

Geomorfología de la duna remontante ubicada en el acantilado sur del Castillo de Araya, estado Sucre (Venezuela)

Franklin Núñez Ravelo*

Michel Hernández Labrador**

María Ugas Pérez***

Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Caracas - Venezuela

Resumen

El objetivo es caracterizar en lo físico-químico y morfodinámico la duna remontante ubicada en Araya, para ello se asumieron las siguientes fases de investigación: a) "Campo", que permitió la colecta sedimentológica en el ápice y la base del depósito; b) "Laboratorio" a fin de determinar tamaño y forma de los granos, contenido de CaCO_3 y minerales pesados, y c) "Oficina", centrada en el análisis estadístico. Se trata de arenas finas, generalmente redondeadas, bien seleccionadas, mineralógicamente compuestas por: 63,68% de cuarzo + feldespatos, 33,75% CaCO_3 y 2,56% de minerales pesados, las cuales experimentan un cabalgamiento promedio de 1,16 metros sobre el acantilado entre septiembre-abril, posiblemente vinculado al incremento de la velocidad de los vientos locales, los cuales registran en promedio hasta 81,04 m/s.

Palabras clave: arenas finas, duna remontante, geomorfología, Península de Araya, sedimentología.



DOI: [dx.doi.org/10.15446/rcdg.v26n1.52804](https://doi.org/10.15446/rcdg.v26n1.52804)

RECIBIDO: 5 DE AGOSTO DEL 2015. ACEPTADO: 26 DE ABRIL DEL 2016.

Artículo de investigación sobre los agentes y procesos involucrados en la formación y evolución de la duna remontante ubicada en el acantilado sur del Castillo de Araya en el estado Sucre (Venezuela).

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO: Núñez Ravelo, Franklin, Michel Hernández Labrador, y María Ugas Pérez. 2016. "Geomorfología de la duna remontante ubicada en el acantilado sur del Castillo de Araya, estado Sucre (Venezuela)." *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 26 (1): 51-63. doi: 10.15446/rcdg.v26n1.52804.

* Dirección postal: Universidad Pedagógica Experimental Libertador 10-40, Caracas, Venezuela.
Correo electrónico: franklingeove@hotmail.com
ORCID: 0000-0001-5501-3085.

** Correo electrónico: michelahernandez@hotmail.com
orcid: 0000-0002-2715-3408.

*** Correo electrónico: mariaelenaugas_88@hotmail.com
ORCID: 0000-0003-4798-8805.

Geomorphology of Climbing Dune, in the Cliff South The “Araya Castle”, Sucre State (Venezuela)

Abstract

The purpose is to characterize the physical-chemical and morpho-dynamics of the climbing dune located in Araya. For this the following research phases were carried out: a) 'Field', for the sedimentological collection at the apex and the base of the deposit; b) 'Laboratory' to determine size and shape of grains, CaCO_3 and heavy minerals content, and c) 'Office', focused on statistical analysis. The sands are fine, generally rounded, with a mineralogical composition of 63.68% quartz + feldspar, 33.75% CaCO_3 and 2.56% heavy minerals, and show an average thrust of 1.16 meters above the rocky outcrop between September to April, possibly linked to increased speed of local winds, which recorded an average of up to 81.04 m/s.

Keywords: fine sand, climbing dunes, geomorphology, Araya Peninsula, sedimentology.

Geomorfologia da duna remontante localizada na fálesia sul do Castillo de Araya, estado Sucre (Venezuela)

Resumo

O objetivo deste estudo é caracterizar no físico-químico e morfodinâmico a duna remontante localizada em Araya. Para isso, assumiram as seguintes fases de pesquisa: a) "campo", que permitiu a coleta sedimentológica no ápice e na base do depósito; b) "laboratório", a fim de determinar tamanho e forma dos grãos, conteúdo de CaCO_3 e minerais pesados; c) "escritório", centralizada na análise estatística. Trata-se de areias finas, geralmente redondeadas, bem selecionadas, mineralogicamente compostas por: 63,68% de quartzo + feldspatos, 33,75% CaCO_3 e 2,56% de minerais pesados, as quais experimentam um acavalamento médio de 1,16 metros sobre la fálesia entre setembro e abril, possivelmente vinculado ao aumento da velocidade dos ventos locais, que registram até 81,04 m/s.

Palavras-chave: areias finas, duna remontante, geomorfologia, Península de Araya, sedimentologia.

Introducción

En las zonas tropicales costeras los procesos geomorfológicos revisten gran importancia, ya que suelen modificar, en periodos de tiempo relativamente cortos, la configuración del paisaje a consecuencia de los factores que favorecen la erosión o la sedimentación. La costa occidental de la península de Araya, y en particular, el tramo costero que se extiende apenas unos 460 m al sur de la Real Fortaleza de Santiago de Arroyo de Araya, mejor conocido como el Castillo de Araya, es una delgada franja litoral ubicada geográficamente en la región nororiental de Venezuela, específicamente en la costa suroeste del estado Sucre (figura 1), allí se presentan complejos procesos geomorfológicos de tipo costero, gravitacionales y eólicos que no solamente han producido cambios importantes en la morfología costera sino que también suelen afectar la calidad de vida de los habitantes de la zona.

Desde el punto de vista geológico, la península de Araya está ligada a la formación de bloques alóctonos en el oeste del Caribe como resultado de la interacción entre la placa El Farallón y la placa Proto-Caribe. En

efecto, Pindell et ál. (1988) advierten que es muy poco probable concebir el metamorfismo cretácico del bloque de Margarita y la faja de la cordillera de la Costa, a partir del movimiento relativo en la trayectoria de la placa de Suramérica con respecto a la de Norteamérica, ya que desde el Triásico Tardío hasta el Eoceno (49 Ma), tenían rumbos diferentes y, a partir del Eoceno, convergen levemente.

En opinión de Lallemant (1989), se trata de un resultado a partir de la convergencia oblicua entre las placas Proto-Caribe y Farallón durante el Cretácico Tardío, lo cual genera fases sinmetamórficas en las rocas de la península de Araya que se manifiestan en pliegues y fallas normales, mientras que las fases posmetamórficas, constituidas por pliegues, se formaron entre el Oligoceno y el Mioceno o desde el Plioceno al Holoceno, como resultado del paso hacia el este de la Placa del Caribe.

En el caso particular de la zona sur del Castillo de Araya, Bermúdez (1966) identificó la Formación Cumaná (Pleistoceno) que subrayase en contacto discordante (figura 2) con el Miembro Cerro Negro de la

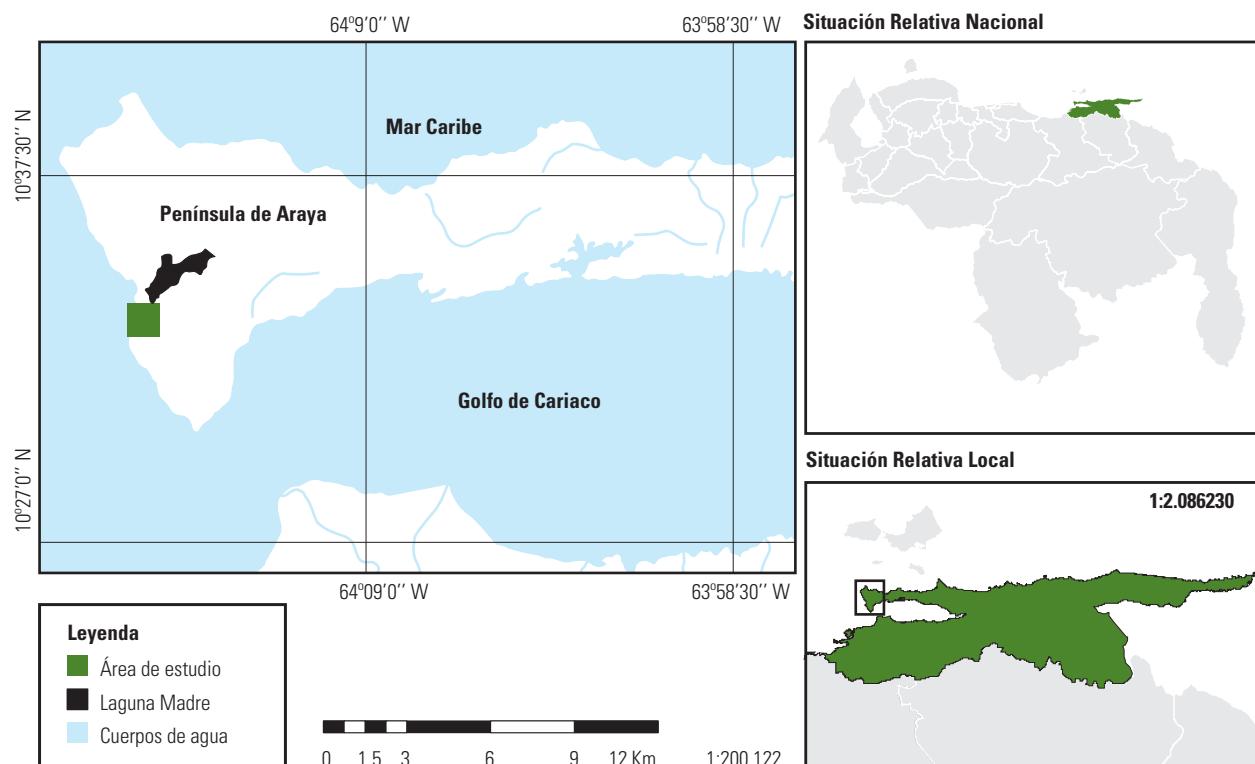


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio en el contexto nacional, regional y local.
Fuente: Ministerio de Minas e Hidrocarburos 1968.

Formación Cubagua (Mioceno Tardío a Plioceno Tardío) constituidas litológicamente, de acuerdo con lo reportado por Petróleos de Venezuela S. A. (2011): respectivamente por bancos de moluscos y briozoarios, calizas arrecifales sacaroideas, areniscas cuarzosas grises de grano fino y subredondeados con esfericidad media, areniscas calcáreas, calizas micríticas grises, calcarenitas, caliza bioclástica interestratificada con lutitas gris oliva masivas y laminares con glauconita, arcillas y limolitas grises; y como material accesorio hay cuarzo, lignito y pirita. Mientras que para el Miembro Cerro Negro se reportan: calizas orgánicas de colores claros, calizas oolíticas, lodolitas (*mudstones*) de color gris

claro intercaladas con arcillas de color gris claro a gris azulado, con abundantes fragmentos de equinodermos, pelecípodos y otros moluscos, calcarenitas fosilíferas, areniscas calcáreas, areniscas cuarzosas, grisáceas de grano fino a muy fino, subredondeadas a subangulares, con esfericidad media, muy calcáreas, probablemente periarrecifales; también limolitas color oliva.

Sobre estos afloramientos se acumulan *depósitos holocénicos*, evidenciados en el área objeto de estudio a manera de playas desarrolladas en el borde costero; la presencia de dunas remontantes o cabalgantes hacia la zona sur del Castillo de Araya (figuras 3 y 4) y en menor proporción algunas arenas ligeramente compactadas.

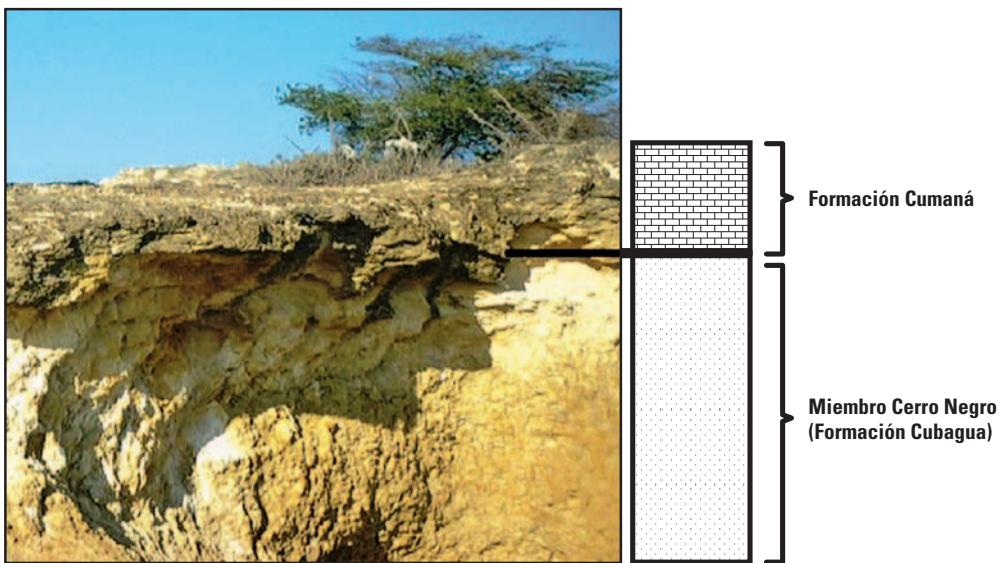


Figura 2. Contacto discordante entre la formación Cumaná y el Miembro Cerro Negro de la Formación Cubagua.

Fotografía de Núñez, septiembre 2011.



Figura 3. Fotografía de la duna remontante en la zona sur del Castillo de Araya.

Fotografía de Núñez, septiembre 2011.

Nota: nótese en primer plano cómo las arenas cabalgan el acantilado, por la acción de los vientos dominantes. Al fondo se observa la Real Fortaleza de Santiago de Arroyo de Araya.

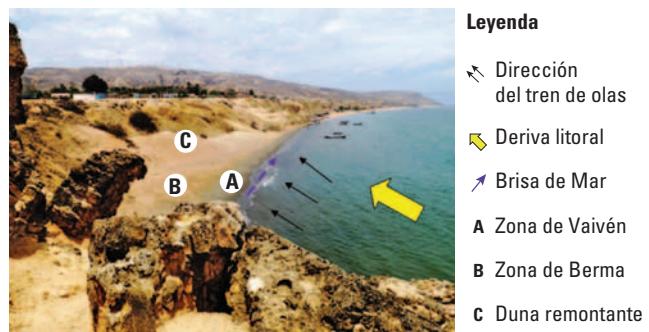


Figura 4. Fotografía de la duna remontante en la zona sur vista desde el Castillo de Araya.

Fotografía de Núñez, marzo 2012.

En lo concerniente a las acumulaciones de arena sobre el acantilado, es importante destacar que geomorfólogicamente estas corresponden a depósitos eólicos, dado que su orientación fundamental está determinada por la dirección de los vientos dominantes (Strahler y Strahler 1989).

Ahora bien, Longwell y Flint (1974) plantean que la complejidad en la evolución de este tipo de geoformas está influenciada por múltiples factores, tales como: la topografía del terreno, variaciones en la velocidad del viento, cantidad de arenas disponibles, entre otros. Por su parte, Gutiérrez (2008) afirma que estos suelen ser de mayor importancia cuando la cobertura vegetal es escasa, y generalmente las precipitaciones son inferiores a los 250 mm anuales, agregando que en zonas con pendientes inferiores al 30%, las arenas suelen ser transportadas por encima de la ladera, depositándose y conformando las llamadas dunas rampantes, remontantes, trepadoras o cabalgantes.

Longwell y Flint (1974) advierten que: a) muchos de estos depósitos suelen ser generados a partir de la presencia de un obstáculo, considerando entre estos a los acantilados; b) la energía de una corriente de aire cambia a distancias de uno a varios metros sobre el terreno con la más ligera irregularidad; c) a su paso el viento deja una bolsa de aire de baja energía que contiene remolinos frente al obstáculo, lo que permite la acumulación de arena y la formación de las dunas, las cuales pueden por sí mismas actuar como un obstáculo y detener más arena llevada por el viento a medida que crecen; y d) posiblemente la altura a la cual pueda crecer está determinada por el aumento de la velocidad del viento.

En otro orden de ideas, Gutiérrez (2008) afirma que los materiales transportados por la acción eólica suelen ser de composición diversa, tales como fragmentos de rocas y partículas orgánicas, así como restos de conchas, siendo el cuarzo el material más frecuente debido a su abundancia en la superficie terrestre y a su resistencia a la meteorización química, pero también se reconoce —aunque en menor porcentaje— el feldespato así como algunos minerales pesados.

Particularmente las arenas suelen ser las más fáciles de movilizar por el viento, en efecto, a medida que aumenta el levantamiento y arrastre de partículas existe un valor crítico de velocidad de cizalla del viento en el que estas inician su movimiento, conocido como umbral de fluido. Una vez que se produce el arranque, el bombardeo sobre los granos genera una disminución en la energía requerida para mantener las partículas en

movimiento (umbral de impacto), donde se requieren menores velocidades para mover un grano estacionario por empuje de fluido y corresponde aproximadamente el 80% del umbral estático (Anderson y Haff, citado en Gutiérrez 2008).

Ahora bien, los estudios sobre este tipo de depósito son escasos, no obstante, han sido reportados en distintas zonas geoastronómicas del planeta, entre estas en el Cabo Frouxeira en Galicia (Flor, Marquínez y O'Neill 1983), Desierto de Negev al sur de Israel (White y Tsoar 1998), Menorca en las Islas Baleares (Roig, Juaneda y Quintana 2003), Peñón de Gibraltar (Rodríguez et ál. 2010), al sureste de Tenerife (Padrón 2014), entre otros. Coinciendo en su mayoría en el reconocimiento de las condiciones sedimentológicas del material, el viento, en lo concerniente a su dirección y velocidad, es un agente fundamental para el transporte y distribución del material, así como en los procesos geomorfológicos asociados para su constitución.

Sobre la base de la existencia de este tipo de acumulaciones en la península de Araya y reconociendo, como se ha mencionado, que son casi inexistentes las investigaciones que se han realizado en el contexto latinoamericano, y en particular, en Venezuela, con el propósito de conocer las características sedimentológicas, así como los procesos geomorfológicos que condicionan la evolución de este tipo de depósito, se ha planteado como objetivo principal caracterizar en lo físico-mecánico, en lo químico y en lo morfodinámico, la duna remontante ubicada al sur de la Real Fortaleza de Santiago de Arroyo en el estado Sucre, desde el ámbito de la geomorfología eólica, pues se pretende generar una aproximación teórica referente a los procesos involucrados en la evolución de este tipo de geoforma hasta ahora poco estudiada del litoral oriental venezolano.

Metodología

Para efectos de la presente investigación y en correspondencia con su propósito, se asumió el modelo de campo con un diseño experimental, de niveles descriptivo y explicativo.

Fases y procedimientos de la investigación

Fase de campo

Se llevaron a cabo siete trabajos de campo, atendiendo a las condiciones climáticas imperantes en la zona, con el objetivo de atender posibles variaciones en el

cabalgamiento de la duna que puedan estar vinculadas con los cambios en la velocidad del viento, evaporación y precipitación. En tal sentido, se asistió cuatro veces a campo en septiembre (2011-2014) ya que este mes registra un descenso en la velocidad del viento y en la evaporación, así como un leve incremento de las lluvias. Mientras que las otras tres visitas a campo se hicieron en marzo del 2012, abril del 2013 y abril del 2014, meses que corresponden al periodo de mayor velocidad del viento y evaporación, así como mínimos montos pluviométricos.

Estas visitas permitieron medir el cabalgamiento o altura alcanzada por la duna en relación con el acantilado, para ello se empleó un altímetro modelo SUUNTO Escape203.

Se hicieron dos colectas de material sedimentológico superficial para cada posición topográfica de la duna remontante (apical o cima y basal). La primera colecta se realizó en septiembre del 2011 y la segunda en marzo del 2012, esto con el objetivo de identificar posibles diferencias granulométricas en la constitución del material, asociado a las variables climáticas descritas.

Fase de laboratorio

En esta fase se ejecutaron los protocolos que permitieron precisar las características físico-mecánicas y químicas de las muestras de sedimentos recolectadas en campo. En la tabla 1 se especifican las determinaciones y técnicas empleadas.

Tabla 1. Ensayos físicos y químicos ejecutados

Geoforma	Ensayos con propósitos físicos	Ensayos con propósitos químicos
Duna remontante: zona basal y apical	<ul style="list-style-type: none"> Granulometría (método de tamizado en seco, protocolo referido por Köster y Leser 1976). Morfoscopía de los cuarzos (método de micrografías cotejado con la escala propuesta por Cailleux, citado en Roa y Berthois 1975). 	<ul style="list-style-type: none"> Contenido de Carbonato de calcio (método de digestión de carbonatos). Fracción de minerales pesados (método de separación por Bromoformo reportado por Pettijohn 1980).

Fase de análisis estadístico

Esta fase contempló: el análisis de datos para el reconocimiento de parámetros granulométricos y la preparación de los datos climáticos para su posterior interpretación.

- **Curva acumulativa semilogarítmica (curva granulométrica):** de acuerdo con Roa y Berthois (1975) este tipo de curva, clasificada como de acumulación retrógrada, da una imagen más fiel del depósito de sedimentos.
- **Determinación de parámetros granulométricos:** los análisis se sustentan en los datos extraídos de las curvas granulométricas construidas a partir de los valores obtenidos mediante la técnica del tamizado en seco. La hoja de cálculo de Excel fue programada mediante las ecuaciones que permiten precisar los parámetros granulométricos referidos a la tendencia central, selección, asimetría y curtosis.
- **Ajuste de datos climáticos:** para efectos de la presente investigación y enmarcados en la franja costera objeto de estudio, fueron analizadas las características climáticas del sector sur del Castillo de Araya, a partir de datos de promedio mensual correspondientes a la estación climatológica tipo c: Salinas de Araya, para el periodo 1949-1979, en variables como: temperatura, velocidad máxima del viento, precipitación y evaporación, obtenidos a través del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH 2012).
- **Desenglobe de datos:** para el desenglobe de datos se empleó la técnica de Pérez Machado (citado por Guevara 2003), expresada en la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$X_j = (X_{j+1})(X_a) / (X_a + X_e)$$

Donde:

X_j = posible valor del dato faltante.

X_{j+1} = valor de dato con englobe (mes siguiente al faltante).

X_a = media del periodo de días anteriores a la media del periodo de días con englobe.

X_e = media del periodo de días del mes con englobe.

El resultado es el valor para el mes con el dato faltante, por lo que se debe redefinir el valor del mes con el dato englobado. Para ello, solo basta restar al valor englobado, el monto obtenido al aplicar la ecuación anterior.

- **Estimación de datos faltantes:** para la estimación de datos faltantes se aplicó el método racional descrito por Guevara (2003), cuyo procedimiento consiste en calcular los porcentajes de cada mes en la lluvia anual, pero solamente para aquellos años con datos completos en sus doce meses.
- **Estadísticos climáticos:** una vez homogeneizados los datos, se procedió a la estimación de estadísticos climáticos básicos como el promedio mensual y el monto anual para las variables de evaporación y precipitación, el promedio mensual de la velocidad del viento y la estimación del coeficiente pluviométrico de Angot, tipo climático y fórmula climática.

Resultados

Características climáticas

La costa oeste de la península de Araya está influenciada por fuertes vientos, se registran ráfagas con una velocidad máxima promedio de 68 m/s y cuyo patrón de circulación está determinado por los Alisios de noreste. Al respecto, señala Vila (1965) que los paisajes caracterizados por lomas de baja altitud permiten a los alisios cruzar la península sin mayor impedimento, lo que contribuye a generar una mayor evaporación y sequía en la zona.

En cuanto a la velocidad, estos vientos alcanzan su máximo valor entre marzo y abril, donde llegan a superar los 80 m/s mientras que el valor mínimo se registra hacia septiembre con 54 m/s (figura 5).

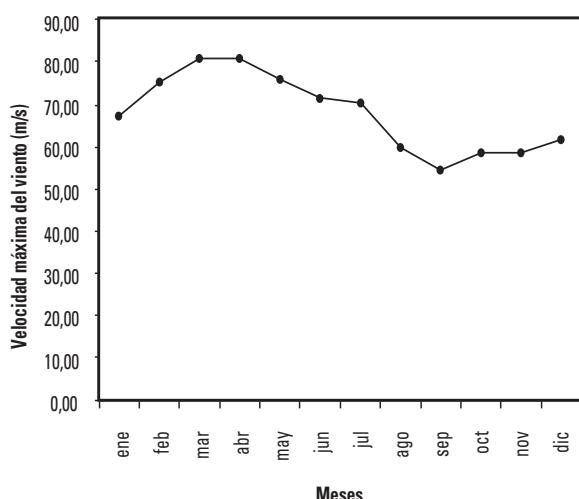


Figura 5. Variación anual de la velocidad máxima del viento (m/s) en la estación Salinas de Araya (periodo 1949-1979).

Datos: INAMEH 2012.

Ahora bien, para la zona en estudio, es importante destacar la influencia de las brisas de mar y de tierra. En efecto, durante el día puede apreciarse en la zona sur del Castillo de Araya la influencia de un viento local persistente que fluye desde el mar hacia la tierra. Esto guarda correspondencia con lo referido en el plano teórico por Ayllón (2003), quien sostiene que durante el día el sol calienta la superficie terrestre, siendo que las zonas litorales reciben la misma insolación que el mar; no obstante, el aire que está en contacto con el suelo se calienta más rápido que aquel que entra en contacto con la superficie del agua. Esta diferencia de temperaturas genera la formación de una zona de relativa baja presión en el área costera y de relativa alta presión en el mar adyacente, lo que ocasiona una circulación del viento desde la zona marina hacia el continente.

Para Guevara (2004), este mecanismo es una circulación térmica o convencional donde la tierra más caliente es un ciclón térmico, mientras que el mar se comporta como un anticiclón térmico. Este comportamiento del viento se activa por lo general a las 10:00 a.m. y alcanza su máxima actividad pasado el medio-día, cuando la tierra empieza a enfriarse y el contraste térmico desaparece.

De acuerdo con Ayllón (2003) y Guevara (2004) estas brisas pueden alcanzar velocidades entre 6 m/s hasta 20 m/s, con un radio de acción de 15 km en tierra adentro y una altura que no sobrepasa los 400 m.

Agrega Guevara (2004, 160) que, particularmente para la península de Araya, la brisa de mar es importante dentro del patrón general de circulación de los vientos, debido al efecto moderado de la temperatura, lo que hace más agradable el clima local.

Por la noche, la zona continental se enfriá más rápido que el mar, por lo tanto, se forma una zona de relativa baja presión sobre el mar y de alta presión sobre el continente, es así como los vientos suelen soplar de la tierra hacia el mar, con una velocidad máxima inferior a la de las brisas de mar, aproximadamente 2,7 m/s (Ayllón 2003).

De acuerdo con los datos analizados para la evaporación, correspondientes a la estación Salinas de Araya, se estimó un monto anual de 3.429,4 mm, se registró un mínimo 265,17 mm en noviembre y, como máximo, 333 mm en marzo.

El análisis de correlación mediante la prueba de Pearson, de los datos de evaporación mensual (mm) y velocidad máxima del viento (m/s) por mes, indica un coeficiente de 0,97, lo que sugiere una muy alta correlación positiva entre las variables, lo que muestra que

en la medida en que los vientos aumentan en velocidad, igualmente aumenta la evaporación.

En efecto, las altas evaporaciones registradas son típicas de las zonas costeras tropicales y sus causas están asociadas a la interrelación de múltiples factores como son: los elevados montos de radiación solar que se reciben en la zona intertropical, lo que se traduce en altos niveles de temperatura; aunado a lo anterior, el paso de los vientos alisios del noreste por terrenos topográficamente bajos, y en el caso particular del área objeto de estudio, la elevada velocidad de los vientos. Todo ello trae como consecuencia una elevada evaporación, permanente durante todo el año.

Por su parte, las precipitaciones para la zona objeto de estudio presentan valores mensuales que no superan el límite de los 60 mm de lluvia, por lo que puede afirmarse que todos los meses son secos.

En efecto, en septiembre —mes con máximas precipitaciones para la zona— apenas se registra, en promedio, poco más de 40 mm de lluvia, siendo el monto anual estimado de 233,5 mm. Esta condición es típica de ambientes costeros tropicales con bajas alturas, donde el paso de los vientos alisios, al no estar obligados a ascender, favorecen la evaporación, pero no a la precipitación.

Ahora bien, al analizar las condiciones de precipitación para la zona, mediante la prueba de Angot¹, se evidencia una tendencia al aumento de las precipitaciones entre los meses de julio a noviembre, para un monto estimado durante este periodo de 168,6 mm, lo que equivale al 72,19% del total de las lluvias.

¹ El coeficiente pluviométrico de Angot permite analizar el comportamiento de las precipitaciones en zonas áridas o semiáridas, con el objetivo de determinar la efectividad de las lluvias, en un índice que expresa el carácter más o menos lluvioso del mes considerado en el conjunto del año, salvando al mismo tiempo la dificultad que suponen las diferencias de duración de los períodos a analizar. El coeficiente se estima a partir del producto de la división de la lluvia mensual real registrada para una estación determinada, por la cantidad hipotética de lluvia estimada a partir de la distribución del monto anual de precipitación, según los días que correspondan a cada mes —para su estimación se debe dividir el monto anual de lluvia por el número de días del año, y luego, para determinar la lluvia hipotética por mes se debe multiplicar el factor obtenido por el número de días que correspondan—. Así, se interpreta que un mes es seco cuando el cociente obtenido es menor a 1 y húmedo aquel cuyo cociente supere la unidad.

Si bien se trata de una zona con escasas precipitaciones, el referido incremento que se evidencia, a partir del análisis del coeficiente pluviométrico de Angot, puede estar determinado por los remanentes de la convergencia intertropical en su desplazamiento durante seis meses hacia el norte siguiendo la zona de baja presión —a partir de abril o mayo— ya que esta llega aproximadamente hasta los 10°, y genera el periodo lluvioso en su paso sobre el territorio.

Atendiendo a las características referidas para cada una de las variables analizadas para la estación Salinas de Araya y comparándolas con los criterios de clasificación establecidos por Koppen, puede afirmarse que desde el punto de vista climático en la región se manifiesta el tipo árido o tropical desértico (BWh).

Al considerar el criterio para los pisos térmicos de Venezuela, formulado por Goldbrunner (citado en Foghin 2002), se encuentra que por su altitud la zona se ubica dentro del llamado piso tropical, y por el monto anual de precipitación se asocia a la categoría árida, con lo cual se clasifica como tropical árido.

Rasgos sedimentológicos de la duna

Textura de los sedimentos

Las curvas granulométricas correspondientes a la zona basal y apical de la duna muestran como principales características ópticas una tendencia a ser alargada hacia el extremo superior y menos inclinada en la zona central (figura 6), lo cual guarda correspondencia con una distribución cuya mayor fracción se ubica hacia el material fino.

En efecto, las determinaciones estadísticas indican que granulométricamente la duna remontante se caracteriza por:

1. El tamaño promedio de los granos tiende hacia la talla de las arenas finas (tabla 2).
2. Independientemente de la posición topográfica los sedimentos están bien seleccionados (tabla 3).
3. El coeficiente de asimetría indica que los granos de menor tamaño predominan sobre los más gruesos, por lo que la asimetría es positiva (tabla 4).
4. Los granos en ambos sectores tienen una distribución leptocúrtica, es decir, la selección hacia el centro de la curva de distribución es mejor que hacia los extremos (tabla 5).

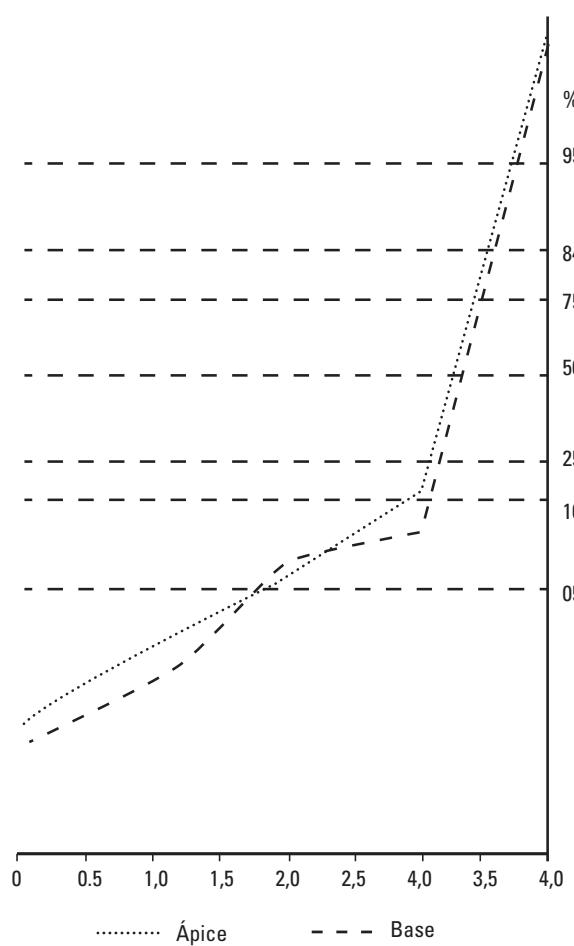


Figura 6. Curvas granulométricas correspondientes al ápice y la base de la duna remontante colectadas en septiembre del 2011.

Tabla 2. Tendencia central estimada para las muestras de la duna remontante

Muestra	$\bar{\theta}_{16}$	$\bar{\theta}_{50}$	$\bar{\theta}_{84}$	Mz	Tendencia
Base (sep-11)	3,10	3,25	3,6	3,32	Arena fina
Base (mar-12)	3,35	3,50	3,6	3,48	Arena fina
Ápice (sep-11)	2,90	3,25	3,5	3,22	Arena fina
Ápice (mar-12)	2,70	3,25	3,55	3,17	Arena fina
Media	3,01	3,31	3,56	3,30	Arena fina

Tabla 3. Coeficiente de selección estimado para las muestras de la duna remontante

Muestra	$\bar{\theta}_{05}$	$\bar{\theta}_{16}$	$\bar{\theta}_{84}$	$\bar{\theta}_{95}$	l	Selección
Base (sep-11)	1,75	3,10	3,6	3,75	0,43	Bien seleccionados
Base (mar-12)	1,8	3,35	3,6	3,85	0,37	Bien seleccionados
Ápice (sep-11)	1,75	2,90	3,5	3,70	0,45	Bien seleccionados
Ápice (mar-12)	1,75	2,70	3,55	3,65	0,50	Bien seleccionados
Media	1,76	3,01	3,56	3,74	0,44	Bien seleccionados

Tabla 4. Coeficiente de asimetría estimada para las muestras de la duna remontante

Muestra	$\bar{\theta}_{05}$	$\bar{\theta}_{16}$	$\bar{\theta}_{50}$	$\bar{\theta}_{84}$	$\bar{\theta}_{95}$	sk	Asimetría
Base (sep-11)	1,75	3,10	3,25	3,6	3,75	-0,05	Positiva
Base (mar-12)	1,8	3,35	3,50	3,6	3,85	-0,43	Positiva
Ápice (sep-11)	1,75	2,90	3,25	3,5	3,70	-0,35	Positiva
Ápice (mar-12)	1,75	2,70	3,25	3,55	3,65	-0,44	Positiva
Media	1,76	3,01	3,31	3,56	3,74	-0,32	Positiva

Tabla 5. Coeficiente de curtosis estimado para las muestras de la duna remontante

Muestra	$\bar{\theta}_{05}$	$\bar{\theta}_{25}$	$\bar{\theta}_{75}$	$\bar{\theta}_{95}$	k	Curtosis
Base (sep-11)	1,75	3,15	3,5	3,75	2,34	Leptocúrtico
Base (mar-12)	1,8	3,4	3,55	3,85	5,60	Leptocúrtico
Ápice (sep-11)	1,75	3,1	3,4	3,70	2,66	Leptocúrtico
Ápice (mar-12)	1,75	3,0	3,4	3,65	1,95	Leptocúrtico
Media	1,76	3,16	3,46	3,74	3,14	Leptocúrtico

Lo anterior permite inferir dos aspectos importantes: a) las brisas de mar, como vientos locales de relevancia para la zona, tienen la capacidad de seleccionar el material que se encuentra disponible en la zona de berma y transportarlo por algunos metros hacia el acantilado, lo que genera la referida duna remontante; y b) no se identifican diferencias granulométricas asociadas a los cambios que experimentan la velocidad del viento, la evaporación o la precipitación (figura 7).

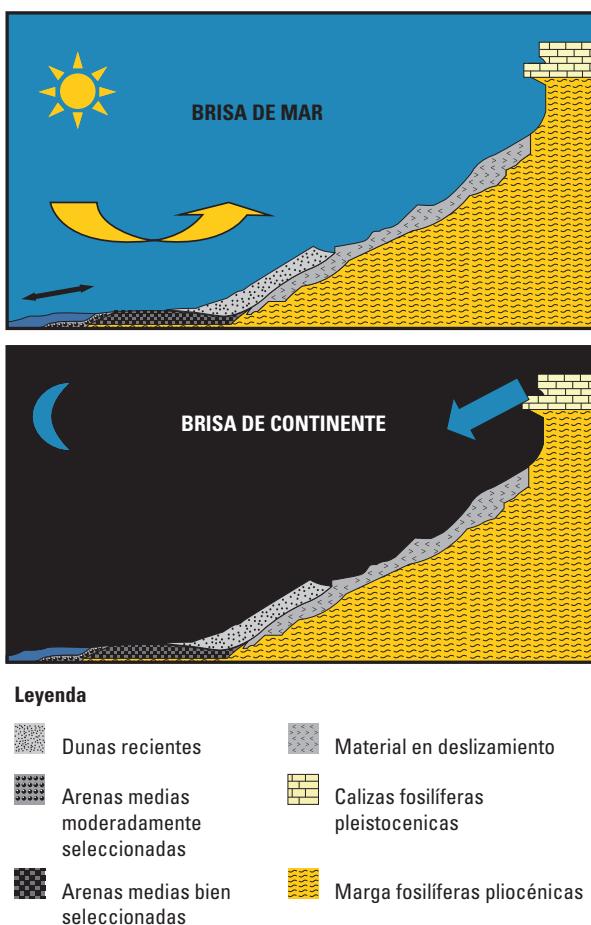


Figura 7. Modelo idealizado del comportamiento de las brisas de mar y de continente en la zona sur del Castillo de Araya y su influencia en la evolución de la duna remontante.

Morfoscopía de los cuarzos

En general, predominan —aproximadamente en las mismas proporciones— los cuarzos con bordes redondeados frente a los sub-angulares.

Asimismo, no se registran cambios por posición topográfica a pesar de que en ambos sectores de la duna predomina lo redondeado en la distribución promedio de la forma de los cuarzos, seguido de lo subanguloso, y

en tercera posición los granos muy redondeados, como sigue: a) en el ápice 51,80%, 30,12% y 18,08%; y b) en la base 47,16%, 28,3% y 22,54%, respectivamente. En las tablas 6 y 7 se muestran los valores por muestreo y el promedio general por posición topográfica, siendo este último ilustrado en las figuras 8 y 9.

Tabla 6. Distribución porcentual de la forma de los granos de cuarzo ubicados en el ápice de la duna

Ápice	Muy redondeada	Redondeada	Sub-angulosa	Anguloso	Total
sep-11	18,85	52,00	29,15	0	100
mar-12	17,31	51,60	31,09	0	100
Prom.	18,08	51,80	30,12	0	100

Tabla 7. Distribución porcentual de la forma de los granos de cuarzo ubicados en la base de la duna

Ápice	Muy redondeada	Redondeada	Sub-angulosa	Anguloso	Total
sep-11	23,56	46,06	28,48	1,90	100
mar-12	21,52	48,26	28,12	2,10	100
Prom.	22,54	47,16	28,30	2,00	100

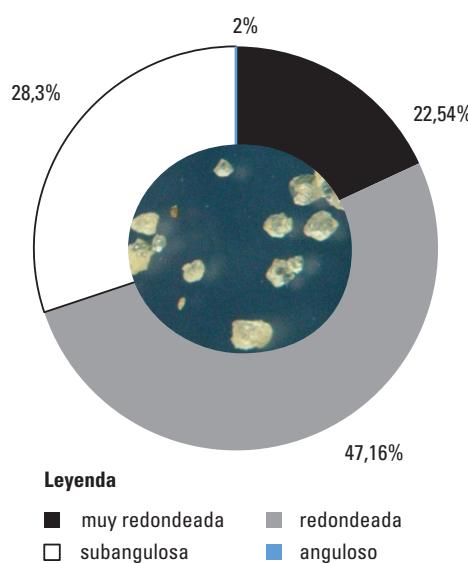


Figura 8. Distribución porcentual promedio de la forma de los granos de cuarzo correspondientes al ápice de la duna según su índice de desgaste.

Nota: la micrografía en el centro del gráfico, corresponde a la muestra colectada en septiembre del 2011.

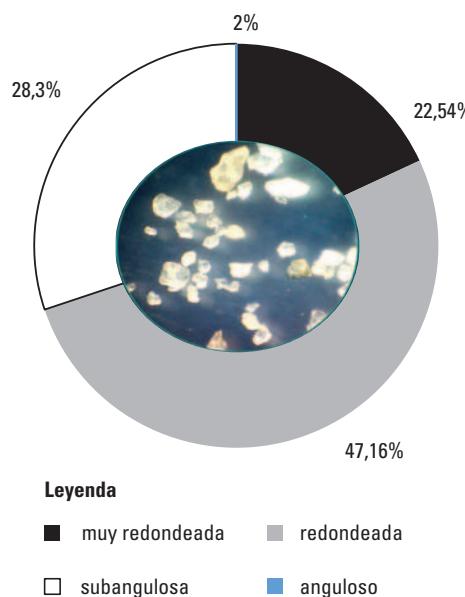


Figura 9. Distribución porcentual promedio de la forma de los granos de cuarzo en la base de la duna según su índice de desgaste.

Nota: la micrografía de la parte central, corresponde a la muestra colectada en septiembre del 2011.

Contenido de carbonato de calcio

El contenido de carbonato de calcio es similar en la base (36%) y en el ápice o parte más elevada de la duna (31%), con una fracción importante de partículas carbonatadas, situación propia de zonas costeras y sedimentos originados a partir de la disagregación de materiales calcáreos (tabla 8).

Tabla 8. Distribución mineralógica de las arenas que constituyen la duna remontante

Muestra	%CaCO ₃	% Minerales pesados (sin diferenciar)	% Minerales livianos (cuarzo + feldespatos)
Base (sep-11)	37,5	5,75	56,75
Base (mar-12)	35	2,5	62,5
Ápice (sep-11)	30	1,25	68,75
Ápice (mar-12)	32,5	0,75	66,75
Promedio Base	36,25	4,12	59,62
Promedio Ápice	31,25	1,00	67,75
Promedio General	33,75	2,56	63,68

Fracción de minerales pesados

La fracción de minerales pesados es limitada, siendo de aproximadamente un 4% en la zona basal, y apenas un 1% hacia el tope. Esto permite suponer que las partículas de mayor densidad suelen acumularse hacia la parte más baja de la duna (tabla 8).

Morfodinámica del cabalgamiento

La referida duna, durante el periodo estudiado, ha registrado un remontamiento o cabalgamiento que alcanza un promedio de 6,66 m sobre el acantilado para el periodo de marzo-abril, asociado al periodo de mayor velocidad de los vientos. Para el mes de septiembre, esta suele descender un promedio de 1,16 m hacia la base del acantilado, para ubicarse en una altura promedio de 5,50 m (tabla 9).

Tabla 9. Morfodinámica del cabalgamiento de la duna remontante

Muestra	2011	2012	2013	2014	Altura promedio
Marzo-abril (m)	S/R	6,5	6,5	7	6,66
Septiembre (m)	1,5	1	1,5		1,16
	5	5,5	5,5	6,0	5,50

En general, se considera que su mayor cabalgamiento se experimenta entre los meses de marzo y abril, cuando la zona registra los mayores montos de evaporación y la menor precipitación. Esto permite suponer que durante los episodios de pleamar, el vaivén asociado al comportamiento del oleaje, disponen sedimentos sobre una berma de aproximadamente 14 m de ancho, y transcurrido este momento, durante el sucesivo periodo de bajamar, este material queda expuesto a las condiciones de aridez descritas, por lo que es secado rápidamente, y resulta vulnerable al paso de los vientos locales dominantes o brisa de mar, la cual los redistribuye siguiendo su dirección hacia el acantilado, en donde este, a modo de obstáculo, frena su capacidad de transporte, por lo cual obliga a la descarga de los granos y favorece su acumulación en la zona de baja pendiente.

Se estima que durante el periodo en estudio, la duna experimentó un crecimiento promedio de 1,16 m sobre

el acantilado, lo cual es un indicador de su situación activa actual y de su importante dinamismo.

Por su parte, el descenso en el crecimiento de la duna, evidenciado hacia el mes de septiembre, puede estar determinado por el leve incremento de las precipitaciones para el periodo julio-noviembre, las cuales, a pesar de ser esporádicas y de poca descarga, resultan suficientes para evacuar parte del material fino que constituye este depósito no estabilizado.

Conclusiones

La duna remontante, ubicada a menos de 10 m hacia el sur del saliente del Castillo de Araya, alcanza en su cabalgamiento por el acantilado hasta los 7 msnm. Se trata de una geoforma de acumulación eólica dinámica, fundamentalmente constituida por partículas de la talla de las arenas finas, bien seleccionadas y mineralógicamente constituida por cuarzos-feldespatos redondeados a muy bien redondeados, los cuales forman la fracción más representativa, seguidos por fragmentos de carbonatos y una mínima porción de minerales pesados (no identificados para esta investigación).

El cabalgamiento de este depósito se ve influenciado principalmente por vientos locales: durante el día, las brisas de mar tienen la capacidad de seleccionar el material fino que se encuentra disponible en la berma y transportarlo por algunos metros hacia el acantilado, lo que genera la referida duna remontante. Esta acción se hace mucho más intensa en los meses de marzo y abril, cuando los vientos alcanzan una velocidad de poco más de 80 km/h.

Ahora bien, durante la noche las brisas del continente presentan menor velocidad que las brisas de mar, siendo así, su capacidad de transporte de material es limitada, de manera que solo logra sacar una pequeña fracción del material que se ha depositado durante el día, lo que favorece el cabalgamiento de la duna sobre el acantilado.

De acuerdo con los registros de campo para el periodo en estudio, las fases de mayor cabalgamiento se experimentan entre los meses de marzo y abril, cuando la zona se ve influenciada por mayor evaporación y velocidad del viento con escasas precipitaciones, mientras que hacia el mes de septiembre se produce el descenso en el crecimiento de la duna, lo cual posiblemente esté asociado al leve incremento de las precipitaciones para el periodo julio-noviembre, así como al descenso de la velocidad de los vientos dominantes.

Referencias

- Ayllón, Teresa. 2003. *Elementos de meteorología y climatología*. México: Trillas.
- Bermúdez, Pedro. 1966. "Consideraciones sobre los sedimentos del Mioceno medio reciente de las costas central y oriental de Venezuela." *Boletín de Geología* 7 (14): 333-411.
- Flor, Germán, Jorge Marquínez, y A.C. O'Neill. 1983. "El complejo de dunas eólicas de la Playa de Frouxeira (Meirás-Valdoviño, La Coruña)." *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 6:155-188.
- Foghin, Sergio. 2002. *Tiempo y clima en Venezuela: aproximación a una geografía climática del territorio venezolano*. Colección *clase magistral*, vol. 1. Miranda: Instituto Pedagógico José Manuel Siso Martínez.
- Guevara, José Manuel. 2003. *Métodos de estimación de ajustes de datos climáticos*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Guevara, José Manuel. 2004. *Meteorología*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Gutiérrez, Mateo. 2008. *Geomorfología*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- INAMEH (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). 2012. "Datos climáticos de la estación Salinas de Araya." *INAMEH, datos hidrometeorológicos mensuales*. Consultado en agosto de 2014. http://www.inameh.gob.ve/mensual/in_fo_serial_climatologica_busqueda_reporte.php.
- Köster, Ernst, y H. Leser. 1976. *Trabajos prácticos de geomorfología*. Valencia: EU.
- Lallemand, Avé. 1989. "The Caribbean-South American Plate Boundary, Araya Peninsula, Eastern Venezuela." Ponencia presentada en *Transactions of the 12th Caribbean Geological Conference*, Saint Croix, Islas Virgenes, 7 al 11 de agosto.
- Longwell, Chester, y Richard Flint. 1974. *Geología física*. México: Limusa.
- Ministerio de Minas, e Hidrocarburos de Venezuela. 1968. *Mapa geológico de la Península de Araya Lámina I - n.º 03948*. Escala 1:25000. Caracas: Dirección de Geología.
- Padrón, Elisabet. 2014. "Patrimonio geomorfológico litoral y gestión costera: La Tejita - El Médano sureste de Tenerife." Tesis de pregrado, Universidad de la Laguna, Tenerife.
- Petróleos de Venezuela S.A. 2011. "Código estratigráfico de Venezuela." Consultado en febrero de 2014. <http://www.pdv.com/lexico/lexicoh.htm>.
- Pettijohn, Francis. 1980. *Rocas sedimentarias*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Pindell, James, S. C. Cande, Walter Pitman, David Rowley, John Dewey, Jhon Labrecque, y William Haxby. 1988. "A Plate-kinematic Framework for Models of Caribbean Evolution."

- lution." *Tectonophysics* 155 (1-4): 121-138. doi: 10.1016/0040-1951(88)90262-4.
- Roa, Pedro, y Leopoldo Berthois. 1975. *Manual de sedimentología (método para el estudio de los sedimentos no consolidados)*. Caracas: Sorocaima.
- Rodríguez, Joaquín, Luis Cáceres, Francisco Ruiz, Manuel Abad, Clive Finlayson, Geraldine Finlayson, Darrean Fa, y Arancha Martínez. 2010. "Las arenas eólicas del Pleistoceno superior de Gibraltar." *Geogaceta* 48:27-30.
- Roig, Francesc, Joan Juaneda, y Rafael Quintana. 2003. "El sistema de dunas remontantes de Cala macarelleta (Menorca), un sistema condicionado por las orientaciones de Umbría y Solana." En *Procesos geomorfológicos y evolución costera: actas de la II reunión de geomorfología litoral*, editado por Ramón Blanco, Juan López, y Augusto Pérez, 133-138. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.
- Strahler, Arthur, y Alan Strahler. 1989. *Geografía física*. Barcelona: Omega.
- Vila, Marco. 1965. *Aspectos geográficos del Estado Sucre*. Caracas: Corporación Venezolana de Fomento.
- White, Bruce, y Haim Tsoar. 1998. "Slope Effect on Saltation over a Climbing Sand Dune." *Geomorphology* 22 (2): 159-180. doi: 10.1016/S0169-555X(97)00058-5.

Lecturas recomendadas

- Bachmann, Raik. 2001. *The Caribbean Plate and the Question of its Formation*. Freiberg: University of Mining and Technology Freiberg. Consultado en Febrero de 2014. <http://www.geo.tu-freiberg.de/hydro/oberseminar/pdf/Raik%20Bachmann.pdf>.

Grupo Océano. 2011. *Minerales y rocas*. España: Océano.

Franklin Núñez Ravelo

Profesor en la especialidad de Geografía e Historia de la Universidad Pedagógica Experimental (UPEL-IPC), Magíster en Geografía, mención Geografía Física y Doctor en Educación Ambiental de la misma universidad. Investigador B del Ministerio del Poder Popular para la Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología (PEII). Investigador activo del Centro de Investigaciones "Estudio del Medio Físico Venezolano". Profesor agregado a dedicación exclusiva, adscrito a la cátedra de Geografía Física de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL-IPC, Venezuela). Coordinador General de Investigación de la UPEL-IPC. Jefe de la cátedra de Geografía Física de la UPEL-IPC. Jefe del Departamento de Geografía e Historia de la UPEL-IPC.

Michel Hernández Labrador

Profesora en la especialidad de Geografía e Historia de la Universidad Pedagógica Experimental (UPEL-IPC) y Magíster en Geografía, mención Geografía Física de la misma universidad. Investigadora A1 del Ministerio del Poder Popular para la Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología (PEII). Investigadora activa del Centro de Investigaciones "Estudio del Medio Físico Venezolano". Profesora Instructor a tiempo completo adscrita a la cátedra de Geografía Física de la UPEL-IPC (Venezuela).

María Ugas Pérez

Profesora en la especialidad de Geografía e Historia de la Universidad Pedagógica Experimental (UPEL-IPC), y Magíster en Geografía, mención Geografía Física de la misma universidad. Investigadora activa del Centro de Investigaciones "Estudio del Medio Físico Venezolano". Profesora Instructora (contratada) adscrita a la Cátedra de Geografía Física de la UPEL-IPC (Venezuela).