

Caracterización geomorfológica de las dunas longitudinales del Istmo de Médanos, estado Falcón, Venezuela

Recibido: 20 de octubre de 2010. Aceptado en versión final: 11 de mayo de 2011

Ronna Camacho*
Sasha Salazar*
Luis González*
Henry Pacheco*
Carlos Suárez*

Resumen. El trabajo analiza la geomorfología de dunas costeras longitudinales del Istmo de Médanos, costa noroccidental de Venezuela. La metodología consistió en consultas bibliográficas, cartográficas, fotogramétricas y satelitales, trabajos de campo y análisis sedimentológico. Los resultados indican que estas dunas están compuestas por arenas de grano fino en un 84.6%, muy bien seleccionadas en más del 60%, principalmente subangulares, con asimetría negativa predominante, distribución leptocurtica, y bajo contenido de carbonato de calcio cercano al 10%. Los datos sugieren que los sedimentos son de origen terrígeno y escasa distancia de transporte hasta el lugar de acumulación. Los vientos predominantes actuales son del noreste, con componentes direccionales secundarios que retrabajan los sedimentos

generando dunas transversales, barcanas y longitudinales; las dunas longitudinales son paralelas a la dirección del viento y se presentan colonizadas por vegetación xerofítica favorecida por la inactividad de las mismas. Estas dunas se originaron probablemente por una conjunción de factores como: disponibilidad de sedimentos en una amplia llanura costera relacionada con un nivel marino regresivo, vientos fuertes y persistentes, orientación oblicua de la costa respecto a la dirección del viento, una topografía continental favorable adyacente a la playa, bajo condiciones climáticas distintas a las actuales.

Palabras clave: Dunas longitudinales, Venezuela, estado Falcón, geomorfología eólica.

Geomorphological characteristics of longitudinal coastal dunes of the Isthmus of Médanos, Falcón state, Venezuela

Abstract. This paper analyzes the geomorphological characteristics of longitudinal coastal dunes of the Isthmus of Medanos, at Falcon state, northwestern Venezuela. The methodology used was based on field work, sedimentological analysis, cartographic, photogrammetric and satellite interpretation. The results shows that the sediments are fine grain sand (84.6%), well selected by over 60%, mainly subangular, with predominantly negative asymmetry, lep-

tokurtic distribution, and low-carbonate contents (10%). The data suggest a terrigenous source of sediments that evidence short transport distance. The current prevailing winds are from the Northeast with secondary directional components that reworked sediments and produced dunes like barchans, transverse and longitudinal dunes; the longitudinal dunes are parallel to the wind direction, and colonized by xerophitic plants. These dunes probably were

*Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Departamento de Ciencias de La Tierra. Núcleo de Investigaciones "Estudios del Medio Físico Venezolano", Av. Páez, El Paraíso, Caracas, Venezuela. E-mails: vielma2006@gmail.com; nathashaly@gmail.com; luisfgonzalez1@gmail.com; henrypacheco@gmail.com; carturo7982@yahoo.es

originated by a combination of factors including: availability of sediments in a wide coastal plain associated to regressive sea level, strong and persistent winds, oblique orientation of the coast, favorable topography adjacent to the beach and paleoclimatic conditions.

Key words: Longitudinal dunes, Venezuela, Falcon state, eolian geomorphology.

INTRODUCCIÓN

El modelado eólico resulta de la acción continua y permanente del viento que ocasiona la erosión, transporte y depositación de material sedimentario suelto, seco y de la talla de las arenas, donde las elevadas temperaturas, la precipitación escasa y el viento, son los factores fundamentales intervinientes en dicho proceso. Según la dirección del viento y los rasgos morfológicos pueden distinguirse diversos tipos de dunas, entre las cuales figuran barcanas, transversales, nebuchas y longitudinales.

Las dunas longitudinales son probablemente las más comunes en los campos eólicos actuales, son dominantes en los desiertos de Australia, África (Mauritania Occidental, zona Saheliana, Kalahari, Libia y Namib) y del Middle East, y en los Estados Unidos en Arizona y California (Ahlbrandt y Fryberger, 1982; Pye y Tsoar, 2009).

En Venezuela se localizan dunas longitudinales en los Llanos centrales y orientales y en algunas áreas del borde norte costero. En este caso se estudiaron las dunas costeras longitudinales ubicadas en el Istmo de Médanos, del Parque Nacional Médanos de Coro, estado Falcón, donde destaca una serie de montículos en forma alargada con valles y crestas sucesivas, orientadas paralelas a la dirección prevaleciente del viento.

El objetivo de esta investigación es estudiar las características geomorfológicas y los factores que han incidido en el origen del campo de dunas longitudinales mencionado, a los fines de proponer un modelo evolutivo del área en estudio. El área se localiza en la costa noroccidental de Venezuela, en el estado Falcón entre las coordenadas $11^{\circ} 28' 09''$ - $11^{\circ} 41' 10''$ N y $69^{\circ} 40' 15''$ - $69^{\circ} 45' 58''$ W; geomorfológicamente se trata de una llanura fluvio-marina cubierta en ciertos sectores por sedimentos

eólicos, originada luego de la formación de un gran tómbolo que unió la actual Península de Paraguaná con el continente (Figura 1).

El clima predominante es árido BWi según la clasificación de Köppen, con una temperatura media anual de 28° C, una variación térmica anual de 1 a 2° C y diaria de 10° C. La precipitación anual promedio es de 400 mm, distribuidos entre octubre y diciembre. El viento tiene una velocidad media anual de 6.1 m/s (periodo 1961-1990) con dirección dominante del este (Foghin y Reyes, 1999; Ministerio de la Defensa 1985; Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales-FAV 1993; González 1990), (Tablas 1, 2 y 3).

La vegetación es de tipo xerofítica compuesta principalmente por plantas resistentes al déficit hídrico y a la presencia de sales, tales como herbazales matorrales o arbustos desérticos (Tamayo 1945, 1981; Vareschi, 1979).

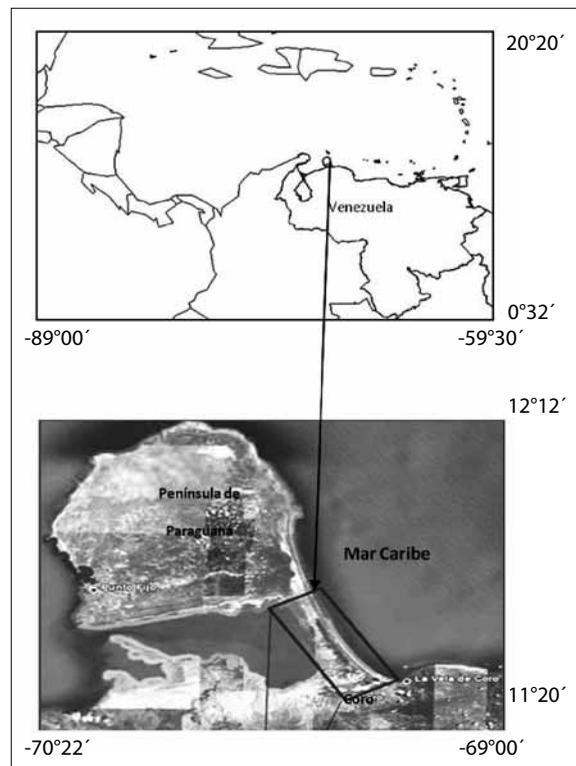


Figura 1. Ubicación del área en estudio.

METODOLOGÍA

Trabajo de campo

Se recolectaron muestras de sedimentos en las dunas longitudinales en sentido norte-sur en el Istmo de Médanos de Coro, desde la Capilla de las ánimas de Guasare hasta el campo de dunas transversales activas; cada sitio de muestreo fue geoposicionado con GPS y ubicado en un mapa topográfico de la zona a escala 1:25 000. Sobre las fotos aéreas e imágenes de satélite se determinó la distribución espacial de los ambientes sedimentarios se midió la longitud y orientación promedio de las dunas, los espacios interdunares y se seleccionaron los puntos de muestreo, donde se recolectaron 500 gramos de arena en los flancos, topes y depresiones de diez dunas, totalizando 39 muestras. También se efectuaron mediciones de longitud, ancho y altura de las dunas, depresión interdunar, así como la pendiente de los flancos.

Análisis de laboratorio

Tamizado en seco

Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente por setenta y dos horas, se pasaron por el tamiz N°10 (2 mm) para eliminar los posibles restos de materia orgánica; se tomaron 20 gramos de cada muestra para proceder al tamizado. Los tamices utilizados fueron 45 (0.35 mm, 1.50 Ø), 60 (0.25 mm, 2.0 Ø), 80 (0.177 mm, 2.50 Ø), 120 (0.125 mm, 3.0 Ø), 170 (0.088 mm, 3.50 Ø) y 230 (0.0625 mm, 4.0 Ø); se utilizó un agitador mecánico por espacio de 15 minutos. Los datos obtenidos se utilizaron para construir las curvas granulométricas y calcular los parámetros estadísticos.

Contenido de carbonato

Este procedimiento ha sido definido por distintos autores como descarbonatación o calcimetría de las muestras, utilizando la técnica del doble pesado que consiste en la eliminación de carbonato de calcio o bioclastos presentes en los sedimentos, a través del lavado con ácido clorhídrico (Twenhofel y Tyler, 1941).

Tabla 1. Distribución anual de la precipitación (en mm) en la estación Coro

Estación	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	sept.	oct.	nov.	dic.	Anual
Coro	23.1	19	9.96	16.9	29.7	26.9	43	28.4	37.7	58.2	59.2	55.8	381.67

Fuente: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales-FAV (1993), Dirección de Hidrología y Meteorología, Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica.

Tabla 2. Distribución anual de la temperatura (en grados centígrados) en la estación Coro

Estación	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	sept.	oct.	nov.	dic.	Anual
Coro	26.3	26.5	27	27.6	28.4	28.6	28.4	28.7	28.8	28.3	27.6	26.6	27.7

Fuente: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales-FAV (1993), Dirección de Hidrología y Meteorología, Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica.

Tabla 3. Dirección y velocidad del viento en la estación Coro, periodo 1951-1980

Viento	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	sept.	oct.	nov.	dic.	Anual
Dirección	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE
Velocidad media km/h	19.1	20.9	23.6	23.2	22.4	22.3	22.0	21.8	20.9	17.4	16.7	17.3	20.6

Fuente: Ministerio de la Defensa (1985), Dirección de Hidrología y Meteorología, Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica.

Para la aplicación de esta técnica se seleccionaron once muestras correspondientes al tope, flanco y depresión de las dunas trabajadas. Se pesaron cuatro gramos de cada muestra y posteriormente se agregó una pequeña porción de ácido clorhídrico (HCl), al 10% de concentración, para diluir los carbonatos; se lavó la muestra con agua destilada hasta eliminar totalmente la efervescencia. Luego se secaron las muestras a temperatura ambiente por 72 horas, se pesó nuevamente cada muestra y se procedió a calcular el porcentaje de carbonato de calcio de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\%CaCO_3 = (\text{peso final} \times 100) / \text{peso inicial}$$

Morfoscopia binocular

A través del microscopio binocular, se determinó visualmente el índice de redondez y la composición mineralógica de las arenas, tomando como referencia la escala de Powers (1953).

Contenido de minerales pesados

Para la separación de los minerales pesados de los ligeros en una muestra de sedimento, se sumerge una pequeña cantidad de sedimentos arenosos en un líquido de densidad conocida, con objeto de que los minerales ligeros floten y los pesados se hundan hasta el fondo (Carver, 1971). Para este caso se utilizaron 25 cm³ de bromoformo con una densidad relativa 2.85 gr/cm³; la muestra descarbonatada fue vertida en el bromoformo y luego se separaron los minerales pesados, asentados en el fondo, a través de su retención en filtros de papel.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el Istmo de Médanos se encuentra una variedad de ambientes sedimentarios, en dirección este a oeste existe una zona de playa de hasta 200 m de ancho, seguida por el campo de dunas longitudinales cubriendo un área de 51 km², después se aprecia un área de salinas de unos 11 km² de superficie, culminando con una zona pantanosa con una superficie cercana a los 80 km². En la parte sur del istmo se aprecia, después del campo de dunas longitudina-

les, una zona con presencia de vegetación xerófila cubriendo una superficie de unos 12 km², así como una llanura de deflación de 15 km² aproximadamente. Destaca la presencia de un campo de dunas transversales activas de unos 12 km² que parecen cubrir antiguas dunas parabólicas y longitudinales, posiblemente por una reactivación de algunas crestas y/o flancos de las longitudinales (Figura 2).

Las dunas longitudinales estudiadas se orientan en dirección ENE-WSW, comenzando a unos 200 m de la línea costera con longitudes entre 800 y 1 200 m, alturas que oscilan entre 5 y 10 m, con inclinación de los flancos cercana a los 25° y depresiones inter-dunares de unos 50 m de ancho (Figura 3).

Características granulométricas

Los parámetros estadísticos que permitieron caracterizar el sector de dunas longitudinales localizadas en el Istmo de Médanos son los propuestos por Folk y Ward (1957): el promedio o medida de tendencia central, la selección, dispersión o intervalo de distribución, la asimetría o simetría y la curtosis o agudeza de la curva de frecuencia (Tabla 4).

Tendencia central: las arenas presentan un rango límite de tendencia central que oscila entre 1.36 y 2.88 Ø, respectivamente lo cual permite clasificarlas como arenas de grano fino en un 84.6% y grano medio en un 15.4%. Esto se cumple especialmente en los topes y flancos, pues en las depresiones predominan las arenas de grano medio con un porcentaje de 62%. De acuerdo con el promedio general de 2.39 Ø estos sedimentos pueden clasificarse según la escala de Wentworth como arenas de grano fino.

Selección o dispersión: los valores presentan un rango que oscila entre 0.28 y 1.23 Ø, esto permite clasificar las arenas como muy bien seleccionadas a selección pobre: el 62% de los granos se presentan de muy bien seleccionada a bien seleccionada, lo que pudiera deberse a un agente de transporte con competencia sostenida en el tiempo, un largo recorrido o la ausencia de bioclastos en la muestra original. El otro 23% es moderadamente seleccionado y solo un 15% presenta selección pobre. Sin embargo, el promedio general de 0.56 Ø nos permite clasificar las arenas como moderadamente seleccionadas (Figura 4 y Tabla 4).

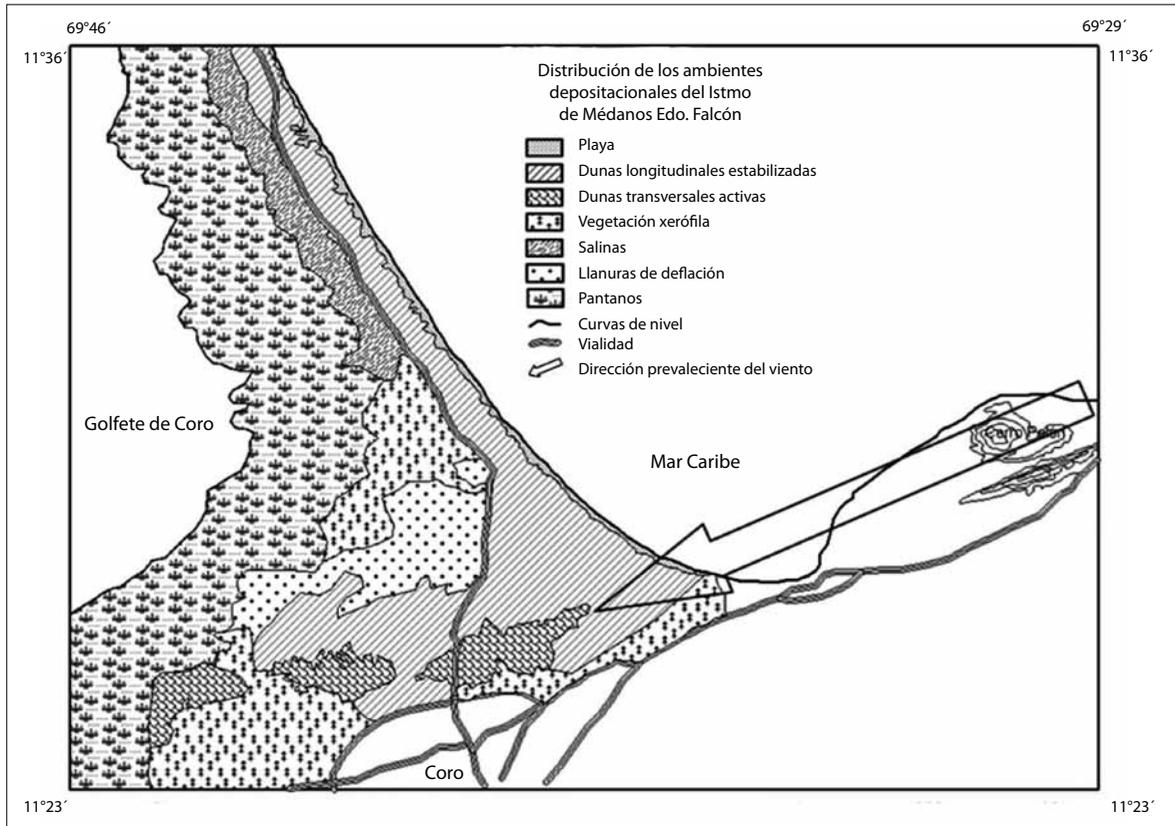


Figura 2. Distribución espacial de ambientes sedimentarios en el Istmo de Médanos, estado Falcón.

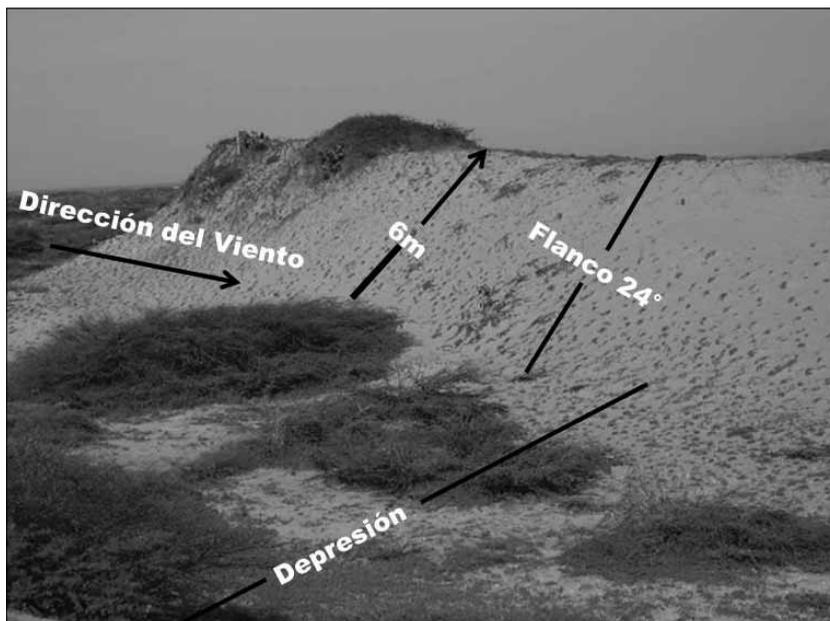


Figura 3. Morfología de las dunas longitudinales del Istmo de Médanos. Se destacan la depresión interdunar, los flancos, el tope y la dirección prevaleciente del viento.

Tabla 4. Parámetros estadísticos de los sedimentos de las dunas longitudinales del istmo de Médanos, Estado Falcón

Parte de la duna	Muestra	T Central	Selección	Asimetría	Agudeza
Depresión	1	2.48	0.38	0.45	1.06
	2	1.48	1.10	-0.34	0.49
	3	2.66	0.33	-0.10	1.28
	4	2.30	0.72	-0.35	1.75
	5	1.86	1.23	-0.71	1.54
	6	1.52	1.12	-0.31	0.52
	7	2.27	0.81	-0.31	1.59
	8	2.40	0.41	-0.16	0.97
	9	1.80	1.23	-0.53	1.21
	10	2.38	0.51	-0.03	1.23
	11	2.23	0.35	0.15	0.98
	12	1.36	1.02	-0.40	0.54
	13	2.03	0.44	0.18	1.06
	Promedio	2.06	0.74	-0.19	1.10
Flanco Norte	1	2.50	0.39	-0.04	1.33
	2	2.68	0.45	-0.21	1.19
	3	2.48	0.66	-0.51	2.27
	4	2.80	0.29	0.04	1.17
	5	2.78	0.34	0.11	1.52
	6	1.63	1.13	-0.55	1.53
	7	2.62	0.35	0.09	1.28
	8	2.60	0.33	0.06	1.28
	Promedio	2.51	0.52	-0.13	1.45
Flanco Sur	1	2.83	0.36	0.05	1.64
	2	2.82	0.29	0.04	1.35
	3	2.80	0.34	-0.05	1.23
	4	2.53	0.48	-0.26	1.02
	5	2.30	0.80	-0.52	1.84
	6	2.30	0.48	0.00	0.89
	7	2.03	0.65	-0.14	1.69
	8	2.74	0.32	0.21	1.77
	Promedio	2.54	0.47	-0.08	1.43
Topes	1	2.82	0.29	0.14	1.35
	2	2.88	0.27	0.16	1.16
	3	2.63	0.68	-0.46	3.28
	4	2.75	0.28	-0.07	1.43
	5	2.66	0.29	0.07	0.61
	6	2.31	0.85	-0.52	1.80
	7	2.40	0.82	-0.35	1.66
	8	2.50	0.40	0.01	1.05
	9	2.61	0.33	0.00	1.22
	10	2.56	0.35	0.07	1.09
Promedio	2.61	0.46	-0.10	1.47	
Promedio general	2.39	0.56	-0.13	1.33	

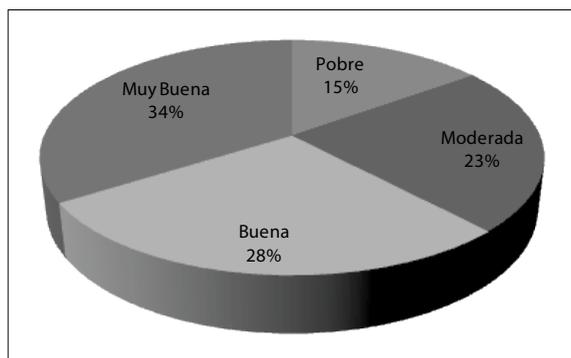


Figura 4. Porcentaje de selección de los sedimentos de las dunas del Istmo de Médanos

Asimetría o simetría: es una medida independiente de la selección que indica el predominio de una población en relación con otra. Es un parámetro que relaciona el grado de simetría que guarda la granulometría respecto a las colas de una determinada distribución. Los resultados obtenidos de la asimetría oscilan entre -0.71 a 0.45. El 56% de las muestras analizadas presentan asimetría negativa con un promedio general de -0.13, lo cual implica que las mezclas gruesas superan a las finas (Tabla 4). En materiales transportados por el viento lo más frecuente es encontrar asimetría positiva debido a la adición de sedimentos finos (Martins *et al.*, 1997). Sin embargo, estos valores negativos de los sedimentos de las dunas longitudinales analizadas, de acuerdo con la escala europea usada por Folk y Ward (1957), se pueden interpretar como una concentración de las tallas más gruesas debido a procesos de deflación y a la escasa distancia de transporte por el agente eólico.

Curtosis o agudeza: este parámetro permite comparar la dispersión de la parte central y la dispersión de los extremos de la curva de frecuencia. El promedio general del área en estudio es de 1.33, lo que indica que las arenas que conforman las dunas longitudinales en el Istmo de Médanos presentan una distribución leptocurtica, correspondiendo a un sedimento poco disperso, bien seleccionado con una concentración de los granos finos en la parte central de la curva (Tabla 4).

Índice de redondez: la técnica de la morfoscopía binocular permitió establecer el grado de des-

gaste de las partículas de arena de las once muestras seleccionadas, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 5. De acuerdo con el índice de redondez de Powers (1953); estas muestras están distribuidas de la siguiente manera: el 84% de los granos son sub-angulares lo cual muestra un pequeño grado de desgaste entre sus aristas y el 11% de las partículas de arena son angulosas, un 7% de granos es subredondeado y el otro 1% restante es redondeado. Estas características evidencian poco o ningún desgaste, lo que puede deberse a la corta distancia recorrida por las mismas desde la fuente al sitio de depositación (Figuras 5 y 6).

Composición de los sedimentos

Análisis calcimétrico. La principal fuente de arena de las dunas longitudinales proviene de las playas, ubicadas en la parte oriental del Istmo de Médanos.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar que las muestras exhiben un bajo contenido de carbonato de calcio (CaCO_3), con un rango variable entre 12.5 y 2.5% y un promedio de 10% para los flancos (Tabla 6). Goddard y Picard (1972) en su estudio de los Médanos de Coro explican que el material calcáreo proviene de moluscos fósiles muy recientes, los cuales han sido triturados por el oleaje, retrabajados por la abrasión y mezclados con la arena que se encuentra en el borde de la costa; en contraste, se observa un predominio de 90% de otros minerales, lo que puede sugerir que la mayoría de los sedimentos de las dunas son de origen terrígeno, producidos por el transporte y descarga de los ríos en la costa oriental del estado Falcón, los cuales forman una pluma de sedimentos en las aguas marinas; la deriva y la corriente litoral van movilizándolo y depositándolo en las playas del Istmo estos sedimentos, quedando expuestos a la actividad eólica. Esta afirmación se fundamenta en la alta descarga de sedimentos de los Ríos Tocuyo, Ricoa-Hueque reportada por Ramírez *et al.* (1992); los datos de la Tabla 7 muestran que el aporte de estos ríos es cercano a los 50 millones de toneladas/año.

Contenido de minerales pesados: se hizo evidente la escasa presencia de estos minerales en el área en estudio, posiblemente debido a que la fuente de sedimentos de estas arenas presentan escasa

Tabla 5. Resultados del análisis morfoscópico de los sedimentos de las dunas longitudinales del Istmo de Médanos, Estado Falcón

Parte de la duna	Muestra	Nº de granos de arena	Angular	Sub-Angular	Sub-Redondeados	Redondeados
Depresión	1	51	12	25	8	6
	2	195	13	172	10	0
	3	156	24	126	6	0
	4	35	9	18	8	0
	5	108	17	86	5	0
	Total	545	75	427	37	6
	Promedio	109	15	85.4	7.4	1.2
Tope	1	175	14	158	9	0
	2	128	16	116	7	0
	3	52	8	49	6	0
	Total	355	38	323	22	0
	Promedio	118.33	12.67	107.67	7.33	0.00
Flanco	1	162	7	117	29	14
	2	161	18	138	8	0
	3	165	9	156	3	0
	Total	488	34	411	40	14
	Promedio	162.67	11.33	137.00	13.33	4.67
General	Total	1388	147	1161	99	20
	%		84	11	7	1

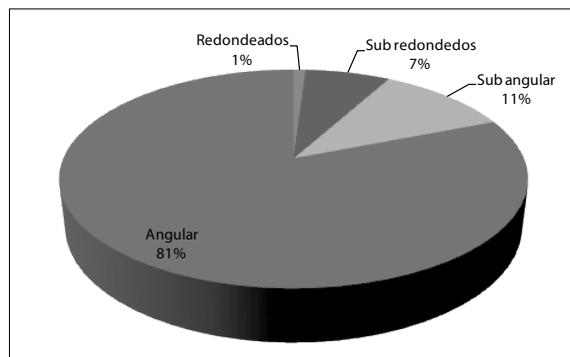


Figura 5. Porcentaje de índice de redondez de los sedimentos de las dunas del Istmo de Médanos

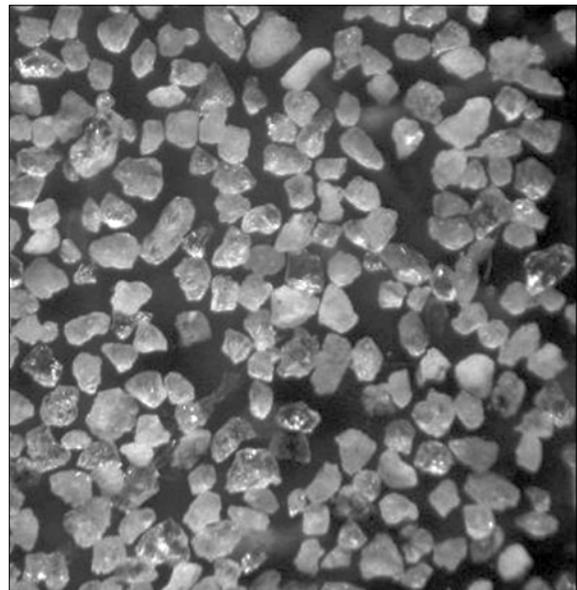


Figura 6. Microfotografía de las arenas de las dunas longitudinales. Obsérvese el índice de subangularidad de las partículas. X25

Tabla 6. Resultados de la decalcificación de los sedimentos de las dunas longitudinales del Istmo de Médanos, Estado Falcón

Parte de la duna	Muestra	Contenido de CaCo ₃ (%)	Otros minerales (%)
Depresión	1	10	90
	2	10	90
	3	12.5	87.5
	4	7.5	92.5
	Promedio	10	90
Tope	1	15	85
	2	10	90
	3	2.5	97.5
	Promedio	9	91
Flanco	1	15	85
	2	10	90
	3	10	90
	4	5	95
	Promedio	10	90
	Promedio general	10	90

proporción de minerales ferromagnesianos en su litología parental.

Factores energéticos

En los ambientes dunares costeros, el viento es el agente energético fundamental que se encarga de remover y transportar de la superficie de la playa y áreas desprovistas de vegetación la fracción arenosa, para conformar los diferentes tipos de dunas. Otros factores que intervienen en la formación de

las dunas son las escasas precipitaciones y los altos valores de evaporación potencial condicionados por la temperatura.

Según Folk (1971), Alcántara y Alonso (2000), Goudie, y Watson (2005), Ley *et al.* (2007) las dunas longitudinales requieren para su formación: *a*) un área de material arenoso suelto, *b*) nivel freático profundo y vegetación escasa, y *c*) fuertes vientos en una dirección predominante. Algunos de estos factores se conjugan en el área en estudio, complementados con la orientación oblicua de la costa del Istmo respecto a la dirección del viento y una topografía continental relativamente plana y sin obstáculos adyacente a la playa, lo cual favorece la formación de dunas.

En el caso del Istmo de Médanos, la dirección predominante de los vientos es ENE (Tabla 3) con componente sur (Foghin y Reyes, 1999), lo cual se manifiesta en las dunas longitudinales paralelas unas a otras. Bigarella (1972) y Livingstone *et al.* (2007) señalan que este tipo de dunas se forman como consecuencia de la acción de vientos soplando con direcciones diferentes, disponiéndose la duna paralelamente a la resultante de dichos vientos. Por su parte, McKee y Tibbits (1964), McKee (1966) y Bagnold (1953) proponen que la formación de las dunas longitudinales se asocia a flujo helicoidal del viento: cuando el aire se calienta origina torbellinos que adoptan una forma de espiral, con ejes horizontales y paralelos a la dirección del viento. En cada depresión situada entre dos dunas se formarían espirales, en los cuales el movimiento se presenta en sentido contrario y hacia los flancos de las dunas. Como consecuencia la arena es removida de las depresiones a partir del punto en que se unen las ramas descendentes de los torbellinos y acumulada en las zonas de

Tabla 7. Caudal y carga de ríos que desembocan en la costa oriental del Estado Falcón

Subcuenca de drenaje Mar Caribe	Línea de costa (km)	Caudal km ³ /año	Carga de sedimentos Sólidos(106 ton/año)	Carga disuelta (106 ton/año)
Río Tocuyo-Tucurere	60	1.7	39.6	0.81
Río Hueque-Ricoa	338	1.3	9.0	0.37
Total	398	30	48.6	1.18

Fuente: modificado de Ramírez *et al.* (1992).

convergencia de las ramas ascendentes, los cuales corresponden a los topes de las dunas.

Influencia de la vegetación

La vegetación, la humedad y la topografía son los factores naturales que influyen en los ambientes eólicos costeros (Alcántara y Alonso, 2000); la vegetación puede cubrir en diferente grado las dunas una vez formadas por el viento o propiciar su formación como sucede en el caso de las nebuchas.

En la costa venezolana del estado Falcón, hacia el oeste de los denominados Médanos de Coro adyacentes al área en estudio, las dunas tipo nebuchas se han formado por el obstáculo que la vegetación de matorrales y herbazales ofrece al viento y que induce la sedimentación de las arenas (Suárez *et al.*, 1999).

En el caso de las dunas longitudinales estudiadas, la vegetación ha colonizado diferencialmente las distintas partes de estas acumulaciones eólicas, así lo reportan Tamayo (1945, 1981) y Vareschi (1979): *a*) la cresta de las dunas está cubierta parcialmente por cuji yaque (*Prosopis juliflora*), el cual aparece como un arbusto de escasa altura que se extiende en forma rastrera a manera de una alfombra vegetal; *b*) en los flancos predominan gramíneas como *Aristida cognata* que crece en macollas y puede concentrarse formando una grama tupida, y *c*) en las depresiones interdunares, o “callejones” como los llama Tamayo, aparecen arbustos como *Acadia tortuosa*, *Lycium tweedianum* y *Croton punctatus*, y hierbas como *Sporobolus virginicus*, *Cenchrus sp* y *Euphorbia*.

El rol que desempeña la vegetación en el flujo eólico y la formación de dunas costeras es visualizado por Alcántara y Alonso (2000) en los siguientes términos: “en comparación, la vegetación herbácea dificulta claramente el transporte, mientras que la vegetación arbustiva produce una estabilización menor e incluso puede favorecer en algunos casos la removilización de los sedimentos, ya que produce un aumento de la rugosidad y canaliza el viento a baja altura” (p. 86).

En principio, la estabilidad de las dunas longitudinales del Istmo de Médanos fue influenciada por la presencia de vegetación, lo cual favoreció posteriormente su extensión y colonización en las

diferentes partes de la duna, como son la cresta o tope, los flancos y las depresiones.

Origen y evolución

Las variaciones climáticas del nivel marino caribeño y la dinámica sedimentaria deben haber controlado la evolución de las dunas del Istmo de Médanos. De acuerdo con la curva calibrada del nivel del mar para el Caribe (Fairbanks, 1989) puede postularse para el área en estudio una baja del nivel marino de unos 85 m hace 12 000 años, lo cual desplazó la línea de costa unos 20 km al este de la actual posición (Figura 7), dejando un área expuesta aproximada de 750 km² (Méndez, 2007; Bezada *et al.*, 2007; González, 1990). Esta área expuesta pudo favorecer el emplazamiento de un manto de arena (*sandsheet*) que sirvió posteriormente como fuente de suministro de las dunas del Istmo de Médanos.

Las investigaciones de Peterson y Haug (2006) basadas en las concentraciones de titanio y hierro en la cuenca submarina cercana de Cariaco, pudieran ubicar temporalmente los eventos mencionados: *a*) condiciones secas y bajo suministro de sedimentos a la cuenca (periodo frío Younger Dryas) entre 12 600 y 11 500 años; *b*) un periodo húmedo con mayor flujo de sedimentos fluviales (máximo terminal del Holoceno) entre los 10 500 y 6 000 años, y *c*) disminución de la precipitación y de sedimentos desde los 6000 años hasta la presente con descenso significativo en la Pequeña edad de hielo.

Algunos estudios realizados en áreas continentales de Venezuela parecen reforzar los resultados de Peterson y Haug obtenidos en áreas marinas. Roa (1979) sostiene que en el periodo árido inicial se formaron los campos de dunas extensas de los Llanos venezolanos, lo cual se evidencia

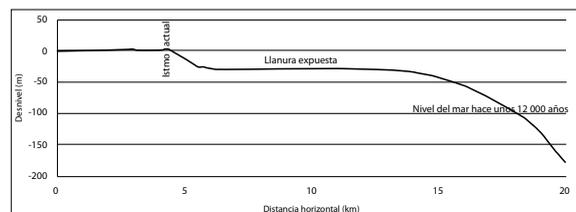


Figura 7. Perfil topo-batimétrico del área en estudio. Se muestra la posible ubicación del nivel del mar hace unos 12 000 años, según la estimación de Fairbanks, y la llanura expuesta para esa época.

en la datación obtenida de paleosuelos en el sur del estado Guárico, que dio una edad de 12 000 años. El periodo húmedo formulado por Peterson y Haug probablemente se manifestó en las costas de Falcón por condiciones transgresivas que inundaron parcialmente el campo de dunas del Istmo de Médanos, hasta que se alcanzó la posición actual de la línea de costa hace unos 4 000 años, cuando se estabilizó el Istmo como consecuencia del levantamiento tectónico (Audemard, 1995). Las condiciones secas iniciadas hace 6 000 años, según las estimaciones de Peterson y Haug, influyeron en la evolución de los campos de dunas del Istmo de Médanos hasta alcanzar la configuración actual.

Los ríos que desembocan en el golfo de la Vela (Coro y Caujarao) y la costa nororiental del estado Falcón (Ricoa, Hueque y Tocuyo), han aportado gran cantidad de sedimentos al sector costero posterior a la formación del Istmo de Médanos (Tabla 7).

La existencia simultánea de dunas transversales activas y dunas longitudinales estabilizadas en un área relativamente pequeña, como es el Istmo de Médanos, puede estar relacionada con condiciones paleoclimáticas, la configuración y el relieve de la costa. El cerro Pelón localizado al este de las dunas puede haber representado un obstáculo para la acción eólica: este cerro parece influir en la disminución local de la velocidad del viento, lo cual ha condicionado la formación de dunas transversales activas, debido al efecto de sombra que este relieve representa (Figura 2).

Considerando los planteamientos de Flor y Martínez (1991) los valores de carbonatos pueden usarse como indicadores de edades relativas. Así, al comparar el 10% de carbonatos de las dunas longitudinales con los valores superiores al 20% reportados para las dunas transversales de los Médanos de Coro en el sur del mismo Istmo (González, 1990), puede postularse que las dunas longitudinales estudiadas son relativamente más antiguas, lo cual pudiera explicar la coexistencia de ambos tipos de dunas en un espacio reducido. Otro aspecto a considerar es que la cantidad de carbonato de calcio en sedimentos costeros depende de la existencia de arrecifes coralinos en fondos vecinos; así podría suponerse que la fuente de suministro de las arenas de las dunas longitudinales con poco

carbonato de calcio no estuvo relacionada genéticamente con formaciones coralinas, mientras que las dunas transversales más recientes, formadas posteriormente al evento transgresivo marino, sí contaron con aportes biogénicos

Otra probable explicación para la coexistencia de ambos tipos de dunas en ambientes similares, es la planteada por Khobzi (1981) cuando afirma que las dunas longitudinales del norte de Colombia y los Llanos de La Orinoquia “representarían una evolución irreversible a partir de dunas parabólicas por desaparición del cuerpo central durante la formación de éstas a raíz de su degradación posterior”.

CONCLUSIONES

El área en estudio está conformada por una planicie costera donde coexisten dunas longitudinales estabilizadas con dunas transversales activas, siendo los factores fundamentales para su presencia la acción prevaleciente de los vientos, la fuente permanente de sedimentos y en menor grado la influencia de la vegetación, conjugando las condiciones ideales para el crecimiento y desarrollo del paisaje dunar del Parque Nacional Médanos de Coro.

La granulometría de los sedimentos permite clasificarlos como arenas de grano fino en un 84.6% y grano medio en un 15.4%, esto se cumple especialmente en los topes y flancos de las dunas, pues en las depresiones predominan las arenas de grano medio.

La morfoscopia evidencia una tendencia hacia los granos subangulares, lo que indica poco transporte hasta el lugar de acumulación y/o una alta resistencia de los minerales constituyentes.

Las arenas estudiadas presentan bajos porcentajes de carbonato de calcio, lo que puede sugerir que la mayoría de los sedimentos de las dunas son de origen terrígeno, con predominancia de minerales inorgánicos aportados por la descarga de los ríos en la costa oriental del estado Falcón.

El origen de las dunas responde a condiciones paleogeográficas que se extienden desde hace unos 12 000 años hasta alcanzar la configuración actual, aproximadamente 4 000 años antes del presente, cuando quedó expuesto el istmo como consecuencia del levantamiento tectónico.

REFERENCIAS

- Ahlbrandt, T. and S. Fryberger (1982), "Introduction to eolian deposits", in Scholle, P. and D. Spearing (eds.), *Sandstone depositional environments*, The American Association of Petroleum Geologists, USA, pp. 11-47.
- Alcántara Carrió, J. y I. Alonso (2000), "Propuestas metodológicas para el estudio de los ambientes eólicos costeros actuales", en Andrés, J. de y F. Gracia (eds.), *Geomorfología Litoral*, Procesos activos, España, pp. 81-92.
- Audemard, F. (1995), "Late quaternary marine deposits of the Paraguana Peninsula, state of Falcon, northwestern Venezuela: preliminary geological observation and neotectonic implications", *Quaternary International*, vol. 31, pp. 5-11.
- Bagnold, R. (1953), "The surface movement of blown sand in relation to meteorology", *Research Council of Israel Special Publication*, no. 2, pp. 89-96.
- Barnes, H. (1959), *Apparatus and methods of oceanography*, Part one, Chemical, Allen & Unwin, New York.
- Bezada, M., A. de Abrisqueta, D. Díaz, P. Felliziani y A. Castillo (2007), "Caracterización preliminar, por microscopía electrónica de barrido (SEM) de las arenas de los depósitos eólicos cuaternarios de las áreas Arichuna-Capanaparo y Coroza Pando- La Porfia. Estados Apure y Guárico, Venezuela", *IX Congreso Geológico Venezolano*, Sociedad Venezolana de Geólogos [cd-rom].
- Bigarella, J. (1972), "Eolian environments: their characteristics, recognition and importance", *Recognition of ancient sedimentary environments*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, no. 16, pp. 12-62.
- Carver, R. E. (1971), *Procedure in sedimentary petrology*, Wiley Interscience.
- Fairbanks, R. G. (1989), "A 17 000 year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep ocean circulation". *Nature*, no. 342, pp. 637-642.
- Flor G. y P. Martínez (1991), "Características morfológicas y sedimentológicas de las dunas eólicas de Sonabia (zona oriental de Cantabria, NO de España)", *Estudios Geológicos*, núm. 47, pp. 317-337.
- Foghin, S. y V., Reyes (1999), "Descripción de algunas circulaciones periódicas locales en las costas venezolanas", *Terra, Nueva Etapa*, año/vol. XV, núm. 024, Universidad Central de Venezuela, Caracas, pp. 79-98.
- Folk, L. and C. Ward (1957), "Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters", *Journal sed. Petrology*, no. 27, pp. 3-26.
- Folk, R. (1971), "Longitudinal dunes of the northwestern edge of the Simpson Desert, Northern Territory, Australia. Geomorphology and grain size relationships", *Sedimentology*, no. 16, pp. 5-54.
- Goddard, D. y X. Picard (1972), "Los Médanos de Coro: composición granulométrica y migración de las arenas", *Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos*, vol. 7, núm. 3, Caracas, pp. 215-230.
- González, L. (1990), "Análisis granulométrico comparativo entre dunas continentales y dunas costeras", *Revista geográfica Venezolana*, vol. 31, núm. 2, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, pp. 5-34.
- Goudie, A. y A. Watson (2005), *Geomorfología desértica*, Serie geografía, Universidad de la Laguna, España.
- Khobzi, J. (1981), "Los campos de dunas del norte de Colombia y de los llanos de la Orinoquia (Colombia y Venezuela)", *Revista CIAF*, vol. 6, núm. 1-3, Colombia, pp. 257-292.
- Ley, C., J. Gallegos y C. Vidal (2007), *Manual de restauración de dunas costeras*, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Costas, España.
- Livingstone, I., G. Wiggs and C. Weaver (2007), "Geomorphology of desert sand dunes: a review of recent progress", *Earth-Science Reviews*, no. 80, pp. 239-257.
- Martins, L., P. Potter, I. Martins and I. Wolff (1997), "Grain size and modern sedimentary environments", *Memorias del I Congreso Latinoamericano de Sedimentología*, Sociedad Venezolana de Geólogos, tomo II, Caracas, pp. 67-71.
- McKee, D. (1966), "Structures of dunes at white sands national monumental (and a comparison with structures of dunes other selected areas)", *Sedimentology*, pp. 1-69.
- McKee, E. and J. Tibbitts (1964), "Primary structures of a seif dune and associated deposits in Lybia", *Journal of Sedimentary Research*, vol. 34, no. 1, pp. 5-17.
- Méndez, J. (2007), "Costas litorales del Caribe y del Atlántico, islas y archipiélagos. Las profundidades marinas", en *Geo Venezuela 2, Medio físico y recursos ambientales*, Fundación Empresas Polar, Caracas.
- Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales (1993), *Estadísticas climatológicas de Venezuela. Periodo 1961-1990*, Servicio de Meteorología.
- Ministerio de la Defensa (1985), *Promedios Climatológicos de Venezuela. Periodo 1951-1980*, Fuerza Aérea, Grupo Logístico de Meteorología, Maracay Estado Aragua.
- Peterson, L. C. and G. H. Haug (2006), "Variability in the mean latitude of the Atlantic Intertropical Convergence Zone as recorded by riverine input of sediments to the Cariaco Basin (Venezuela)", *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology*, vol. 234, pp. 97-133.
- Powers, C. (1953), "A new roundness scale for sedimentary particles", *Journal of Sedimentary Petrology*, no. 23, pp. 117-119.

- Pye, K. and H. Tsoar (2009), *Aeolian sand and sand dunes*, Springer-Verlag, Alemania.
- Ramírez, A., J. Mogollón, C. Bifano and C. Yanes (1992), "Water, dissolved solids and suspended sediment discharge to venezuelan coastline", *Evolution des littoraux de Guyane et de la zone Caraïbe méridionale pendant le Quaternaire* (Colloques et séminaires), Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération, ORSTOM, Paris, pp. 437-456.
- Roa, P. (1979), "Estudio de los médanos de los Llanos Centrales de Venezuela: evidencias de un clima desértico", *Acta Biológica Venezolana*, vol. 10, núm. 1, Caracas, pp. 19-39.
- Suárez, C., S. Lara, L. González, R. Gil y O. González (1999), "Estudio sedimentológico de las nechas de Mitare, costa norcentral del estado Falcón, Venezuela", *Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos*, vol. 24, núm. 2, Caracas, pp. 22-32.
- Tamayo, F. (1981), "Biogeografía de Paraguaná", *Acta Macarao*, 2, Instituto Universitario Pedagógico de Caracas, pp. 17-31.
- Tamayo, F. (1945), "El problema de las arenas nómadas en Venezuela. Plantas apropiadas para fijarlas", *Memoria, Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*, vol. 12, núm. 31, pp. 78-85.
- Twenhofel, W. and S. Tyler (1941), *Methods of study of sediments*, Mc Graw Hill Book Company, New York, pp. 182-183.
- Vareschi, V. (1979), *Plantas entre el mar y la tierra*, Ernesto Armitano, Editor Caracas.