

Características geomorfológicas de los ambientes depositacionales eólicos del campo de dunas del Cabo San Román, Península de Paraguaná, estado Falcón – Venezuela

Geomorphological features of depositional environments wind, dune field in Cabo San Román, isthmus of Paraguaná, Falcon state- Venezuela

Nelson Ascanio

ascaniorosales@gmail.com

Luis F. González

luisfgonzalez1@gmail.com

Universidad Pedagógica Experimental Libertador.

Instituto Pedagógico de Caracas

Centro de Investigación "Estudios del Medio Físico Venezolano"

Recibido en mayo de 2013 y publicado en septiembre 2013

RESUMEN

Investigación centrada en la caracterización geomorfológica y sedimentológica de los depósitos eólicos de Cabo San Román (estado Falcón), con el fin de generar información que permita comprender la evolución y dinámica del referido sistema dunar. Se empleó un modelo metodológico de campo, no experimental, en un nivel descriptivo, cumpliendo las fases de campo, laboratorio y oficina. Los resultados determinaron que el área se divide en dos zonas con dunas activas, constituidas por cuarzos con talla de arena fina. En la zona oriental, el material presenta un alto contenido de carbonatos en contraste con la zona occidental. El fuerte oleaje y los vientos Alisios, son los encargados del origen de estas geoformas, mientras que la deflación, corrosión y abrasión, constituyen los principales procesos vinculados a la reducción de la cobertura en la zona occidental, por su parte, hacia el oriente, se experimenta un crecimiento en los últimos 32 años.

Palabras clave: Dunas; ambientes sedimentarios; sedimentología; geomorfología; Cabo San Román

ABSTRACT

Research focused on geomorphological and sedimentological characterization of aeolian deposits Cabo San Román (Falcón State), in order to generate information for understanding the evolution and dynamics of that dune system. We employed a methodological model field, not experimental, on a descriptive level, fulfilling phases of research: field, laboratory and office. The results determined that the area is divided into two zones with active dunes, composed of quartz with fine sand size. In the East, the material has a high content of carbonates in contrast to the western. The heavy seas and trade winds are responsible for the origin of these landforms, while deflation, corrosion and abrasion are the main processes related to the reduction of coverage in the Western, meanwhile, eastward, growth experienced in the past 32 years.

Key words: *dunes; sedimentary environments; sedimentology; geomorphology; Cabo San Roman*

INTRODUCCIÓN

El Cabo San Román, ubicado al norte de la Península de Paraguaná del estado Falcón, presenta geoformas sedimentarias como dunas y línea de costa; las cuales atraen a poblaciones foráneas por su potencial escénico. Dichas dunas son las formas más representativas de este lugar, las cuales han mostrado un progresivo desplazamiento debido a los fuertes vientos alisios; este movimiento ha permitido que las arenas se desplacen sobre la superficie del Cabo y depositen en el borde costero occidental, en los sectores Las Raíces, Guayacancito, Cerro de Mula y Mangle Lloroso, para posteriormente sumergirse en las aguas marinas de la costa oeste del Cabo San Román; lo que ocasionó la pérdida parcial del área ocupada por las dunas occidentales, y con ello una disminución del atractivo turístico. Así mismo, el desplazamiento al que se hace referencia, puede generar colmatación y aterramiento costera de los municipios Falcón y Los Taques; que a su vez permitiría expandir la línea de costa hacia el Mar Caribe.

En otro orden de ideas, en el Cabo San Román, son pocas las investigaciones referidas específicamente a descripciones del ambiente físico o las modificaciones naturales relacionada con este medio; entre estas se pueden mencionar a Goddard y Picard (1976), Zambrano (1998), Moticska (2001), Lara y González (2006 y 2007) y Camacho, *et. al.* (2011).

En tal sentido, el objetivo principal de la presente investigación fue la de caracterizar geomorfológicamente los ambientes depositacionales eólicos que se localizan en el Cabo San Román, a partir del análisis de las variaciones del campo de dunas haciendo uso de aerofotografías e imágenes satelitales con el fin de generar información geomorfológica y comprender la evolución y dinamismo del sistema dunar y las características física-naturales del área, a través de la elaboración de mapas geomorfológicos donde se sinteticen las formas del paisaje, los ambientes depositacionales y la evolución del área en cuestión, por medio de la fotointerpretación y observaciones de campo.

MÉTODO

Fase de campo

Se realizaron cinco visitas de campo al área de trabajo, con el fin de recabar información del medio físico a estudiar, como identificar los ambientes sedimentarios a través de mapas, imágenes satelitales y la fotointerpretación; esto permitió describir la geomorfología y los ambientes depositacionales en el área de estudio. De igual forma, se ubicaron puntos de control por medio de la georeferenciación, para luego ser situados sobre un mapa a 1:25.000. En cada visita de campo se tomaron muestras sedimentarias en dunas activas, recolectando sedimentos en el frente de la duna, cola, laterales y cima; conformando 11 estaciones de muestreo para totalizar 32 muestras de sedimentos.

Con ayuda de un Clinómetro se midió el ángulo de reposo del frente de las dunas tipo barcanas; también se cuantificó la distancia de desplazamiento de algunas dunas con respecto a los puntos de control. Así mismo se calculó la altura de las crestas de las dunas a través de la trigo-

nometría ($h = d \times \text{tang. } X^\circ + a$; h =altura de la base, d =distancia de la base, tang. =tangente, X° =valor del ángulo medido con el clinómetro desde el observador hasta la cresta de la duna, y a =altura del observador). Para medir el desplazamiento de las dunas activas, se instalaron 3 puntos de control próximos a las dunas móviles occidentales del Cabo debido a lo limitado de objetos naturales; permitiendo calcular la velocidad de desplazamiento.

Para efecto de la recolección de datos, se empleó en cada visita de campo, el registro fotográfico, los cuales destacaron las condiciones y características más resaltantes de cada punto muestreado.

Fase de Laboratorio

Se caracterizó la granulometría a través del análisis del tamaño de los sedimentos, ya que permite identificar y caracterizar los ambientes sedimentarios y sus diferentes niveles de energía (Martins, *et. al.* 1997), por esta razón es la propiedad textural más importante puesto que facilita la interpretación de los ambientes sedimentarios. La aplicación de parámetros estadísticos propuestos por Folk y Ward (1957) en los valores granulométricos posibilita la interpretación de los datos obtenidos; por ello se determinó la tendencia central, selección, la asimetría y la curtosis. Para determinar el porcentaje de carbonato ($\% \text{CaCO}_3$), se utilizó la Técnica de Decalcificación con el fin de cuantificar el porcentaje de abundancia de carbonato de una muestra por diferencia gravimétrica.

Se identificaron los minerales presentes en cada una de las muestras por medio del Análisis Mineralógico, cabe señalar que a las mismas se les aplicó la Técnica del Bromoformo; sin embargo ninguna de ellas mostró presencia de minerales pesados; es por esta razón fue necesario la identificación de los materiales que constituyen las dunas del área de estudio por medio de la microobservación.

Por su parte, para la interpretación del grado de esfericidad y redondez se empleó como técnica para determinar el nivel de desgaste de los sedimentos que integran los depósitos eólicos, empleando la tabla de Beehag (2000) y la microobservación.

Fase de Oficina

Se utilizaron mapas topográficos de la zona de estudio a escala 1:100.000 y 1:25.000, estos mapas permitieron la ubicación de los ambientes, así como las estaciones de control; también se utilizaron aerofotografías de la región de los años 1976 y 1988 correspondientes a la misión 0201127, fotos N° 865 - 867, 907 - 909, 958, 959, 961 y 074 - 076, a escala 1:80.000 y 1:200.000; e imágenes satelitales de Digital Globe del año 2004 y del SPOT de los años 2008 y 2009. Todo esto facilitó el reconocimiento del área y el establecimiento de las características geomorfológicas de los distintos ambientes eólicos y su evolución.

Con los datos recabados, se elaboró el mapa base donde se localizaron los ambientes de acumulación a partir de los mapas del MARNR (1990) de El Retruque y Puerto Escondido. Los datos cartográficos obtenidos en campo, las imágenes aéreas y satelitales de los distintos años, permitieron, respectivamente, observar la variación temporo-espacial del Cabo San Román con ayuda de los programas Erdas Imagine 9.0 (Leica Geosystems) y ArcGIS 9 (ESRI); y cuantificar dicha variación del campo de dunas, para generar un modelo evolutivo. Estas imágenes también proporcionaron las medidas necesarias para el cálculo de la altura de las crestas de dunas barcanas a través de la trigonometría, ya que aportan información de las condiciones ambientales que imperaban en el momento de ser fotografiadas.

RESULTADOS

Rasgos geomorfológicos predominantes

Durante las visitas realizadas al área de trabajo, se identificaron diferentes ambientes eólicos basándose en su morfología; luego se georeferenciaron para su localización y delimitación sobre el mapa (Cuadro 1), donde se evidenciaron dunas activas tipo barcanas, seif, transversales, longitudinales, “dorso de ballena” y nebkhas.

Cuadro 1. Localización de las Estaciones de Muestreo en el Campo de Dunas del Cabo San Román (Norte de Paraguaná, Estado Falcón).

Estación Nº	Nombre de la estación	Coordenadas		Tipo de duna
		Geoastron.	UTM	
1	NW de puerto Escondido	12°10'45.21"N	12.179224°	Costera
		69°59'1.03"O	-69.983619°	
2	N de la Salineta La Vigía	12°11'9.66"N	12.186016°	Lomo de ballena
		69°59'42.88"O	-69.995244°	
3	SE del Faro	12°11'20.75"N	12.189096°	Dorso de ballena
		69°59'46.73"O	-69.996314°	
4	NE del Faro	12°11'24.01"N	12.190002°	Dorso de ballena
		69°59'51.96"O	-69.997766°	
5	N del Faro	12°11'26.54"N	12.190706°	Dorso de ballena
		70° 0'2.56"O	-70.000710°	
6	S de Punta San Román	12°11'38.20"N	12.193943°	Nebkas
		70° 0'8.70"O	-70.002416°	
7	Las Raices	12°10'58.98"N	12.183051°	Transversales
		70° 2'38.03"O	-70.043897°	
8	Las Raices	12°11'3.19"N	12.184220°	Transversales
		70° 2'32.05"O	-70.042236°	
9	S de Las Raices	12°10'57.54"N	12.182675°	Longitudinales
		70° 2'23.34"O	-70.040094°	
10	W de Guayacancito	12°11'8.04"N	12.185566°	Barcanas
		70° 2'13.67"O	-70.037130°	

La fuente de sedimentos de estas acumulaciones está asociada a las descargas en el mar Caribe de los ríos Tocuyo, Hueque, Ricoa, y Coro, ubicados en borde costero oriental del estado Falcón, los cuales son transportado en sentido oeste a lo largo de la costa, por las corrientes litorales y a los propios sedimentos provenientes de la acción marina (figuras 1 y 2) al llegar a las costas este de la península, las partículas son depositadas por la acción del oleaje y cuando se dan las condiciones son tomadas por los fuertes vientos Alisios para trasladarlas en sentido oeste hacia el interior del Cabo, donde son acumuladas en forma de dunas

con diferentes morfología, (figura 3), distribuidas en el área de Cabo San Román (figura 4).

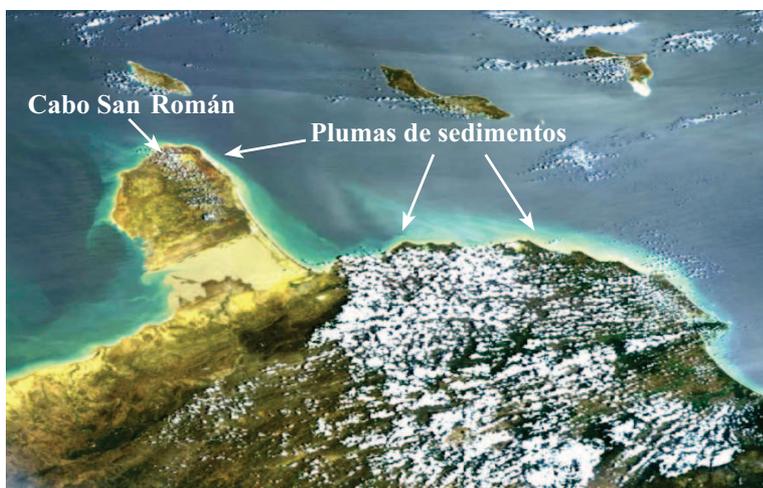


Figura 1. Imagen satelital a falso color resaltando las plumas de sedimentos en las costas nororientales del estado Falcón. (Tomado de "Fotos Satélite de Venezuela" por NASA, 2003)

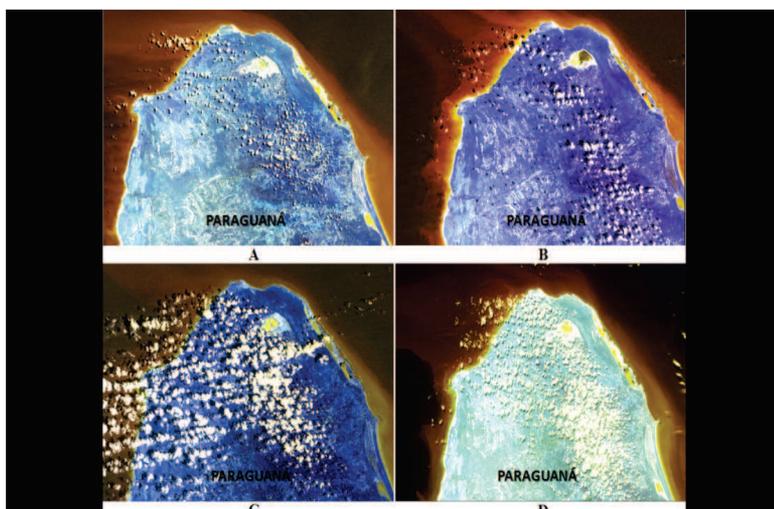


Figura 2. Imágenes satelitales a falso color resaltando en naranja los sedimentos en suspensión (plumas de sedimentos) en las costas del estado Falcón en diferentes fechas. A: Julio de 2007; B: Enero de 2008; C: Febrero de 2008; D: Junio de 2009. (Fuente: SPOT, 2007- 2009)

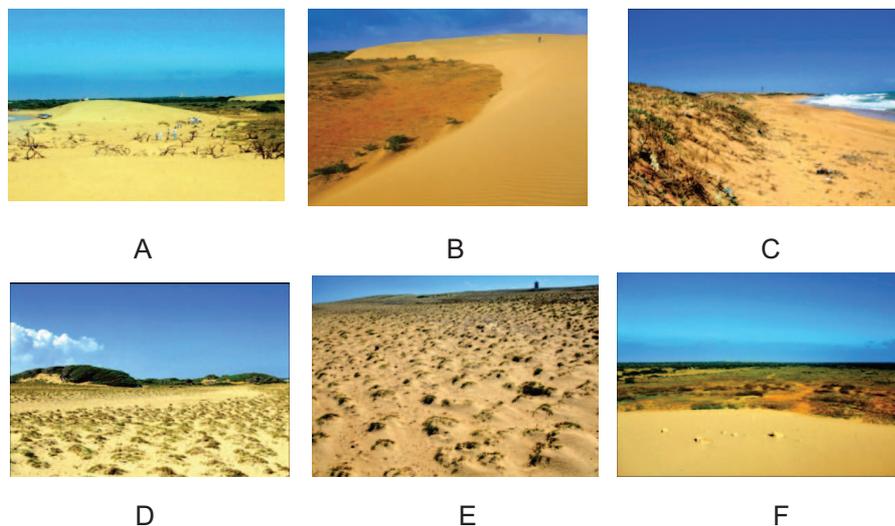


Figura 3. Tipos de acumulaciones eólicas localizadas en Cabo San Román. A = Barcana, B = Barcanoide, C = Duna costera, D = Dunas estabilizadas, E = Dunas embrionarias o Nebkhas, F = Planicie interdunar

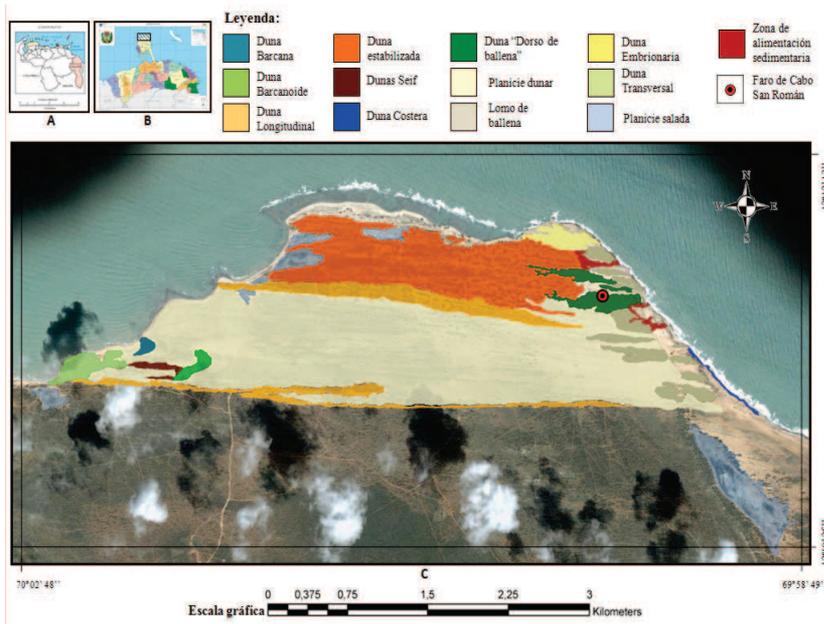


Figura 4. Mapa geomorfológico del Cabo San Román. Modificado de DigitalGlobe. 2004. A: Ubicación Nacional, B: Ubicación estatal, C: área de trabajo

El área de estudio abarca un área de 8.251 km² y presenta dunas “menores” según la nomenclatura de las dunas de Martínez (1997b) ya que las elevaciones de las crestas o cima no superan los 20 metros. En el cuadro 2 se observan los promedios de altura de las barcanas localizadas en el área en los años 1976, 2004 y 2009, mostrando una disminución en las alturas de las barcanas en un período de 32 años.

Cuadro 2. Alturas de las barcanas estimadas a partir de imágenes aéreas y satelitales y mediciones en campo (Cabo San Román, estado Falcón).

	Imagen aérea (1976)	Imagen DigitalGlobe (2004)	Mediciones en campo (2009)
Alturas estimadas de dunas barcanas (m)	10,14 – 10,11 – 33,72	12,2 – 5,9 – 7 – 8,3	6,8 – 6,48 – 7,2
<i>Promedio (m)</i>	18,65	8,35	6,82

Hernández *et. al.* (2003), señalan que la pérdida de la altura puede deberse a la merma del aporte de sedimentos; a la expansión de las áreas de deflación, y a la alta dinámica de migración eólica, como sucede en las costas oeste del Cabo San Román, arrojando y retornando los sedimentos constituyentes al mar Caribe.

El frente Este de la barcana ubicada en el sector de Guayacancito recorrió 16 m en 8 meses, lo que indica que esta duna se movió a una velocidad de 1,78 m/mes (Cuadro 3). A su vez la cola de la misma barcana (punto n° 1) se desplazó 5 metros en 2 meses, es decir se trasladó a una velocidad de 2,5 m/mes. Sin embargo, uno de los frentes de la duna transversal cercana a Las Raíces se desplazó 3,5 m/mes, recorriendo una distancia de 28 metros en 8 meses; todo esto permite inferir un promedio de desplazamiento de estas dunas es de 2,66 m/mes.

Así mismo se pudo constatar el remanente de una antigua cobertura xerófila que predominó en el sector Guayacancito, alcanzando la desaparición total de esta vegetación debido al avance de las dunas transversales en 32 años (figura 5), generando a su vez una serie de esqueletos de plantas atrás de sí.

Cuadro 3. Distancias de los puntos de control al frente y cola de las dunas ubicadas al oeste del campo de dunas (entre los Sectores Guayacancito y Las Raíces).

Puntos de control	Distancia a la duna (m)			Distancia recorrida (m)	Velocidad de desplazamiento (m/mes)
	May-08	Nov-08	Ene-09		
1	104	95	88	16	1,78
2	0	0	5	5	2,5
3	60	39	32	28	2,66

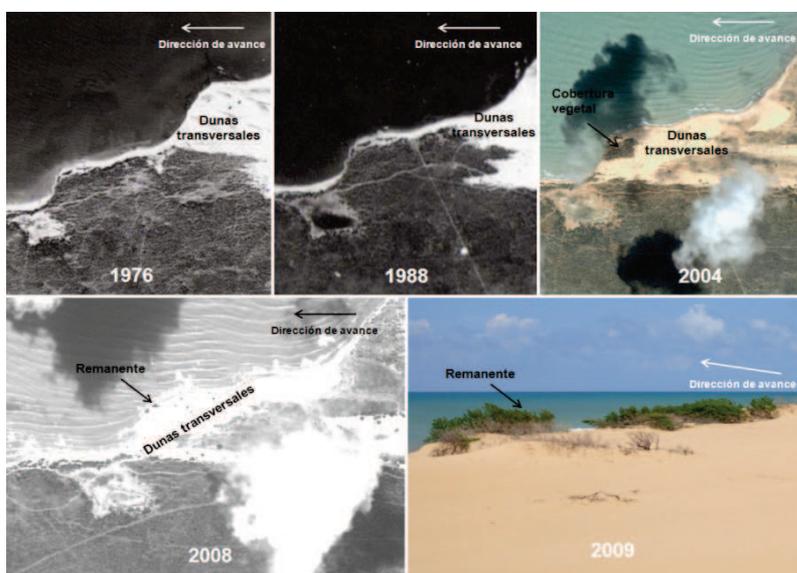


Figura 5. Comparación de las áreas ocupadas por la vegetación en diferentes años.

Las formas eólicas permiten como señala Martínez (1997a) describir la historia morfodinámica dunar; en este sentido, las dunas activas que predominan por unidad en Cabo San Román son de tipo barcanas, ubicadas entre los sectores Guayacancito y Las Raíces; estas han disminuido en unidad y cobertura desde 1976 hasta 2004. Shelton, *et. al.* (1970) mencionan que a medida que el suministro de arena aumenta, las barcanas se funden entre sí generando barcanoides de crestas ondulantes,

y si la arena sigue acumulándose, estas barcanoides cambian su forma a dunas transversales de grandes tamaños y extensiones.

En el sector de Médano Blanco se observan remanentes de grandes extensiones de dunas transversales las cuales se distinguen por ser una pequeña cadena desarrollada perpendicular a los vientos alisios, con laderas muy suaves en su flanco de barlovento en contraste con la de sotavento; el área ocupada para el año 1976 era de 972.526,7 m², sin embargo para el 2004 solo quedaban 457.009,5 m² de área tomada por estas dunas. Lo que indica que en un pasado cercano el flujo de sedimentos fue mayor en comparación al reciente, esto permitió generar formas de depósitos y áreas ocupadas diferentes a las actuales, la comparación entre los valores de área ocupada anteriormente descritos, son sedimentos que fueron desplazados y sumergidos en las costas occidentales del Cabo San Román debido a los fuertes vientos predominantes del noreste. Sin embargo, estos vientos han manifestado un componente secundario en los últimos años ya que la duna tipo barcana o barcanoide localizada al Oeste de Médano Blanco, ha evolucionado a duna tipo seif por la prolongación del flanco derecho; en concordancia con Lara y González (2006) esto quiere indicar que el vector secundario deriva del ESE la cual genera la migración del flanco izquierdo.

Otras de las formas eólicas observadas sobre el Cabo San Román son las dunas longitudinales ubicadas a lo largo del campo eólico, las cuales muestran formas rectilíneas en orientación a la dirección del viento (este-oeste) y a la traza de falla; algunos sectores de estas dunas se encuentran cubiertas por vegetación, estabilizándola y minimizando el traslado sedimentario. La formación de estas dunas es reciente según la comparación de imágenes aéreas de diferentes años, probablemente por la influencia de la falla y el avance de las barcanoides anteriormente descritas. Por su parte, las dunas embrionarias o nebkhas se ubican entre Punta de San Román y al norte del faro, cubre una superficie de 77.100 m² y no muestra grandes cambios de ocupación espacial a lo largo de los últimos 32 años. Por su parte, las dunas “dorso de ballena” son montículos aislados de sedimentos eólicos de forma alargada en dirección del viento,

se las puede considerar como casos particulares de dunas longitudinales del Este.

La Sociedad Española de Ciencias Forestales (2004) señala que este tipo de depósito se forma en lugares en los que el suministro de partículas constituyentes es limitado, concordando con la presencia de las barcanas en la zona occidental del campo de dunas. Otra de las dunas localizadas sobre el área, son las dunas costeras como las observadas en la franja litoral del sector La Vigía y paralelas a la línea de costa, este tipo de duna consolida la única playa sobre las terrazas marinas, evitando la pérdida de arena, propiciando la acumulación de ésta y protegiendo el litoral. En cuanto a las dunas inactivas, el Cabo San Román presenta importantes extensiones de dunas estabilizadas por la vegetación, específicamente al sur del sector Mangle Lloroso ocupando un área de aproximadamente 1.361.406,61 m².

Según las comparaciones de las diferentes imágenes aéreas y satelitales en los años 1976, 1988, 2004 y 2008, el área de estudio cubre un área de 8,63 km² de los cuales el 18% estuvo cubierto por dunas activas para 1976, en los años siguientes (1988 y 2004), como se muestra en el cuadro 4 evidenció una reducción de estas áreas; sin embargo para el 2008 hubo un ligero incremento de la superficie ocupada por depósitos eólicos móviles debido posiblemente a la influencia de tormentas tropicales como Fay, Gustav y Hannah. El viento es el agente transportante ya que desplazó los sedimentos del campo de dunas hasta depositarlos en el mar, esto fue visible a través de la reducción de la cobertura dunar occidental (Cuadro 4); no obstante en la zona oriental se incrementó ligeramente y de manera imperceptible el área de ocupación. Por lo tanto, la pérdida de sedimentos fue mayor que el aportado desde 1976 al 2004 como se muestra en el Figura 6, sin embargo la recuperación es paulatina como se evidenció durante el 2008; si las condiciones de aridez se mantienen (altas temperaturas, escasas precipitaciones, fuertes vientos, aporte constante de sedimentos, partículas de pequeña talla, entre otras características), es posible el desarrollo de nuevas acumulaciones eólicas desde el área oriental.

Cuadro 4. Comparación de las áreas de cobertura dunar a partir de imágenes aéreas y satelitales en los años 1976, 1988, 2004 y 2008 (Cabo San Román).

Año	Área ocupada por dunas (m ²)		Área total (m ²)	Área ocupada por dunas (%)	Área no ocupada por dunas (%)
	Occidental	Oriental			
1976	826200,8	206151,0	1032351,8	12	88
1988	503551,0	271693,7	775244,7	9	91
2004	252606,0	330242,4	582848,3	7	93
2008	178957,6	571141,6	750099,2	9	91

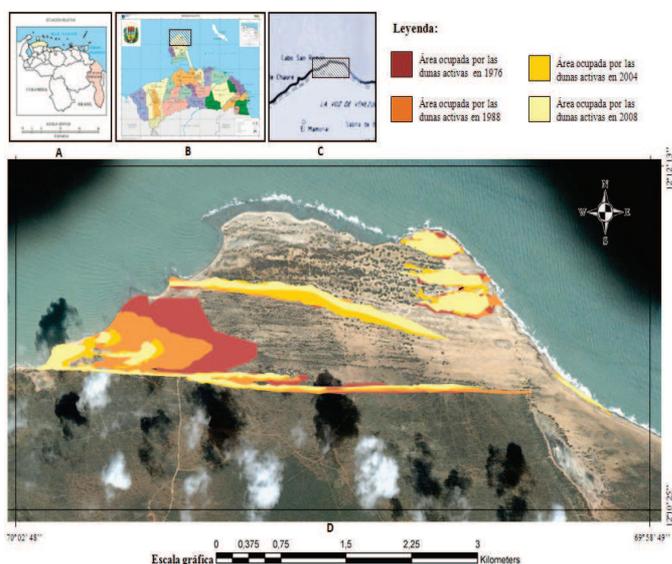


Figura 6. Evolución temporo-espacial de las dunas activas del Cabo San Román (1976-2008). A: Ubicación Nacional, B: Ubicación estatal, C: área de trabajo. Modificado de DigitalGlobe, 2004.

Características sedimentológicas

Rasgos granulométricos

La aplicación de parámetros estadísticos propuestos por Folk y Ward (1957) en los valores granulométricos facilita la interpretación de los datos

obtenidos, en este sentido se presentan en el cuadro 5 los resultados alcanzados, a los cuales se analizó según cada parámetro estadístico.

Cuadro 5. Análisis Estadístico de la Propiedad Granulométrica de las Dunas Orientales entre Puerto Escondido y Punta San Román y las Dunas Occidentales entre Guayacancito y Las Raíces, respectivamente

Zona	Estación N°	Muestras N°	Parámetros estadísticos			
			Tendencia Central	Selección	Asimetría	Curtosis
Oriental	1	7, 8, 9	1,88	0,28	0,05	1,01
	2	35, 36, 37, 38	2,17	0,44	0,12	0,93
	3	13, 14, 15, 16	2,36	0,35	-0,11	0,23
	4	40, 41, 42, 43	2,28	0,46	0,15	1,04
	5	55	2,36	0,30	-0,02	0,99
	6	56	1,91	0,69	-1,62	1,47
		<i>Promedio total</i>	2,18	0,40	-0,05	0,84
Occidental	7	20, 21, 22	2,14	0,51	0,43	1,06
	8	23, 24, 25, 26	2,04	0,42	-0,15	1,26
	9	57, 58	1,76	0,29	0,86	1,35
	10	27, 28, 29, 30	2,05	0,33	0,22	1,24
	11	31, 32, 33	2,14	0,30	0,06	0,96
		<i>Promedio total</i>	2,05	0,38	0,22	1,17
Promedio total			1,02	0,19	0,11	0,59

Análisis de la tendencia central

La granulometría de las dunas orientales presentan un rango 1,88 a 2,36 Ø (según la escala de Wentworth) lo que indica que estos depósitos están constituidos de arena, específicamente arenas medias a finas; esto se adapta a lo mencionado por Roa y Berthois (1975), Strahler (1977) y Martínez (1997b) y Mashhadi *et. al.* (2007), quienes mencionan que el material que integra a las dunas son las arenas de grano medio a fino; de igual manera Lara y González (2006) indicaron que la granulometría de las eolianitas de la cara norte del Faro de Cabo San Román pertenecen al

rango de las arenas medias a finas, guardando relación con lo hallado en el área de trabajo.

Las dunas nebkhas y costeras mostraron granulometrías medias en comparación con el resto de los depósitos móviles orientales, debido a la ubicación de las dunas como observaron Suarez *et. al.* (1999), su aproximación a la fuente de sedimentos aporta partículas de tallas más gruesas y disminuye el tamaño de las arenas con las distancia a partir de la fuente de suministro

Sin embargo las nebkhas halladas al NW del faro, indicaron una granulometría menor a la anterior (arenas finas) ya que su proximidad al flanco derecho (norte) de las dunas “dorso de ballenas” contribuye al aporte de sedimentos un poco más fino a las nebkhas, además que ya han sido trabajadas por el viento.

El resto de las dunas (dorso de ballena) presentan una granulometría casi uniforme (entre 2,28 y 2,36 Ø) de arenas finas, a diferencia de las dunas embrionarias y las costeras, las dunas primeramente mencionadas son depósitos más continentales debido a la acción de los fuertes vientos que transportan sedimentos livianos (Martínez, 1986); por lo tanto este agente al ser tan enérgico arrastra partículas un poco más gruesa. Cabe señalar que las escasas acumulaciones de la estación n° 2 no representan una duna concretamente, solo son sedimentos eólicos depositados sobre los “lomos de ballenas” de la Formación El Manglillo; los cuales presentan acumulaciones de arena de grano medio pero ligeramente más pequeños que los sedimentos de las dunas “dorso de ballena”.

Por su parte, como se evidencia en los resultados del cuadro 5 las dunas occidentales están constituidas por sedimentos del tamaño de las arenas medias a finas, ya que sus valores se encuentran entre 1,76 y 2,28 Ø, similares a los resultados de las dunas orientales. Sin embargo la duna longitudinal ubicada al sur del área de estudio mostró valores granulométricos inferiores, ubicándola en las arenas de grano medio, es decir los sedimentos son más gruesos que el resto de las dunas móviles; a

diferencia de lo expuesto por Camacho, *et. al.* (2011) quienes observaron arenas finas en dunas longitudinales de la Península; se presume que esta diferencia se debe a la cercanía de las fuentes de alimentación sedimentaria. En cambio el resto de las dunas (transversales y barcanas) presentaron valores altos en comparación con la duna longitudinal; esto permitió caracterizarlas como arenas finas según la escala de Wentworth (1922). También hay que señalar que no existe una diferencia marcada entre las dunas transversales y las barcanas, debido a que estas masas de arenas tuvieron un mismo origen; esto refuerza lo anteriormente señalado e interpretado a través de las imágenes aéreas de diferentes años, pertenecieron a una misma familia de dunas que con el pasar de los tiempos se fraccionaron en montículos aislados, tomando formas heterogéneas mientras se desplazaban por el campo de dunas.

Análisis de la Selección

Los constitutivos de las dunas orientales se muestran muy bien a moderadamente seleccionadas como se aprecia en el cuadro 5 los cuales son propios de la selección eólica. Esto obedece al tipo de transporte que movilizó los sedimentos desde las costas hasta las zonas de acumulación; el agente encargado de desplazar estos sedimentos es el viento el cual es el mejor seleccionador de partículas (Lara y González, 2006). Los sedimentos de las dunas costeras mostraron la mejor selección, al igual que las dunas “dorso de ballena” y las nebkhas de las estaciones 3 y 5 respectivamente ya que sus valores son iguales o inferiores a 0,35 \emptyset según la escala de selección de Folk y Ward (1957), esto se debe como señala Guilarte (2003) a su cercanía a la fuente de sedimentos el cual aporta desde la fuente sedimentaria los materiales a estas dunas. En contraparte, las nebkhas de la estación 6 presentaron sedimentos moderadamente seleccionados, este tipo de selección es poco común en los depósitos eólicos, como indican Martins, *et. al.* (1997), en áreas similares, lo que indica que los sedimentos aún mantienen el escogimiento moderado de su fuente, al igual de la influencia que ejerce los obstáculos naturales como la vegetación, la cual relentizan la velocidad del viento generando la acumulación de partículas más pequeñas debido a la

reducción de la saltación conllevando a la mezcla de los sedimentos (Goteborg, citado por Suárez, *et. al.* 1999). Por su parte el resto de las dunas revelaron sedimentos con un grado de selección entre 0,35 y 0,5 ϕ correspondientes a granos bien seleccionados debido a las pequeñas tallas de los sedimentos (Folk y Ward, 1957).

En cambio las dunas móviles occidentales, mostraron sedimentos con una selección de moderada a muy buena concordando con los valores alcanzados por Lara y González (2006) en estos depósitos eólicos. La duna longitudinal y las barcanas ubicadas entre Guayacancito y Las Raíces, fueron los depósitos con sedimentos muy bien seleccionados ya que sus valores fueron inferiores a 0,35 ϕ según la escala de selección de Folk y Ward (1957), esto indica que los sedimentos aún mantienen su selección de origen; por su parte las partículas de las dunas transversales oscilan entre 0,35 y 1 ϕ definiéndolas entre bien seleccionadas y moderadamente seleccionadas, característico de este tipo de dunas.

Análisis de la Asimetría

En el cuadro 5 se aprecia que las dunas costeras muestran sedimentos casi simétricos al 66,7%, el valor restante (33,3%) está sesgado a los granos finos, al igual que la duna “dorso de ballena” ubicada al norte del faro. De la misma manera, esta última duna presentó el 50% de partículas casi simétricas en comparación con el otro 50% de sedimentos gruesos; en cambio las nebkhas de las estaciones 5 y 6 mostraron ser diferentes, una casi simétricas y la otra con un fuerte sesgo hacia las partículas gruesas, respectivamente. Del 25 al 50% de los sedimentos depositados sobre los “lomos de ballena” manifestaron un leve a fuerte sesgo hacia los finos, el 25% restante contrastó con lo anterior ya que el sesgó estuvo para los granos gruesos.

En cambio las dunas transversales occidentales predominan sedimentos con sesgo hacia las partículas finas (43%), el 29% lo constituyen granos simétricos, el 14% partículas con fuerte sesgo hacia los gruesos y el resto (14%) a los muy finos. En cambio, la duna longitudinal mostró valores asimétricos con tendencia hacia los sedimentos finos; por último el 71%

de los sedimentos en las barcanas mostraron estar sesgadas a los finos, el 29% restante representan sedimentos cercanos a la simetría.

Análisis de la Curtosis

Los valores de curtosis presentados en el Cuadro 5 muestran el coeficiente de variación, las muestras de las dunas costeras de la zona oriental indicaron ser mesocúrticas al igual que las dunas “dorso de ballenas” y barcanas de las estaciones 4 y 5, respectivamente; sin embargo las dunas “dorso de ballenas” y barcanas de las estaciones 3 y 6 presentaron, correspondientemente curvas muy platicúrticas y platicúrticas, lo que indica que los extremos están mejor escogidos que la parte central; en cambio los sedimentos de los “lomos de ballena” evidenciaron curvas mesocúrticas.

Por su parte, las dunas transversales de la zona occidental mostraron ser platicúrticas a mesocúrticas en sentido SW-NE; las barcanas evidenciaron distribuciones diferentes unas con otras, ya que los partículas de la estación 10 se reparte en curvas leptocúrtica y la estación 11 mesocúrticas. Finalmente las muestras colectadas de las dunas longitudinales presentaron en la parte central de las curvas un mejor escogimiento que los extremos (leptocúrtica).

Análisis de esfericidad y redondez

Los sedimentos de las dunas móviles mostraron partículas entre sub-anguladas y redondeadas con una mediana esfericidad, predominado partículas sub-anguladas (41,1%) y anguladas (33,6%), seguida de sedimentos sub-redondeadas (17,3%); debido a que estas partículas fueron depositadas recientemente en la zona oriental y no fueron trabajadas lo suficiente. En caso de las dunas occidentales mostraron granos orientados a los redondeados en comparación con las dunas orientales.

Análisis Calcimétrico

Las arenas del campo de dunas están constituidas por bioclastos, la presencia de estos materiales aportaron carbonato de calcio (CaCO_3) a las

dunas; corroborando la génesis de los materiales que integran las mismas. El origen de estos materiales es marino ya que son fragmentos orgánicos constituidos por carbonato de calcio; estos son depositados sobre la línea de costa producto del fuerte oleaje, al ser erosionados y transportado por el viento hacia el continente se mezclan con las dunas. Flor, *et. al.* (1983), señalan que a medida que las dunas se alejan de la fuente, se reducen los niveles de CaCO_3 como resultado del envejecimiento de los sedimentos, asociado a la disolución por efecto de los agentes meteorizantes; por lo tanto cuanto menor sea el contenido de carbonato mayor será la edad del depósito eólico.

El contenido de carbonato de calcio en las dunas son variables entre sí como se aprecia en la gráfico 1; sus niveles son mucho mayores en las dunas orientales que en las occidentales, lo anterior guarda correspondencia con lo señalado por Flor, *et al.* (1983) para ambientes sedimentarios similares; esto se debe a la cercanía de las dunas orientales a las costas y su poca exposición a la alteración; esta misma afirmación llegaron Flor y Martínez (1991) y Guilarte (2003). El promedio porcentual de CaCO_3 en las dunas orientales fue de 82,9%; por su parte las dunas occidentales evidenciaron un 31%, inferior al porcentaje anterior, ubicándola por debajo de la mitad del promedio.

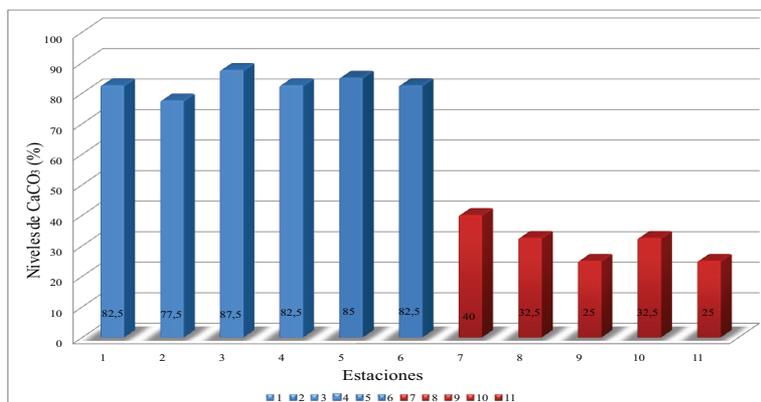


Gráfico 1. Comparación de los niveles de CaCO_3 en los depósitos eólicos del Cabo San Román. Nota: Las estaciones del 1 al 6 en color gris claro pertenecen a la zona oriental, las estaciones de 7 al 11 en color gris oscuro pertenecen a la zona occidental.

Las dunas que presentaron altos niveles de carbonato fueron las “dorso de ballena” de la estación 3 y las nebkhas de la estación 5; en cambio los niveles de carbonato en las dunas occidentales se ubicaron por debajo del 40% siendo las dunas transversales y la barcana de la estación 10 los depósitos con mayor presencia de CaCO_3 . En este sentido del 100% de carbonato hallado en las dunas del área de estudio, el 76,2% se distribuye en los sedimentos orientales y el 23,8% en los depósitos occidentales.

Análisis mineralógico

El mineral más abundante es el cuarzo con un predominio del 98%, convirtiendo a estos depósitos eólicos en dunas cuarcíferas, este tipo de dunas son comunes encontrarlas en las zonas tropicales desérticas, como señala Kasper y Faustino (2007). Entre los cuarzos observados se identificaron: cuarzo cristal de roca y cuarzo lechoso, además de algunas calcedonias de colores naranjados a ocre y muy pocos granates. Las características cromáticas de estos cuarzos van desde incoloras hasta blancas con ligeras tonalidades naranjadas, muchas de ellas diafanibles y opacas, como se observa en el figura 6.

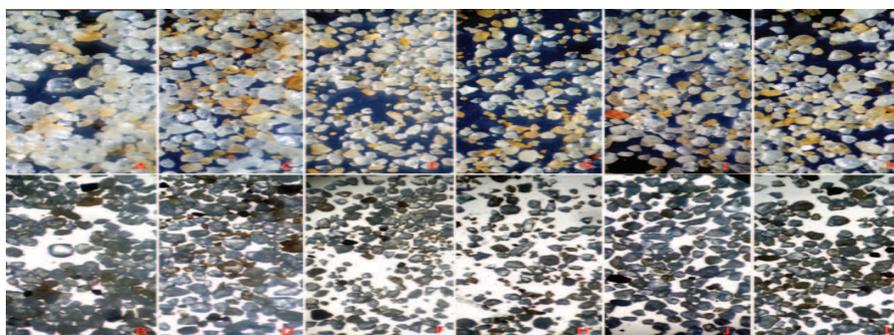


Figura 6. Comparación de los granos de arenas de los depósitos móviles de las dunas orientales del Cabo San Román. A= muestra 8 de la estación 1; C = muestra 36 de la estación 2; E= muestra 14 de la estación 3; G= muestra 41 de la estación 4; I= muestra 55 de la estación 5; K= muestra 56 de la estación 6

CONCLUSIONES

La planicie eólica de Cabo San Román se localiza una variedad de acumulaciones sedimentarias, lo cual ha generado una variedad de depósitos eólicos conocidas como dunas; las cuales se distribuyen en dos zonas, una Oriental que comprende desde el noreste de la Salineta La Vigía hasta Punta San Román, y otra Occidental ubicada entre Guayacancito y Las Raíces; todo esto separados por un corredor de dunas (sur) y por el campo de dunas estabilizadas (norte). Sobre esta área dominan, de modo general, las dunas móviles representadas morfológicamente por barcanas, transversales, seif, “dorso de ballena”, nebkhas o embrionarias y las longitudinales; en segundo plano están las dunas inactivas constituidas por depósitos eólicos estabilizados. La zona oriental está caracterizada por dunas costeras, “dorso de ballena” y nebkhas o embrionarias; y la zona occidental compuesta por dunas de tipo barcana, transversales, seif y longitudinales.

Tanto las dunas orientales como las occidentales están constituidas principalmente por partículas de arenas finas y en algunos casos por arenas medias. Las dunas “dorso de ballena”, las transversales, las barcanas, algunas nebkhas o embrionarias y los sedimentos acumulados sobre los “lomos de ballena” de la Formación El Manglillo presentaron granulometrías orientadas a las arenas finas; por su parte las dunas longitudinales y las nebkhas o embrionarias cercanas a la línea litoral mostraron arenas medias. En cuanto a la selección, las dunas orientales y occidentales se muestran muy bien a moderadamente seleccionadas los cuales son propios de la selección eólica; las dunas costeras, “dorso de ballena” y las nebkhas o embrionarias cercas a la línea litoral evidenciaron ser las formas sedimentarias con mejor escogimiento debido a su cercanía a la zona de alimentación sedimentaria. Por otra parte, las dunas longitudinales, las barcanas, las transversales y los sedimentos sobre los “lomos de ballena” mostraron características de sedimentos bien escogidos, a diferencia de las nebkhas que mostraron ser medianamente seleccionadas. La asimetría y curtosis de los sedimentos orientales estuvieron orientadas a la asimetría perfecta y con curva platicúrtica, en

cambio las dunas occidentales mostraron un sesgo a las partículas finas y una curtosis leptocúrtica.

Las dunas están constituidas por fragmentos de cuarzo con un índice de redondez sub-angulada a anguladas para la zona oriental, y sub-redondeadas a sub-anguladas para la occidental. Los materiales bioclásticos son abundantes, aportando grandes cantidades de CaCO_3 a los depósitos eólicos; las dunas orientales indicaron mayor presencia de estos elementos a diferencia de las dunas occidentales.

El grupo de dunas móviles mostraron durante el pasar del tiempo cambios significativos en cuanto a su altura, forma y área de ocupación, en los últimos 32 años (1976-2009) a través de imágenes aéreas, satelitales y visitas a campo se evidenciaron dichos cambios paulatinos. En cuanto a la altura, las dunas tipo barcanas mostraron una disminución de hasta 12 metros de elevación en un período de 32 años, lo que conllevó a pensar en una reducción de sedimentos aportados.

La zona occidental del área de estudio reveló una evolución y dinamismo mucho más visible que la zona oriental, ya que algunas dunas evolucionaron de transversales a barcanas individuales y estas, a su vez, a dunas tipo seif; así mismo las dunas longitudinales se expandieron desde la costa oriental hasta la occidental a una velocidad de 65 m/año aproximadamente. El avance de las dunas ocasionó que los sedimentos se depositen y sumerjan en el mar Caribe generando un ciclo, generando una notable disminución del área ocupada, es decir una reducción de alrededor del 79% de su cobertura de dunas.

Por su parte las dunas orientales han sido estables en cuanto a la tipología manteniendo su forma primordial, sin embargo en los últimos años han cubierto más área, aproximadamente 36% de zona ganada; lo que indica que estos depósitos se están expandiendo en sentido oeste. De esta manera se puede comprender que la zona occidental es el área con mayor dinamismo dunar, gran extensión de ambientes eólicos y variaciones notables; por su parte la zona oriental mostró todo

lo contrario, no obstante en los últimos años esta área está adquiriendo cobertura por parte de las dunas debido a que posiblemente existe un nuevo incremento en el aporte sedimentario.

Los procesos geomorfológicos que originan la morfodinámica de esta área está determinada por los fuertes vientos, los cuales generan procesos de transporte de los sedimentos (deflación); la saltación es el proceso más común de traslado de partículas debido al tamaño de los granos y la velocidad del viento, desde las costas orientales hasta las zonas de acumulación en planicie eólica. Durante la deflación también se generan otros procesos geológicos del tipo erosivo como la abrasión y la corrosión, los cuales le han aportado la morfología a las partículas constituyentes de las dunas.

Ambos depósitos eólicos (orientales y occidentales) presentaron características granulométricas diferentes originadas fundamentalmente a la prolongada exposición de los sedimentos a la deflación, lo que a su vez genera la activación de los procesos de abrasión y corrosión de partículas. La vegetación por su parte también ha tenido influencia en el desarrollo de algunas dunas como el campo de nebkhas; también sucede con el campo de dunas estabilizadas por parte de la cobertura arbustiva existente. De igual manera, las presencia de las fallas del Cabo San Román y de Puerto Escondido han modelado la superficie del área de estudio, contribuyendo con la formación de micro-acantilados, algunas formas exokársticas, terrazas marinas en combinación con el oleaje. La orientación de la duna longitudinal sur aparentemente fue influenciada por la falla del Cabo San Román teniendo una dirección de desarrollo paralela a la traza de desplazamiento tectónico.

Por último, muchas de estas dunas manifestaron modificaciones, las dunas occidentales mostraron una pérdida considerable de sedimentos aproximadamente 78% de sus acumulaciones; todo esto podría reflejarse en la disminución del atractivo escénicos y por lo tanto la merma del turismo. Por esta razón es necesario realizar estudios de mayor profundidad para interpretar y comprender los procesos naturales que se generan en el

Cabo San Ramón, así como también la sensibilidad de estas áreas por efecto antrópico, con el fin de generar medidas necesarias para el uso controlado de los espacios naturales del Cabo San Román bajo una figura jurídica.

REFERENCIAS

- Camacho, R.; Salazar, S.; González, L.; Pacheco, H. y Suárez, C. (2011). Caracterización geomorfológica de las dunas longitudinales del Istmo de Médanos, estado Falcón, Venezuela. [Documento en línea]. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, 76: 7-19 Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56921271002> [Consulta: 2013, Julio 24]
- Beehag, G. (2000). Sand Research Shaping Up. [Página en línea]. *Australian Turfgrass Management*, 2(4). Disponible en: http://www.agcsa.com.au/static/atm_articles/html/2_4f.html [Consulta: 2010, Marzo 24]
- Flor, G., Marquínez, J. y O'Neill, A. (1983). El complejo de dunas eólicas de la playa de Frouxcira (Meirás-Valdoviño, La Coruña). *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 6, 155-187
- Flor, G. y Martínez, P. (1991). *Características morfológicas y sedimentológicas de las dunas eólicas de Sonabia (zona oriental de Cantabria, NO de España)* [Documento en línea]. *Estudios geol.*, 47: 317-337. Disponible en: <http://estudiosgeol.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeol/article/viewFile/427/448> [Consulta: 2008, Abril 16]
- Folk R., y Ward W. (1957). Brazos river bar: a study of significant of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.* 27: 3-26
- Goddard, D. y Picard, X. (1976). *Geomorfología y sedimentación en la costa del estado Falcón, Cabo San Román a Chichiriviche*. En Memoria del II Congreso Latinoamericano de Geología. Caracas: Sucre. T. 2, pp. 1157-1179
- Guilarte, M. (2003). Caracterización geomorfológica del campo de dunas de Cocineta, península de La Guajira, Municipio Páez, Estado Zulia, Venezuela. Trabajo de grado no publicado, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas

- Hernández, L., Ruiz, P., Alonso, I., Alcántara, J., Pérez, E. y Suárez, C. (2003). Transformaciones inducidas por el desarrollo turístico en el campo de dunas de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias). *GeoFocus*, 3, 127-142
- Kasper, J. y Faustino, R. (2007). Análisis por microscopía electrónica de barrido de granos de cuarzo de dunas desérticas y costeras (Desierto de Altar, NW México). *Ciencias Marinas*, 33 (1), 11-22
- Lara, S. y González, L. (2006). Características geomorfológicas de la costa entre Cabo San Román y Punta de Chaure, Península de Paraguaná estado Falcón. *Revista Ambiental Aula y Ambiente*, 6 (12): 79-94
- Lara, S. y González, L. (2007). *Evolución geomorfológica de la planicie lodosa de La Macolla, Península de Paraguaná, Estado Falcón, Venezuela*. [Documento en línea]. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Disponible en: <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/boletin/bol62/b62Art01.pdf> [Consulta: 2007, Mayo 20]
- Martínez, J. (1986). Dunas de Maspalomas (Gran Canaria): Naturaleza petrológica de sus Arena. *Anuarios de Estudios Atlánticos*, 32, 785-794
- Martínez, J. (1997a). *Geomorfología Ambiental*. Gran canaria, España. Ediciones Universidad de Las Palmas
- Martínez, J. (1997b). Procesos y efectos geodinámicos marinos – costeros. [Documento en línea]. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y Shell España, S.A. Disponible en: http://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/7069/7069014/1524__gestion_del_litoral.pdf [Consulta: 2010, Enero 19]
- Martins, L., Potter, P., Martins, I. y Wolff, I. (1997). Grain size and modern sedimentary environments. *I Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Sociedad Venezolana de Geólogos*, tomo II, 67- 71
- Ministerio del Ambiente y de sus Recursos Naturales Renovables, Dirección General de Información e Investigación del Ambiente, Dirección de Cartografía Nacional. (1990). *Mapa de El Retruque*. Hoja 6152 - I – SE. [Mapa a Escala 1:25.000]. Caracas, Dirección de Cartografía
- Ministerio del Ambiente y de sus Recursos Naturales Renovables, Dirección General de Información e Investigación del Ambiente, Dirección de

- Cartografía Nacional. (1990). *Mapa de Puerto Escondido*. Hoja 6252 - IV – SO. [Mapa a Escala 1:25.000]. Caracas, Dirección de Cartografía
- Moticska, P. (2001). Informe petrográfico de diez muestras de calizas bioclásticas arenosas recolectadas en Cabo San Román, Península de Paraguaná, Estado Falcón. Caracas: Instituto Nacional de Geología y Minería
- Shelton, J., Papson, P. y Womer, M. (1978). *Aerial guide to the geological features of Southern California*. In *Aeolian Features of Southern California: A Comparative Planetary Geology*, 215-250
- Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF). (2004). *Diccionario forestal*. [Libro en línea]. Grupo Mundi-Prensa. Disponible en: <http://books.google.co.ve/books?id=Cy-Frn9-6QC&printsec=frontcover#v=onepage&q=&f=false> [Consulta: 2010, Febrero 27]
- Suárez, C., Lara, S., González, L., Gil, R. y González, O. (1999). Estudio sedimentológico de las nebkhas de Mitare, Costa Norcentral del estado Falcón, Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos*, 24 (2): 22-32
- Wentworth, CK. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392
- Zambrano, J. (1998). Estudio geomorfológico de las terrazas marinas del cuaternario en Cabo San Román, Península de Paraguaná. *Sapiens*. Vol. 6, Número único, 97-108