,28	0,17	0,59	1,875	0,63	1,33	2,15	0,97	0,28
D7	2,10	0,14	0,58	1,875	0,13	1,20	2,00	0,82	0,26
D8	2,39	0,08	0,62	1,875	0,41	1,30	2,38	0,86	0,01
D9	2,12	0,16	0,65	1,875	0,69	0,70	2,00	1,08	0,23
D10	2,08	0,04	0,29	1,875	0,04	1,58	2,03	1,10	0,31
D11	2,19	0,13	0,41	2,125	0,15	1,60	2,10	1,42	0,34
media	2,21	0,10	0,46	2,011	0,31	1,47	2,13	1,11	0,26
ME12	1,78	0,51	0,84	1,375	1,09	0,45	1,63	1,26	0,23
ME18	2,08	0,38	1,07	1,375	2,76	0,35	1,98	0,82	0,13
ME19	1,92	0,51	0,75	1,625	1,23	0,60	1,73	1,33	0,43
ME15	2,64	0,16	0,58	2,375	1,42	1,75	2,06	1,05	0,91
ME17	2,25	0,21	0,75	1,875	1,18	0,78	2,15	0,94	0,20
media	2,13	0,35	0,80	1,460	1,63	0,79	1,91	1,08	0,38

Tabla 1.- Parámetros granulométricos estadísticos de las arenas pertenecientes a las dunas ascendentes (D) y a los depósitos de manto eólico (ME). Referencias: X, media; S, factor S, σ , selección, % < 53 μ , porcentaje de material inferior a 53 μ ; Md, mediana; K_g , agudeza; SK_1 , asimetría.

Table 1.- Textural parameters of climbing dunes (D) and aeolian sand sheet deposits (ME). References: X, mean; S, S factor; σ , sorting; % < 53 μ , content of sediments finer than 53 μ ; Md, median; K_g kurtosis; SK_1 , skewness.

dentes asociadas a canales de deflación pueden alcanzar es aproximadamente un 30 o 40 % de la altura total del acantilado, llegando entonces a un estado de equilibrio donde el flujo de aire a barlovento se equilibra con el flujo reverso a sotavento.

Características granulométricas

Como puede verse en la figura 1 en el campo de Talampaya fueron reconocidos dos tipos de depósitos eólicos principales: 1) de margen de valle y 2) de manto eólico, estos últimos similares a los *aeolian sand sheet* descritos por Fryberger *et al.* (1979). Teniendo en cuenta que es muy probable que la mayor parte de la arena que constituye las dunas ascendentes provenga de los depósitos de manto eólico adyacentes, se han comparado las características texturales de ambos ambientes eólicos. Para ello, se realizó el tamizado de 16 muestras (Tab. 1) y se calcularon la media, selección y factor S, utilizando el método de momentos, y la mediana, asimetría y agudeza, mediante medidas gráficas.

Las características texturales de las arenas que conforman las dunas ascendentes y las formas de lecho del ambiente de manto eólico resultan aproximadamente iguales a las señaladas por diversos autores como características de los sedimentos de origen eólico (Folk, 1971; Ahlbrandt, 1979; Chaudhri y Khan, 1981; tabla 1). Las dunas ascendentes aquí estudiadas están constituidas por arena fina (media promedio de 2,21 ph:), bien seleccionada ($\sigma=0,45$) y de asimetría positiva ($SK_1=0,26$). Resultan entonces más finas y mucho mejor

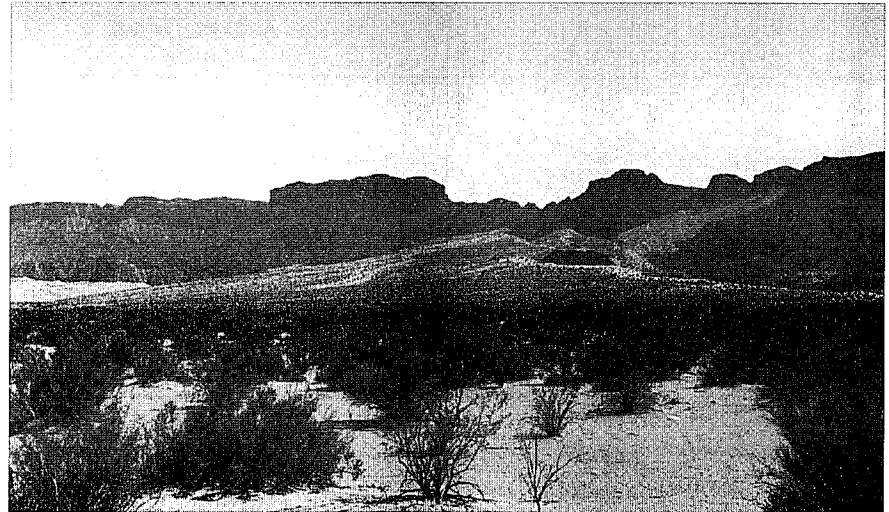


Fig. 2.- Vista general de las dunas ascendentes del campo de Talampaya.

Fig. 2.- General view of the climbing dunes of the campo de Talampaya.

seleccionadas que las descritas por Lancaster y Tchakerian (1996; media y selección iguales a 1,95 ph: y 0,81, respectivamente) y por Thomas *et al.* (1997; media y selección iguales a 1,80 ph: y 0,54, respectivamente) para depósitos similares. Así mismo, poseen muy bajo porcentaje de material inferior a 53 μ (menor al 0,5 %), resultando curvas entre leptocúrticas y mesocúrticas ($K_g=1,11$), en tanto el percentil del 1 % promedio corresponde a la arena mediana (1,47 ph:).

Por su parte, las arenas del manto eólico muestran una media en la arena fina (2,13 ph:,

en promedio), son moderadamente seleccionadas ($\sigma=0,80$) y tienen asimetría muy positiva ($SK_1=0,38$). Muestran valores elevados de material inferior a 53 μ (1,53 %) y del percentil del 1 % (0,79 ph:, arena gruesa) que las arenas de las dunas ascendentes y distribuciones granulométricas mesocúrticas ($K_g=1,08$). De esta forma, las dunas ascendentes muestran mejor selección (arenas bien seleccionadas a muy bien seleccionadas) y tamaños de media más restringidos (entre 2,08 y 2,39 ph:). Por el contrario, las muestras correspondientes a los mantos de arena resultan sólo moderadamente

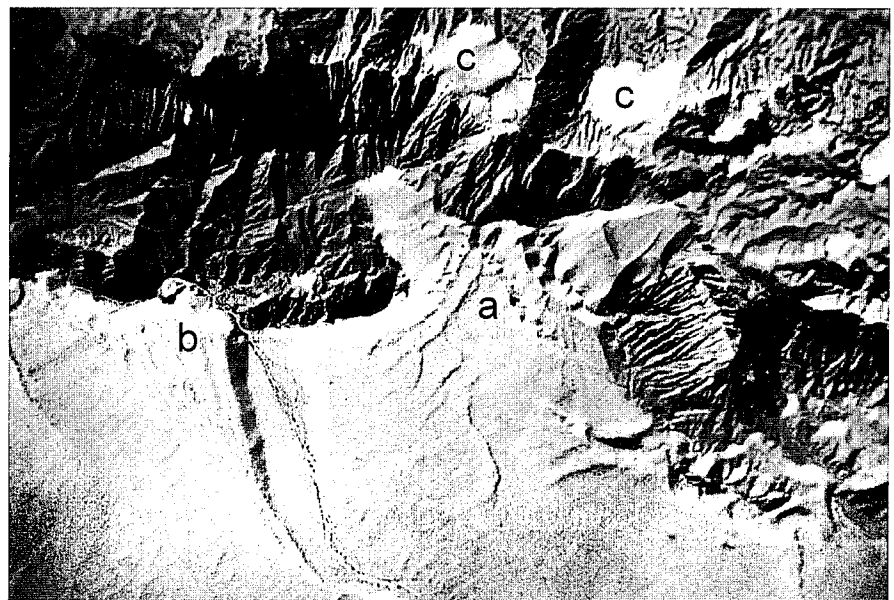


Fig. 3.- Vista aérea de los distintos tipos de acumulaciones eólicas de margen de valle. A), dunas ascendentes asociadas a rampas; B) dunas ascendentes sin rampas, obsérvese el desarrollo de canales de deflación entre éstas y el frente montañoso; C) abanicos de arena formados sobre la vertiente de sotavento de la Sierra de Los Tarjados.

Fig. 3.- Areal view of the different types of the studied eolian deposits. A), climbing dunes associated to ramps; B), climbing dunes do not related to ramps and with deflationary channels; C), falling dunes on the eastern margin of the Sierra de Los Tarjados.

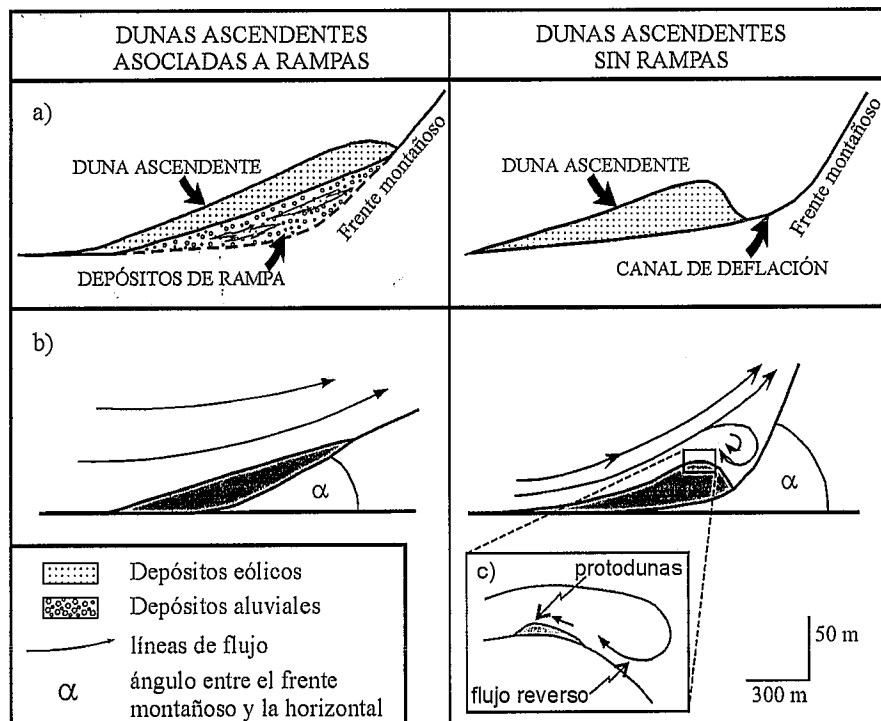


Fig. 4.- Esquema de la dinámica eólica de dunas ascendentes con y sin depósitos de rampas asociados.

Fig. 4.- Scheme of the eolian circulation over climbing dunes with and without ramp deposits

seleccionadas a mal seleccionadas y con una distribución mucho más amplia de los valores de media (1,78 a 2,64 ph). La mejor selección, menor dispersión de los valores de media y la menor asimetría que muestran las dunas ascendentes, reflejan el retrabajo por el viento de los depósitos de manto eólico que constituyen el área fuente de la arena para el desarrollo de estas formas.

Conclusiones

1. Las dunas ascendentes de la sierra de Los Tarjados son formas complejas, ya que sobre ellas se superponen otros tipos de formas de lecho eólico de menor porte (dunas y protodunas de crestas barjanoides, sombras de arenas y, en algunos casos, formas de deflación, como hoyos de voladura).

2. La existencia de depósitos de rampa condiciona la morfología de las dunas ascendentes observadas en el frente montañoso de la sierra de Los Tarjados, permitien-

do que las mismas traslapen las laderas de la sierra y alcancen niveles topográficos más altos que el valle contiguo.

3. Las dunas ascendentes no asociadas a depósitos de rampa se separan del frente montañoso por una depresión, aquí denominada canal de deflación, que comúnmente se encuentra ocupada por cursos fluviales efímeros.

4. Los canales de deflación y las protodunas que migran pendiente abajo sobre la superficie de las dunas ascendentes, deben su desarrollo a la presencia de flujos reversos, generados por el alto ángulo que se forma entre el frente montañoso y la superficie de ascenso de las dunas, cuando éstas no se asocian a depósitos de rampa.

5. Las características texturales de los depósitos que conforman las dunas ascendentes estudiadas resultan muy semejantes a las señaladas por diversos autores como características de los sedimentos de origen eólico (Folk, 1971;

Ahlbrandt, 1979; Chaudhri y Khan, 1981), ya que se encuentran constituidos por arena fina, bien seleccionada y de asimetría positiva.

6. Cuando se comparan las características granulométricas de los sedimentos que componen el ambiente de manto eólico y aquellos que forman las dunas ascendentes se observa que estos últimos resultan mejor seleccionados, con valores de media más acotados y menor asimetría, evidenciando un mayor retrabajo de estos depósitos.

Referencias

Ahlbrandt, T. S., (1979): *U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 1052*: 187-238.
 Evans, J. R., (1962): *Journal of Geology* 70: 107-113.
 Chaudhri, R. S. y H. M. M.Khan, (1981): *Sedimentary Geology* 28: 43-62.
 Clos-Arceduc, A., (1969): *Etudes de Photo-Interpretation*, Paris, IGN: 603 pp., en Tsoar (1983).
 Folk, R. L., (1971): *Sedimentology*, v. 16, p. 5-54.
 Fryberger, A. G., T. S. Ahlbrandt y S. Andrews; (1979): *Journal of Sedimentary Petrology* 49 (3): 773-746.
 Goldsmith, V., (1978): *Coastal Sedimentary Environments* (R. A. Davis, Ed.). Springer-Verlag: 171-235.
 Hesp, P. A., (1981): *Journal of Sedimentary Petrology* 51 (1): 101-111.
 Jones L. S. y R. C. Blakey, (1993): *Journal of Sedimentary Petrology* 63 (3): 852-859.
 Lancaster, N. y V. P. Tchakerian, (1996): *Geomorphology* 17: 151-165.
 McKee, E. D., (1979): *U. S. Geological Survey, Professional Paper 1052*: 1-19.
 Muruaga, C., M. M. Mazzoni y F. Colombo Piñol, (1999): *XIV Congreso Geológico Argentino, Actas I*: 67. Salta.
 Smith, H. S. U., (1954): *Geological Society of America, Annual Meeting, Abstract*: 102-103.
 Thomas D.S.G., M. D. Bateman, D. Mehrshahi y S.L. O'Hara, (1997): *Quaternary Research* 48: 155-161.
 Tsoar, H., (1983): M. E. Brookfield y T. S. Ahlbrandt, Eds. *Developments in Sedimentology, Elsevier, Amsterdam*: 247-249.