

MORFOLOGÍA Y SEDIMENTOS DE LA PLAYA Y PLATAFORMA DE LA BAHÍA SAN LUCAS, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

Navarro Lozano, J.O., E.H. Nava Sánchez, L. Godinez-Orta & J. Murillo Jiménez

Depto. de Oceanología. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN, Apdo. Postal 592. La Paz, BCS, México. email: jnavarro@ipn.mx.

RESUMEN. Bahía San Lucas está localizada en la punta sur de la Península de Baja California, por lo que recibe el oleaje de alta energía del Océano Pacífico. El análisis morfológico y sedimentológico del litoral y del fondo marino de la Bahía San Lucas, a partir del levantamiento batimétrico y del análisis de los parámetros texturales del sedimento permitió conocer la relación que existe entre las geoformas y el comportamiento sedimentológico. La morfología y orientación de las puntas que protegen a la bahía, así como la presencia temporal del abanico-delta El Salto en la porción central de la misma, condicionan los procesos de refracción y difracción del oleaje. Así, el litoral de la bahía se puede dividir en dos zonas, en donde los procesos energéticos del oleaje y agente transportante son diferentes entre ellas y determinan la morfología y distribución de sedimentos en el sistema playero. El relieve del fondo marino de la bahía está dominado por la presencia del cañón submarino San Lucas, cuya cabecera se aproxima hasta el pie de la playa, en la zona más interna de la bahía. Dicho cañón condiciona el desarrollo de la plataforma, la cual es de sólo 1.5 km de ancho, con profundidad máxima de 50 m. La poca profundidad de la plataforma, que permite que el oleaje interactúe con el fondo, así como la presencia del cañón submarino, condicionan la distribución de sedimentos del fondo marino de la bahía.

Palabras clave: Bahía San Lucas, zona litoral, delta, plataforma, cañón submarino

Morphology and sediments of the beach and shelf of the Bahía San Lucas, Baja California Sur, México

ABSTRACT. Bahía San Lucas is located at the southern tip of the Baja California peninsula, thus it receives high energy waves from the Pacific Ocean. The morphology of the coastline and marine bottom of the bay was interpreted based on a bathymetric survey and beach profiles, while the characteristics of the sediments were obtained through a textural analysis. Both, morphology and sedimentology allowed us to know the relationship between landforms and the sedimentological behavior. The geometry and orientation of the limiting points of the bay and the temporary presence of the fan-delta El Salto in the central portion, control the processes of wave refraction and diffraction. Thus, the coastline of the bay can be divided into two areas, where the wave energy processes and the transporting agent are different from each other and determine the morphology and sediment distribution of the beach. Seafloor topography of the bay is dominated by the presence of the San Lucas submarine canyon, whose head is just at the foot of the beach, in the innermost area of the bay. This canyon controls the development of the peninsular shelf, which is only 1.5 km wide with a maximum depth of 50m. This shallow depth of the shelf, which allows the waves interact with seabed, and the presence of the submarine canyon are the responsible for the distribution of sediments in the seabed of the bay.

Keywords: Bahia San Lucas, coastal, delta, shelf, submarine canyon

Navarro Lozano, J.O., E.H. Nava Sánchez, L. Godinez-Orta & J. Murillo Jiménez. 2009. Morfología y sedimentos de la playa y plataforma de la Bahía San Lucas, Baja California Sur, México. *CICIMAR Oceánides*, 24(1): 1-14.

INTRODUCCIÓN

El análisis de la distribución textural del sedimento ha sido ampliamente utilizado en estudios de la zona costera y marina para entender el efecto que los agentes costeros co-

mo oleaje, marea y corrientes, tienen sobre los ambientes sedimentarios, sobre todo en lo que se refiere a patrones de transporte. Así mismo, se ha encontrado una asociación entre el comportamiento sedimentológico y la morfología costera y marina (Guillén & Jiménez-

Fecha de recepción: 18 de marzo, 2009

Fecha de aceptación: 20 de abril, 2009

nez, 1995; Parrado & Achad, 1999; Alsharhan & El-Sammak, 2004; Murillo-Jiménez *et al.*, 2007).

La Bahía San Lucas y sus alrededores han sido objeto de pocos estudios geológicos costeros. La morfología y transporte de sedimentos en el cañón submarino San Lucas ha sido estudiada por Shepard (1964) y Shepard & Dill (1966). Entre los trabajos más recientes se puede mencionar el trabajo de Nava *et al.* (1994) que muestra las variaciones en el perfil de playa y su relación con las variaciones en el oleaje; el trabajo de Camacho (2003) que analiza la morfodinámica y textura de los depósitos eólicos en una playa al noroeste de la Bahía San Lucas en el Océano Pacífico; el trabajo de Navarro-Lozano (2006) que estudia la morfología y textura de los ambientes sedimentarios en Bahía San Lucas; y el trabajo de Murillo-Jiménez *et al.* (2007) que determina fuentes de proveniencia de sedimento y patrones de transporte en la costa del extremo sur de la península.

El objetivo de este trabajo es el de describir la morfología y sedimentología de los ambientes de playa y plataforma interna a partir de perfiles topográficos, modelo batimétrico y los parámetros texturales del sedimento; y asociar los resultados con los procesos costeros como oleaje y corrientes litorales.

Bahía San Lucas se localiza en el extremo sur de la Península de Baja California (Fig. 1) en los 22° 53' N y 109° 53' W, justo en la entrada al Golfo de California, por lo que está parcialmente protegida de la alta energía del Océano Pacífico. En esta zona convergen las aguas del Golfo de California con las del Océano Pacífico. La región sur de la península presenta un clima desértico con lluvias intensas y ocasionales en invierno (Marsh & Dossier, 1981), la temperatura media anual oscila de 22 °C a 24 °C y la precipitación media anual es de 205 mm en la estación de Cabo San Lucas, incrementándose a 400 mm en las partes altas circundantes al poblado de Cabo San Lucas (INEGI, 1996).

La bahía se encuentra delimitada por dos salientes graníticas, al noreste por Punta Cabeza de Ballena y al sur por el Cabo San Lucas (Fig. 1). Estas salientes juegan un papel importante en la dinámica del oleaje que arriba a la bahía y al mismo tiempo restringen la en-

trada y salida de sedimentos por las corrientes litorales. La separación entre las puntas es de 3.5 km y el perímetro de la línea de costa en el interior de la bahía es de 4.3 km. Las playas dominan la línea de costa, desde la porción contigua a Punta Cabeza de Ballena hasta la porción más interna (Playa El Médano, Fig. 1). La margen sur, que es la zona más protegida de la bahía, exhibe acantilados rocosos, a excepción de las playas Coral y de El Amor. En la parte central de la bahía se observa un pequeño lóbulo que corresponde al abanico-delta del arroyo El Salto.

El área de estudio forma parte de la Subprovincia Geológica Sierra La Victoria (López-Ramos, 1982), compuesta por el macizo batolítico de rocas graníticas y granodioríticas de edad Cretácica, intrusionando rocas metamórficas del Mesozoico. Esta subprovincia se presenta en forma de complejo montañoso (Gastil *et al.*, 1978), que alcanza una altura de 2000 m, y fue originado por los procesos tectónicos de apertura del Golfo de California, por lo que está limitado por fallas principales norte-sur y afectado por un fallamiento secundario con orientación NW-SE (Fletcher & Munguía-Orozco, 2000). Este último patrón de fallas controla la geometría de los cerros alineados, localizados en la margen acantilada del sur de la bahía.

La costa del Pacífico de Baja California Sur recibe oleaje distante de alta energía, por lo que el oleaje de viento local es menos energético (Trovo, 2003). De acuerdo con Trovo (2003), el oleaje distante también domina en la bahía, con promedios de altura entre 80 cm y 100 cm, con periodos entre 10 s y 12 s y dirección de aproximación S y SE-SW. De acuerdo a Robles-Gil (1998) en la región de Cabo San Lucas, durante el invierno, sopla un viento intenso y constante que localmente se le denomina "Colla"; su dirección dominante es del NE con una intensidad media de 4 m/s, y rachas de 10 m/s, produciendo olas de hasta 3 m de altura. Las "Collas" pueden durar desde uno a cinco días, y excepcionalmente hasta ocho días.

MATERIAL Y MÉTODOS

En el mes de septiembre del 2004 se recolectaron 36 muestras de sedimento de las cuales 12 fueron de la playa y 24 de fondo somero, en la plataforma interna (Fig. 1). Las

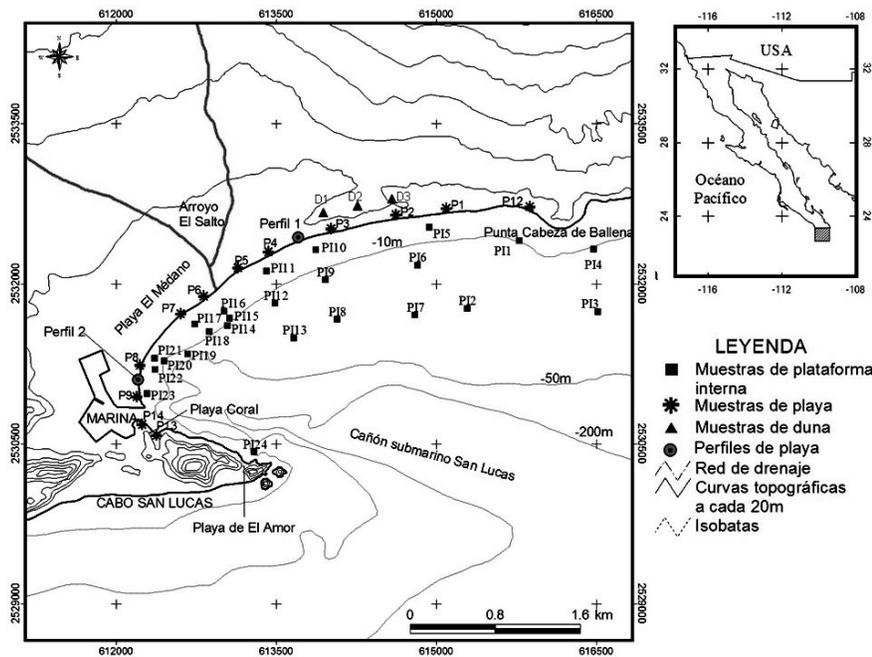


Figura 1. Localización del área de estudio, con los rasgos topográficos principales y los puntos de muestreo de sedimento de los ambientes de duna, playa y plataforma.

Figure 1. Study area showing main topographic features and the sediment sampling points of dune, beach and platform environments.

muestras de playa se recolectaron de la capa superficial del sedimento de la cara de la playa y las muestras del sedimento del ambiente marino somero se tomaron con draga tipo Van Veen desde una embarcación con motor fuera de borda, a tres profundidades diferentes: 5 m, 15 m y 30 m. Estas profundidades se seleccionaron tomando en consideración la posición de la rompiente del oleaje (~5 m de profundidad), los 15 m como zona intermedia y finalmente los 30 m de profundidad como una zona de relativa estabilidad cercana al borde de la plataforma peninsular.

Las muestras de sedimento fueron lavadas con agua destilada. Una vez secas se cuartearon para obtener 100 g de cada una y se tamizaron en un rotap a intervalos de ¼ de ϕ (Wentworth, 1922) por 15 minutos y se pesó la fracción retenida en cada tamiz.

Se obtuvieron los parámetros estadísticos de media, desviación estándar y sesgo a través del uso del programa GRADISTAT que los calcula aritméticamente (en unidades métricas) y logarítmicamente (en unidades ϕ) usando los métodos de los momentos y gráfico de Folk & Wards (Blott & Pye, 2001). El mis-

mo programa propone la terminología descriptiva. Para conocer el tipo textural del sedimento se utilizó la clasificación propuesta por Folk (1974) a partir del porcentaje de grava, arena y lodo.

El levantamiento batimétrico se llevó a cabo mediante un ecosonda marca Raytheon V8010 con sistema de posicionamiento global. El recorrido consistió de líneas perpendiculares y paralelas a la línea de costa, tratando de formar una retícula para una mejor interpolación de los datos. Las profundidades obtenidas se corrigieron por marea y después la interpolación de la información se hizo con el método Spline con una resolución de 1 m (este método realiza interpolación en cada punto a partir de 12 puntos próximos a su alrededor), utilizando como plataforma el sistema de información geográfica ArcView 3.2 y utilizando este mismo programa se obtuvo el modelo digital de profundidad del terreno, los perfiles topográficos y las pendientes del terreno.

RESULTADOS

Morfología del sistema playa-duna

El único cordón de dunas que se encuentra bien desarrollado y preservado en la Bahía San Lucas se localiza en su extremo noreste; es una duna frontal que tiene una longitud de 500 m, con alturas entre 12 y 20 msnm, y un ancho casi constante de 300 m. La vegetación es en general escasa y temporal en la parte del barlovento de la duna, mientras que en la cresta y sotavento es abundante. En la trasplaya de la playa El Médano, la duna ha sido impactada por la construcción de hoteles y restaurantes.

La playa en la bahía es curvada con una longitud de 4.0 km. En la parte media de la bahía, el abanico-delta del arroyo El Salto presenta un lóbulo, cuyo tamaño varía con la ocurrencia de las descargas torrenciales del arroyo. Este delta progresa durante eventos extraordinarios como ciclones con lluvias muy intensas, como en el caso del huracán Juliette en 2001, que provocó un incremento considerable en su tamaño. La descarga de sedimentos del arroyo El Salto al abanico-delta es la fuente principal de aporte de sedimentos a la bahía (Navarro-Lozano, 2006). La playa comprendida desde la desembocadura del arroyo El Salto y hasta punta Cabeza de Ballena, en el norte de la bahía presenta bajo impacto antropogénico (Fig. 1). El oleaje llega más directamente a esta zona por lo que la pendiente (β) de las playas es hasta de 9.8° .

La playa de esta zona (entre la desembocadura del arroyo El Salto y Punta Cabeza de

Ballena) presenta una berma de tormenta y una berma actual bien desarrollada con una altura de un metro (Fig. 2, perfil 1). El ancho de la playa en esta zona varía de 50 m a 60 m. Se observó la presencia de formas cuspidadas con una extensión promedio de 30 m asociadas a la dirección de arribo del oleaje.

La línea de costa entre la desembocadura del arroyo El Salto y la entrada a la marina, que incluye la playa El Médano, presenta partes afectadas por construcciones civiles (Fig. 1). La parte sur de la playa El Médano presenta un desarrollo máximo, favorecido por la presencia del espigón que atrapa el sedimento transportado por la corriente litoral. La pendiente de esta playa es de $\beta = 7.5^\circ$ (Fig. 2, perfil 2), la energía de oleaje es de moderada a baja, debido a que es la parte más protegida de la bahía. La presencia de zonas de alta y baja energía en bahías, como la de Cabo San Lucas, han sido propuestas y estudiadas por Komar (1976) y Bird (2000). Cabe mencionar que las construcciones como restaurantes y hoteles sobre la berma, en la zona protegida de la bahía, han presentado daños en su estructura debido al oleaje asociado a huracanes de categorías mayores a 1, como el caso del huracán Juliette (2001).

Morfología submarina

La plataforma peninsular en la Bahía San Lucas presenta poca extensión, sólo se observa la porción equivalente a una plataforma interna, con un quiebre a aproximadamente 40 m de profundidad, en donde inician los flancos del cañón submarino (Fig. 3).

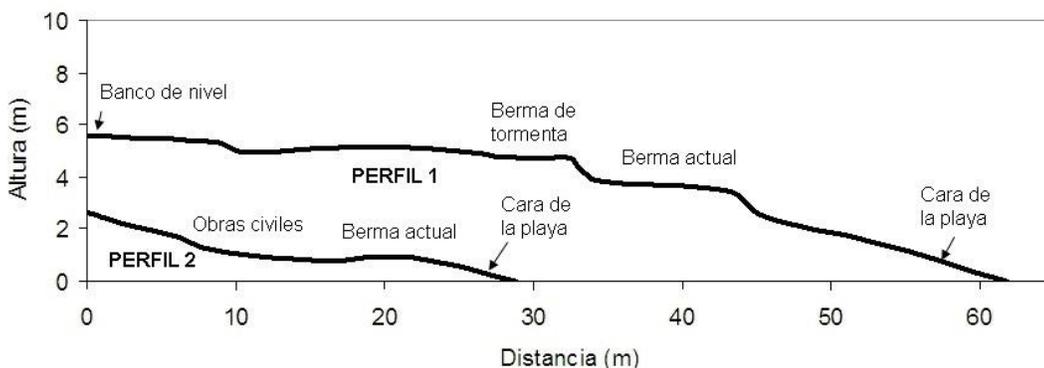


Figura 2. Perfiles de playa en donde se resaltan los rasgos morfológicos principales de la playa. El perfil 1 es representativo de la zona norte y el perfil 2 de la zona más interna.

Figure 2. Beach profiles showing main morphologic beach features. Profile 1 represents north zone; profile 2 represent the intern zone.

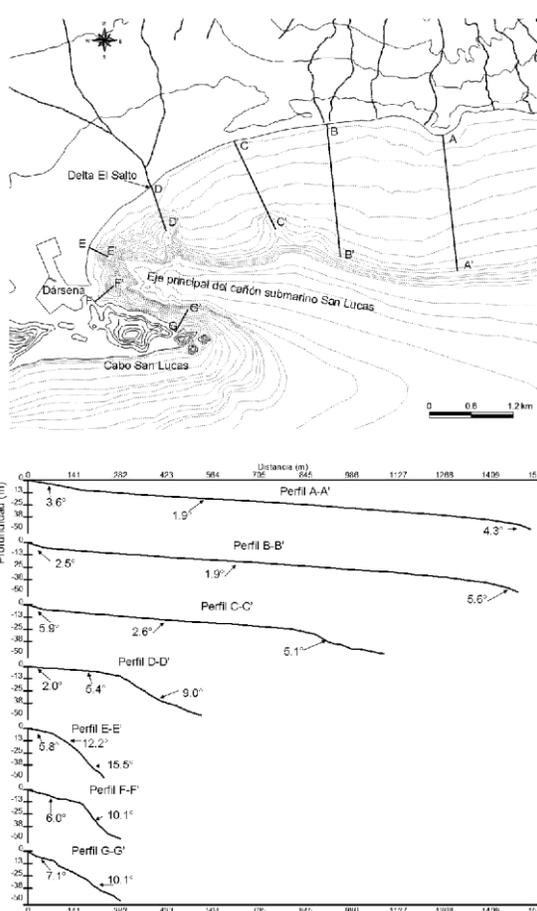


Figura 3. Modelo digital de profundidad del terreno, posición y diagramas de los perfiles batimétricos; las isóbatas están trazadas a cada 5 metros de profundidad.

Figure 3. Digital model of ground depth, position and bathymetric profile diagrams. Isobaths are plotted every 5 m.

La plataforma presenta mayor extensión en la porción noreste y su ancho disminuye hacia el oeste (Perfiles A-A' y B-B', Fig. 3). En la zona de Punta Cabeza de Ballena el ancho es de 1.5 km hasta aproximadamente una profundidad de 50 m donde inicia el talud. La pendiente es entre 2.5° y 3.6° hasta los 10 m de profundidad y desde aquí hasta los 40 m de profundidad la pendiente se suaviza (1.9°) y se incrementa a 4.3° y 5.6° en el inicio del talud.

Hacia la porción centro-norte de la bahía el ancho de la plataforma disminuye a 1 km (perfil C-C', Fig. 3), con una pendiente fuerte (5.9°) hasta los 5 m de profundidad y de aquí hasta los 25 m la pendiente se suaviza (2.5°); más allá inicia el talud de uno de los tributarios

del cañón submarino con una pendiente de 5.1°.

El perfil D-D' (Fig. 3) muestra el cuerpo sedimentario del abanico delta, cuyo desarrollo está restringido por la cabecera de uno de los tributarios del cañón submarino. Aquí, la pendiente del fondo hasta los 10 m de profundidad es de 2.0°; de allí inicia el talud con una pendiente de 5.4° y por debajo de 13 m la pendiente es de 9° en la pared del cañón. La quasi plataforma que se observa en el perfil D-D' con un ancho de 280 m, corresponde al frente del delta subacuoso del arroyo El Salto. En el perfil E-E', localizado en el área frente a la playa El Médano, no se observa plataforma (Fig. 3), ya que la pendiente por debajo de la línea de agua es de 5.8°, que se mantiene en los primeros 100 m, para pasar a una pendiente de 12.2° a 15.5° en la cabecera del cañón.

Los perfiles F-F' y G-G' (Fig. 3), localizados frente a las playas Coral y de El Amor, muestran los rasgos morfológicos marinos de la margen acantilada del sur de la bahía. Se observa que la pendiente inmediata bajo la línea de agua es pronunciada, entre 6° y 7.1°, seguida de pendientes mayores a 10° en las paredes del cañón submarino. En el perfil F-F' se destaca una pequeña terraza, posiblemente por abrasión de oleaje, después de los 13 m de profundidad y tiene un ancho de 60 m aproximadamente.

Sedimentología del ambiente playa-duna

El sedimento en las dunas es de arenas gruesas (0.6 mm a 0.8 mm), con una población dominante de tamaños finos, distribución unimodal, y moderadamente seleccionado y con sesgo positivo (Tabla 1).

La distribución de frecuencia del tamaño del sedimento en la playa de Bahía San Lucas es unimodal, con la moda en las arenas gruesas. El tamaño medio del sedimento a lo largo de la playa muestra un ligero gradiente que disminuye, de arena muy gruesa a arena media, de Punta Cabeza de Ballena a playa El Médano y Playa Coral (Fig. 4), es decir, del área con mayor energía de oleaje a la zona más protegida de la bahía.

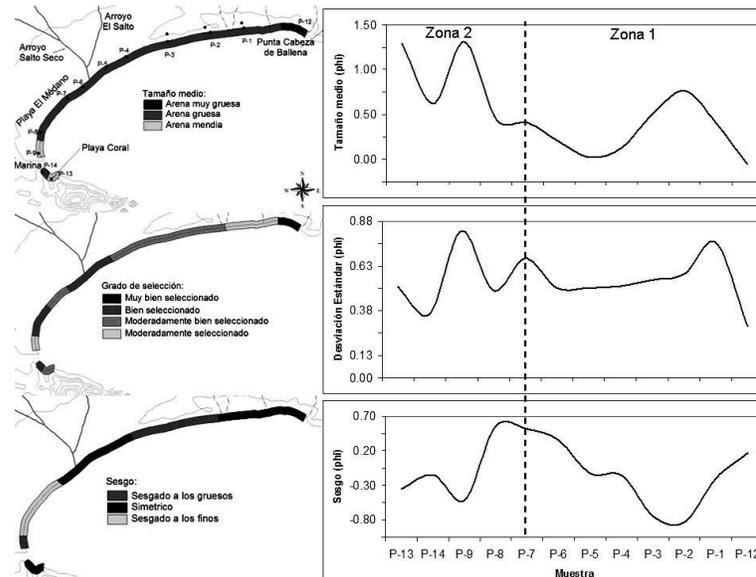
La variabilidad de los valores del tamaño medio del sedimento a lo largo de la playa se muestra en una gráfica a manera de perfil longitudinal (Fig. 4). Aquí, se encuentra que la

Tabla 1. Parámetros texturales y clasificación del sedimento del ambiente de duna (D) y playa (P).**Table 1.** Textural parameters and sediment sorting of dune environment (D) and beach (P).

Muestra	Moda	Media (ϕ)	Desviación estándar (ϕ)	Sesgo (ϕ)	Clasificación de Wentworth (1922)
D1	Unimodal	0.73	0.64	2.0	Arena gruesa
D2	Unimodal	0.69	0.71	2.2	Arena gruesa
D3	Unimodal	0.24	0.83	1.33	Arena gruesa
P1	Unimodal	0.41	0.76	-0.20	Arena gruesa
P2	Unimodal	0.77	0.58	-0.83	Arena gruesa
P3	Unimodal	0.51	0.55	-0.75	Arena gruesa
P4	Unimodal	0.13	0.51	-0.15	Arena gruesa
P5	Unimodal	0.02	0.49	-0.14	Arena gruesa
P6	Unimodal	0.20	0.50	0.35	Arena gruesa
P7	Unimodal	0.41	0.67	0.51	Arena gruesa
P8	Unimodal	0.45	0.49	0.55	Arena gruesa
P9	Bimodal	1.31	0.82	-0.52	Arena media
P12	Unimodal	-0.05	0.29	0.17	Arena muy gruesa
P13	Unimodal	1.29	0.51	-0.35	Arena media
P14	Unimodal	0.62	0.36	-0.15	Arena gruesa

bahía se puede dividir en dos zonas, en donde se observa una tendencia general de cambio de arenas medias a arenas muy gruesas en dirección suroeste a noreste. En particular, el valor de la media tiende a ser alto hacia las puntas, Cabeza de Ballena y Cabo San Lucas y en la playa del abanico-delta, lo cual se con-

sidera que está en relación a la concentración de la energía del oleaje en esos lugares, mientras en las zonas entre éstos puntos, el tamaño medio tiende a disminuir, con lo que se infiere que disminuyen los niveles de energía del oleaje.

**Figura 4.** Parámetros texturales (media, desviación estándar o selección del sedimento y sesgo) del sedimento de la playa en la bahía y gráficos de los mismos parámetros en un perfil longitudinal de SW a NW.**Figure 4.** Textural parameters (mean, standard deviation or sediment sorting and slant) of sediment from the bay beach and SW to NW longitudinal profile.

El grado de selección del sedimento de playa es de moderadamente seleccionado a muy bien seleccionado (Blott & Pye, 2001; Fig. 4); tiende a ser mejor seleccionado en las playas adyacentes a las puntas y hacia las playas intermedias es menos seleccionado. En el perfil longitudinal (Fig. 4), los datos de desviación estándar (o grado de selección), no muestran alguna zonificación, como fue el caso del tamaño medio del sedimento.

Una situación interesante sucede con el sesgo del sedimento (Fig. 4); la distribución es simétrica en tres zonas: una en el área de Punta Cabeza de Ballena, otra en la parte media de la bahía (desembocadura del arroyo El Salto) y la tercera en la playa Coral, desarrollada al pie de los acantilados de la margen sur de la bahía. Partiendo de la parte media de la bahía (con una distribución simétrica), el sedimento cambia a sesgado a los gruesos en dirección noreste, mientras que en dirección su-

reste domina el sesgo a los finos, para cambiar nuevamente a los gruesos cerca del espigón de entrada a la marina.

Sedimentología del ambiente de plataforma

El tamaño promedio del sedimento de la plataforma de la Bahía San Lucas varía de arena gruesa a arena fina (Tabla 2, Fig. 5). Los gránulos también están presentes en algunas áreas con profundidades menores a los 5 m. En la margen sur, próxima al Cabo San Lucas, en donde la plataforma no existe, se encuentra arena muy gruesa con presencia de gránulos, observados al tomar la muestra (Fig. 5).

El sedimento es comúnmente unimodal (Fig. 5) y cambia a bimodal y trimodal conforme la profundidad aumenta, lo cual es más claro en el área de Punta Cabeza de Ballena.

Tabla 2. Parámetros texturales y clasificación del sedimento del ambiente de plataforma interna.

Table 2. Textural parameters and sediment sorting of the intern platform environment.

Muestra	Profundidad (m)	Moda	Media (Ø)	Desviación Estándar (Ø)	Sesgo (Ø)	Clasificación de Wentworth (1922)
PI1	10.0	Unimodal	0.62	0.47	-0.52	Arena gruesa
PI2	23.0	Bimodal	1.42	0.67	0.12	Arena media
PI3	25.0	Bimodal	0.31	1.13	-0.13	Arena gruesa
PI4	13.3	Unimodal	1.05	0.96	-0.80	Arena media
PI5	6.5	Bimodal	1.23	1.00	-0.91	Arena media
PI6	15.4	Unimodal	2.20	0.78	-0.67	Arena fina
PI7	26.0	Bimodal	1.79	0.62	-0.10	Arena media
PI8	25.0	Unimodal	1.83	0.77	-0.45	Arena media
PI9	15.5	Bimodal	1.82	0.60	0.02	Arena media
PI10	7.0	Unimodal	1.43	0.63	-0.75	Arena media
PI11	6.0	Unimodal	1.97	0.52	-0.62	Arena media
PI12	15.0	Unimodal	1.89	0.86	-0.05	Arena media
PI13	25.6	Unimodal	2.51	0.81	-0.63	Arena fina
PI14	25.0	Trimodal	2.36	1.07	-0.34	Arena fina
PI15	15.0	Bimodal	2.60	0.93	-0.53	Arena fina
PI16	5.0	Trimodal	1.15	1.18	-0.40	Arena media
PI17	5.0	Trimodal	1.70	0.92	-0.44	Arena media
PI18	15.0	Trimodal	2.53	1.07	-0.83	Arena fina
PI19	25.0	Unimodal	2.66	0.89	-0.78	Arena fina
PI20	15.0	Unimodal	2.77	0.93	-0.73	Arena fina
PI21	5.0	Trimodal	1.15	1.11	0.10	Arena media
PI22	25.0	Trimodal	1.72	1.30	0.04	Arena media
PI23	5.0	Unimodal	0.83	0.88	0.35	Arena gruesa
PI24	25.0	Unimodal	-0.38	0.65	1.21	Arena muy gruesa

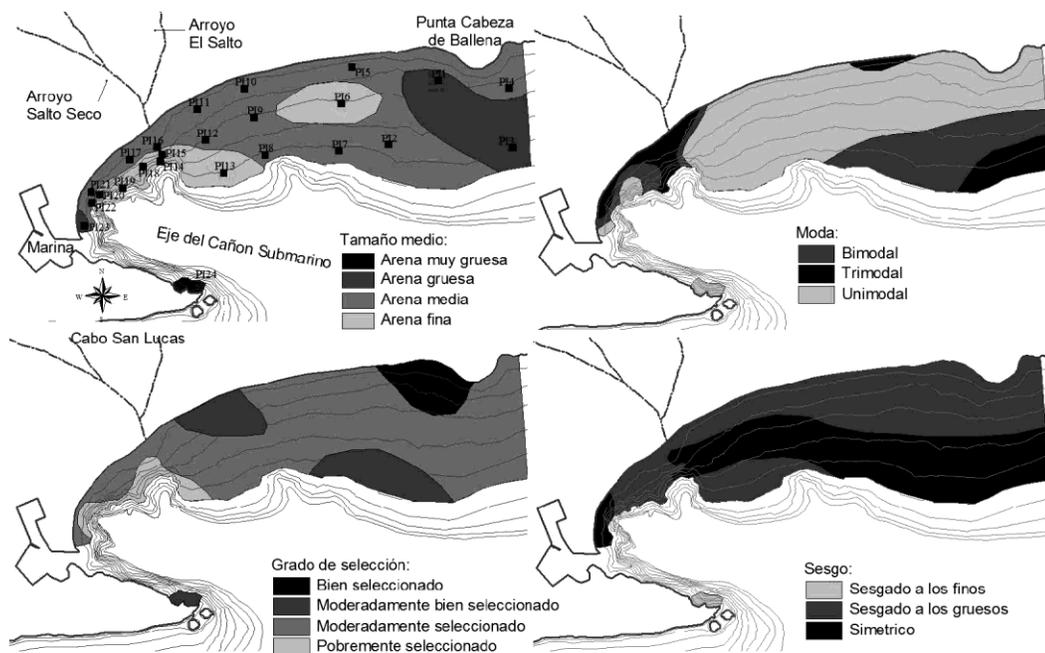


Figura 5. Distribución de los parámetros texturales (media, grado de selección, moda y sesgo) del sedimento en la plataforma interna.

Figure 5. Distribution of the textural parameters (mean, sorting grade, mode and slant) of sediments in the intern platform.

En la desembocadura del arroyo El Salto y frente a la playa El Médano, en donde los tributarios del cañón submarino están más próximos a la línea de costa, se presenta un patrón trimodal, frente a la descarga del arroyo El Salto, y varía a bimodal y unimodal hacia los extremos (Fig. 5); dicha distribución puede estar asociada al tamaño del sedimento descargado por el arroyo El Salto que va de los gránulos hasta las arcillas (Navarro-Lozano, 2006).

El grado de selección del sedimento en la mayor parte de la plataforma es moderadamente seleccionado, sin embargo, en la desembocadura del arroyo El Salto es moderadamente seleccionado y en la cabecera del cañón es pobremente seleccionado (Fig. 5). En la zona próxima a Punta Cabeza de Ballena el sedimento es bien seleccionado, resultado de la refracción del oleaje por la saliente rocosa Punta Cabeza de Ballena. También se detectaron dos zonas con sedimento moderadamente bien seleccionado; una próxima a la línea de costa al norte de la descarga del arroyo y la otra en la zona más profunda de la plataforma, próxima al inicio del cañón submarino (Fig. 5).

El sesgo del sedimento de la mayor parte de la plataforma presenta un comportamiento un tanto uniforme. El sedimento de la franja cercana a la línea de costa está sesgado a los gruesos (Fig. 5) y conforme aumenta la profundidad el sesgo cambia a una distribución simétrica. Frente a la desembocadura del arroyo El Salto se observa una zona con profundidad mayor a los 20 m, con sedimento sesgado a los gruesos (Fig. 5). En el área próxima al espigón de entrada a la marina la distribución es simétrica. Por otro lado, en la punta del Cabo San Lucas el sedimento presenta un sesgo a los finos.

Para ilustrar mejor la distribución de los parámetros texturales se elaboraron perfiles longitudinales por grupos de profundidad (Fig. 6). Los valores de la media del sedimento están claramente asociados en grupos: en el grupo 1, con profundidades entre 5 m y 10 m, el sedimento es de arenas gruesas a arenas medias con predominio de las arenas gruesas; el grupo 2 entre 10 m y 20 m de profundidad, presenta una media con ligera tendencia hacia las arenas medias; y el grupo 3 con profundidades mayores a 20 m, tiene sedimentos con una media variable que en su mayoría cae

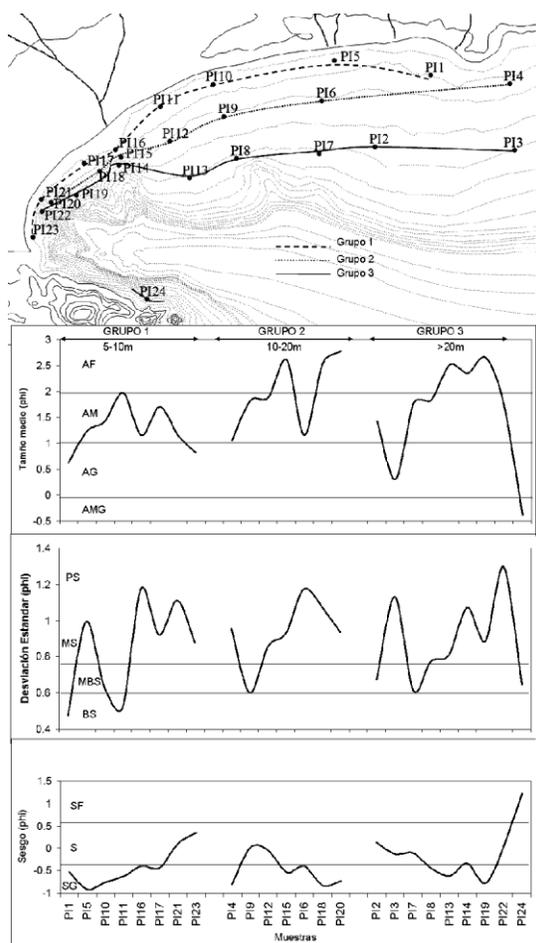


Figura 6. Valores de la media (AF= arena fina; AM= arena media; AG= arena gruesa; AMG= arena muy gruesa), desviación estándar (PS= pobremente seleccionado; MS= moderadamente seleccionado; MBS= moderadamente bien seleccionado; BS= bien seleccionado) y sesgo (SF= sesgado a los finos; S= simétrico; SG= sesgado a los gruesos) del sedimento en perfiles longitudinales de la plataforma de Bahía San Lucas, agrupados por profundidades (5 m-10 m, 10 m-20 m; >20 m).

Figure 6. Mean values (AF= fine sand, AM = medium sand; AG=thick sand; AMG= very thick sand), standar deviation (PS= poorly sorted; MS= moderately sorted; MSB= moderately well sorted; BS= well sorted) and slant (SF= fines slanted; S= symmetric; SG= thicks slanted) of sediment on longitudinal profiles of the Bahía San Lucas platform. Grouped by depth (5 m-10 m; 10 m- 20 m; > 20 m).

en las arenas medias y en algunos casos en las arenas finas (Fig. 6).

Por otra parte, los gráficos de la selección del sedimento en la plataforma muestran un patrón ligeramente similar al de la media del sedimento (Fig. 6). Se puede destacar que los

valores en los grupos 1 y 3 son ligeramente heterogéneos, ya que se presentan sedimentos de bien seleccionados a moderadamente seleccionados y hasta pobremente seleccionados como se muestra en la figura 5, mientras que en el grupo dos la selección es más homogénea, comúnmente de sedimento moderadamente seleccionado (Figs. 5 y 6).

Los gráficos del sesgo no muestran una asociación con los cambios de profundidad. Sin embargo, el patrón de distribución del sesgo mostrado en el mapa de la figura 5 presenta tendencias diferentes frente a las descargas fluviales y en áreas más protegidas en la bahía.

DISCUSIÓN

Aunque la Bahía San Lucas es pequeña, presenta una variabilidad de geformas asociadas a procesos subaéreos y marinos, así como tectónicos. En una primera instancia, la forma de Bahía San Lucas es asimétrica o en zeta (por su similitud con la letra Z; Komar, 1976; Bird, 2000), la cual es el resultado de la refracción del oleaje que proviene dominante del noroeste, la refracción es causada por la presencia del Cabo San Lucas.

La variabilidad de los parámetros texturales del sedimento y la morfología de la playa y de la plataforma, están dominados por la distribución de energía al interior de la bahía, situación que ha sido observada por Komar (1976) en otras bahías. Generalmente se presenta una zona protegida o de baja energía cercana a la posición de las salientes rocosas y a partir de ahí el nivel de energía se incrementa progresivamente conforme se pierde el efecto de protección de la saliente. Sin embargo, la dinámica de los procesos costeros en Bahía San Lucas es más compleja que eso, debido a que esta bahía en particular esta delimitada por dos salientes rocosas a diferencia de las descritas por Komar (1976). Esto propicia que el oleaje que ha sido refractado por la saliente más grande (Cabo San Lucas) sea nuevamente refractado por la otra saliente en el extremo noreste (Punta Cabeza de Balleña); además, la presencia del cañón submarino condiciona el comportamiento del oleaje al interior de la bahía (Fig. 3). Esto ha sido estudiado anteriormente por Kinsman (1965), Komar (1976) y Bird (2000), quienes encuentran que la topografía de los cañones submarinos

refractan el oleaje generando zonas en donde el oleaje converge y otras en donde diverge, lo que causa variaciones en la distribución de energía a lo largo de la costa.

Aunque en la bahía no se ha estudiado la distribución de la energía de oleaje, los resultados del presente estudio hacen suponer que sí existen áreas con mayor y menor energía de oleaje.

El prisma sedimentario del abanico-delta, aunque imperceptible a simple vista debido a las descargas esporádicas del arroyo El Salto y a que la presencia del cañón submarino limita su desarrollo, provoca refracción del oleaje en el área central de la bahía (Fig. 3, perfil D-D').

Playa

La morfología de la playa, así como los valores de la media, desviación estándar y sesgo del sedimento en la playa, permiten la división de la misma en dos zonas principales: la zona 1 comprende desde la desembocadura del arroyo El Salto hasta Punta Cabeza de Ballena, y la zona 2 va desde la desembocadura del arroyo El Salto hasta la playa Coral que se desarrolla en la zona de acantilados de la margen sur de la bahía (Figs. 1 y 4).

Las variaciones de los rasgos morfológicos en la zona 1 están relacionadas a las condiciones energéticas del oleaje, es decir periodo, altura y ángulo de incidencia del oleaje. De ésta manera, las formas cuspidas y la pendiente pronunciada (8.6°) de la cara de la playa en esta zona son características de playas reflejantes de acuerdo con la clasificación de Short & Hesp (1982).

En general el tamaño medio del sedimento de la playa, en esta zona 1, presentan una distribución de arenas de tamaño mas grueso en la desembocadura del arroyo, se hace más fino en dirección NE hacia la parte central de esta zona, y nuevamente es grueso en el área próxima a Punta Cabeza de Ballena. En este caso, la media del sedimento parece reflejar el nivel de energía del oleaje, la cual es alta en el área de Punta Cabeza de Ballena, disminuye hacia la porción central de esta zona y vuelve a incrementarse en el frente del abanico-delta. Así mismo, La selección del sedimento es de muy bien seleccionado en la desembocadura del arroyo El Salto a moderadamente seleccionado en dirección noreste en el área próxi-

ma a Punta Cabeza de Ballena. El área de la playa que presentó la mejor selección fue Punta Cabeza de Ballena. De acuerdo a Sahu (1964) el grado de selección está relacionado a la uniformidad del medio transportante, por lo que la selección de moderadamente seleccionado a muy bien seleccionado en esta zona 1 refleja uniformidad de la acción del oleaje sobre el sedimento en el área de Punta Cabeza de Ballena y variabilidad de la acción del oleaje en la porción central de esta zona. Con lo que respecta al sesgo del sedimento, este es simétrico en Punta Cabeza de Ballena y en el frente del abanico delta, en estas áreas la energía del agente transportante (oleaje) es relativamente constante; mientras que en la parte central de la zona 1 la distribución del sedimento es con sesgo a los gruesos asociado con energías altas del agente transportante y con variaciones en los niveles de energía considerables lo que permite la presencia de partículas gruesas. Lo anterior concuerda con lo expuesto por Folk & Ward (1957), Sahu (1964), McLaren & Bowles (1985) quienes asocian los cambios del sesgo del sedimento, ya sea hacia los finos o los gruesos, con los incrementos en la energía del agente transportante.

En la zona 2, Los rasgos morfológicos de la playa reflejan condiciones de energía baja en comparación con la zona 1, lo cual es típico de playas protegidas en bahías tipo zeta (Komar, 1976; Bird, 2000); la berma está bien desarrollada, pero muy impactada por el desarrollo turístico, la pendiente de la cara de la playa en esta zona es más suave (7.6°) que en la zona 1. Estas evidencias morfológicas permiten clasificar a la playa de la zona 2 como una playa de tipo intermedio a reflejante (Short & Hesp, 1982).

El tamaño del sedimento de la playa en esta zona 2 presenta un ligero gradiente, que va de las arenas gruesas a las arenas medias, desde el límite con la zona 1 hasta el área del espigón de la entrada a la marina. Este patrón del tamaño medio del sedimento se asocia con la disminución en el nivel de energía del agente transportante (oleaje) en la misma dirección del gradiente. El grado de selección del sedimento es variable, aunque de manera general va de bien seleccionado a moderadamente seleccionado. Esto puede estar controlado por cambios de energía del agente transportante del área más expuesta a la más próxi-

tegida de la bahía, así como por la cercanía del cañón submarino. El comportamiento del sesgo a su vez va de simétrico en el área del delta, asociado a niveles de energía altos y constantes, a sesgado a los finos en la parte media de esta zona, asociado a una disminución en energía o por la proximidad con la fuente de aporte, como han sido observado en otros sitios (McLaren & Bowles, 1985; Self, 1977). En la playa próxima al espigón la distribución del sedimento es sesgado a los gruesos con una bimodalidad bien marcada (Fig. 4 y Tabla 1). Esta condición de bimodalidad en playas con influencia de estructuras civiles como los espigones, ha sido observado por Montañó-Ley *et al.* (1988), quienes afirman que la presencia de un espigón refracta el oleaje e incrementa la energía y la turbulencia de la zona.

El análisis sedimentológico de la arena de las playas que se desarrollan en la margen sur de la bahía, como playa Esmeralda y Coral, reflejan condiciones de energía alta, con cambios asociados a la refracción del oleaje por efecto de las saliente rocosa y al eje principal del cañón submarino.

Plataforma

La plataforma en Bahía San Lucas está poco desarrollada, esto se infiere porque tiene un máximo de 1500 m de ancho, con profundidades menores a los 45 m y pendiente de alrededor de 2°. El límite de la plataforma hacia el mar está dado por la presencia del talud que coincide con las paredes del cañón submarino. La poca extensión de la plataforma ya había sido señalada por Nava *et al.* (2001), aunque ellos mencionan que la plataforma peninsular tiene en promedio 3.5 km de ancho y una profundidad entre 80 m y 90 m. La cercanía de la cabecera del cañón submarino a la línea de costa, en la parte interna de la bahía, en donde se localiza el abanico-delta El Salto (Fig. 3), limita la dispersión de las descargas fluviales a lo largo de la bahía; gran parte de ese volumen sedimentario es atrapado por el cañón (Shepard, 1964). Así, se supone que la proximidad del cañón a la línea de costa de la porción más interna de la bahía, así como el poco desarrollo de la plataforma en el resto de la bahía, favorecen la salida de sedimentos hacia las zonas más profundas del Golfo de California y por tanto pueden interferir o condicionar la deriva litoral sedimentaria que según Murillo-Ji-

ménez *et al.* (2007) presenta una dirección dominante del suroeste al noreste.

La plataforma (Fig. 3, perfiles A-A', B-B' y C-C') presenta una pendiente mayor a 2° en promedio. Guerreiro *et al.* (2007) consideran que en las plataformas con pendiente mayor a los 2° (>3.5%) predominan los procesos erosivos, con media del sedimento de arenas gruesas. Este es el caso de la plataforma de la bahía, en donde el sedimento que la cubre es de arena media a arena gruesa (Fig. 5). Esto indica niveles altos de energía cerca del fondo, los cuales son considerados suficientes para remover la fracción fina (Drake *et al.*, 1985; Guerreiro *et al.*, 2007). No existen estudios de corrientes de fondo en la plataforma de Bahía San Lucas, sin embargo, se supone que son intensas debido a la poca profundidad de la misma y a que está expuesta a la influencia de los ciclones tropicales que afectan a esta zona en verano, así como al oleaje de "swell" del sur con periodos de 10 s a 12 s (Troyo, 2003). La moda del sedimento en la plataforma indica la influencia que tiene el oleaje de swell en el fondo de la bahía, ya que el sedimento a profundidades menores a los 30 m tiende a ser trimodal (Fig. 5, Tabla 2), lo que podría resultar de la variabilidad de la energía y dirección del oleaje de "swell".

Frente de la desembocadura del arroyo El Salto se presenta un gradiente de la media del tamaño del sedimento de arenas medias a arenas finas en dirección al mar profundo, lo cual es típico de la zonificación del frente del delta por efecto del oleaje. Esto mismo se ve en la mala selección y sesgo negativo del sedimento. No se detecta el ambiente del prodelta, el cual debería de estar caracterizado por sedimento fino, por lo que se considera que es atrapado por los tributarios del cañón submarino.

CONCLUSIONES

La forma en zeta de Bahía San Lucas, su estructura batimétrica y la presencia del delta hacen que las condiciones geomorfológicas y sedimentológicas en la bahía sean variables. Esto permitió dividir la playa en dos zonas con diferentes niveles energéticos de oleaje. La zona 1, que es más expuesta, está caracterizada por oleaje de alta energía, condiciones energéticas constantes del agente transportante y rasgos morfológicos de una playa de

tipo reflectiva. Mientras que en la zona 2, localizada en la porción más interna de la bahía, la energía del agente transportante es menor y más variable que en la zona 1; estas condiciones permiten el desarrollo de playas tipo intermedia a reflectiva.

El poco desarrollo de la plataforma (<1.5 km), lo somero de la columna de agua (~45 m) y la posición de la plataforma, en donde su parte más ancha está en el área de Punta Cabeza de Ballena y disminuye hacia la parte central de la bahía, en donde se encuentra el cañón submarino, permiten condiciones de alta energía en el fondo asociadas al oleaje de swell que prevalece la mayor parte del año y al oleaje de tormenta que magnifica este efecto. Lo anterior se ve reflejado en un tamaño medio de grano de arena media (0.25 mm - 0.5 mm). Además, los parámetros texturales como la moda y el sesgo reflejan un gradiente de la línea de costa hacia mar profundo, de unimodal a trimodal y de sedimento con distribución simétrica a sesgado a los gruesos, en dirección a la playa

La cercanía de la cabecera del cañón submarino a la línea de costa, así como la estrecha amplitud de la plataforma, restringen la dispersión a lo largo de la bahía de sedimentos aportados por las descargas fluviales; gran parte del volumen sedimentario es atrapado por el cañón submarino..

El gradiente del tamaño de sedimento en el abanico-delta El Salto refleja características del frente del delta por efecto del oleaje, mientras que la parte más distal del delta (prodelta) está ausente, debido a los procesos sedimentarios gravitatorios que desplazan el sedimento hacia los tributarios del cañón submarino.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento para el desarrollo de este estudio a los proyectos: "Evaluación de los Procesos y Controles de cambio de la línea de costa del Golfo de California (CONACYT-25274) y "Vulnerabilidad geológica-ambiental de la zona costera del Golfo de California (SIP 20082825).

REFERENCIAS

- Alsharhan, A.S. & A.A. El-Sammak. 2004. Grain-Size Analysis and Characterization of Sedimentary Environments of the United Arab Emirates Coastal Area. *Jour. Coast. Res.*, 20(2): 464-477. [https://doi.org/10.2112/1551-5036\(2004\)020\[0464:GAACOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2112/1551-5036(2004)020[0464:GAACOS]2.0.CO;2)
- Bird, E. 2000. *Coastal Geomorphology an Introduction*. John Wiley and Sons, England, 322p.
- Blott, J.S. & K. Pye. 2001. Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1237-1248. <https://doi.org/10.1002/esp.261>
- Camacho, V. 2003. *Características morfológicas y texturales de los depósitos eólicos de Cabo Falso, Baja California Sur, México*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, México, 139 p.
- Drake, D.E., D.A. Cacchione, & H.A. Karl. 1985. Bottom Currents and Sediment Transport on San Pedro Shelf, California. *Jour. Sed. Pet.*, 55 (1): 15-28. <https://doi.org/10.1306/212F85EE-2B24-1D7-8648000102C1865D>
- Fletcher, J.M. & L. Munguía-Orozco. 2000. Active continental rifting in southern Baja California, México: implications for plate motion partitioning and the transition to seafloor spreading in the Gulf of California. *Tectonics*, 19 (6), 1107-1123. <https://doi.org/10.1029/1999TC001131>
- Folk, R. L. 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing, Co. Texas, 182 p.
- Folk, R.L. & W. Ward. 1957. Brazo river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Pet.*, 27: 3-26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-1D7-8648000102C1865D>
- Friedman, G.M. 1979. Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology*, 26: 3-32. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1979.tb00336.x>

- Gastil, G., G.J. Morgan & D. Krummenacher. 1978. Mesozoic history of peninsular California and related areas east of the Gulf of California. *En: Martínez-Gutiérrez, G. & P.S. Sethi. 1997. Miocene-Pleistocene sediments within the San José del Cabo Basin, Baja California Sur, México. Geological Society of America. Special Paper*, 318: 141-166.
- Guerreiro, C., A. Rodrigues, J. Duarte, A. Oliveira & R. Taborda. 2007. Bottom sediment signatura associated with the Oporto, Aveiro and Nazaré submarine canyons (NW off Portugal). *Thalassas*, 23 (1): 9-18.
- Guillén, J. & J.A. Jiménez. 1995. Processes behind the longshore variation of the sediment grain size in the Ebro Delta coast. *Jour. Coast. Res.*, Vol. 11 (1): 205-218.
- INEGI. 1996. *Estudio Hidrológico del estado de Baja California Sur*. Secretaría de Programación y Presupuesto, México, 206 p.
- Kinsman, B. 1965. *Wind Waves*. Prentice Hall, Inc. New Jersey, 676 p.
- Komar, P.D. 1976. *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice Hall, New Jersey, 429 p.
- López-Ramos, E. 1982. *Geología de México*. Instituto de Geología de la UNAM, 3ª. Ed., México, 454 p.
- Marsh, W.M. & J. Dossier. 1981. *Landscape: an introduction to physical geography*. Addison-Wesley, U.S.A, 637 p.
- McLaren, P. & D. Bowles. 1985. The effects of sediment transport on grain-size distribution. *Jour. Sed. Pet.*, 55 (4): 457-470. <https://doi.org/10.1306/212F86FC-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- Montaño-Ley, Y., M. Gutiérrez-Estrada & J. Aldeco-Ramírez. 1988. Dinámica de playas del delta del Río Balsas, México. *An. Centro Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autónoma. México*, 16 (1):17-32.
- Murillo-Jiménez, J.M., F. William, E. Nava Sánchez, V. Camacho Valdez & A. León Manilla. 2007. Sediment sources of beach sand from the southern coast of the Baja California peninsula, Mexico-Fourier grain-shape análisis, 297-318. *En: Arribas J. (Ed.) Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry*. The Geological Society of America, Inc. Boulder, Colorado. 396 p. [https://doi.org/10.1130/2006.2420\(18\)](https://doi.org/10.1130/2006.2420(18))
- Nava-Sánchez, E.H., F. Salinas-González, L. Godínez-Orta, S. Rueda-Fernández, & R. Cruz-Orozco. 1994. Beach profiles and grain size on the tip of the península of Baja California. *Inv. Mar. CICIMAR*, 9(1): 25-41.
- Nava-Sánchez, E.H., D.S. Gorsline & A. Molina-Cruz. 2001. The Baja California peninsula borderland: structural and sedimentological characteristics. *Sedimentary Geology*. 144: 63-82. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00135-X](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00135-X)
- Navarro-Lozano, J.O. 2006. *Caracterización sedimentológica y geomorfológica de los ambientes costeros en la Bahía San Lucas, Baja California Sur, México*. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional, La Paz, México, 144 p.
- Parrado, J.M. & M. Achad, M. 1999. Grain-size trends associated with sediment transport patterns in Cadiz Bay (southwest Iberian Peninsula). *Biol. Inst. Esp. Oceanog.*, 15(1-4): 269-282.
- Robles-Gil, S. 1998. *Informe climatológico y meteorológico para el proyecto El Rincón*, 24p.
- Sahu, B.K. 1964. Depositional mechanisms form the size analysis of clastics sediments. *Jour. Sed. Pet.*, 34(1): 73-83. <https://doi.org/10.1306/74D70FCE-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Self, R.P. 1977. Longshore variation in beach sands Nautla area, Veracruz, Mexico. *Jour. Sed. Pet.*, 47 (4): 1437-1443. <https://doi.org/10.1306/212F7388-2B24-11D7-8648000102C1865D>

- Shepard, F.P. 1964. Sea-floor valleys of Gulf of California. *En: Van Andel, T.H. & Shor, G.G. (Ed.) Marine Geology of the Gulf of California. Am. Assoc. Petroleum Geologist, Memoir*, 3: 157-192.
- Shepard, F. P. & R. Dill. 1966. *Submarine canyons and other sea valleys*. Rand-McNally and Co, Chicago. 381 p.
- Short, A.D. & P.A. Hesp. 1982. Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. *Marine Geology*, 48: 259-284. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(82\)90100-1](https://doi.org/10.1016/0025-3227(82)90100-1)
- Troyo, S. 2003. *Oleaje de viento y ondas de infragravedad en la zona costera de Baja California Sur*. Tesis de doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Intituto Politécnico Nacional, La Paz, México, 239p.
- Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Jour. Geol.*, 30: 377-392. <https://doi.org/10.1086/622910>

Copyright (c) 2009 Navarro Lozano, J.O., E.H. Nava Sánchez, L. Godínez-Orta & J. Murillo Jiménez.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para **Compartir** —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y **Adaptar** el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)