ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA BOCA DE PUERTO REAL, EN LA LAGUNA DE TERMINOS, ESTADO DE CAMPECHE*

Oscar Hugo Jiménez Salas* *

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la Boca de Puerto Real, exactamente donde se unen el Golfo de México y la porción oriental de la Laguna de Términos, en el Estado de Campeche. Esta boca o entrada se caracteriza por tener un delta de flujo de marea en su parte lagunosa; es el rasgo más evidente de la predominancia del flujo de agua marina hacia el interior de la Laguna de Términos. En la Boca de Puerto Real los sedimentos, de diversos tamaños de grano, se encuentran sujetos a la acción hidrodinámica que se produce, principalmente, durante el constante flujo y reflujo de la marea. Las muestras colectadas, de sedimento superficial o de fondo, fueron representativas de la "población" que constituye ese medio ambiente mixto. Se trata de sedimento inconsolidado del Reciente, constituido, principalmente en los tamaños gruesos, por fragmentos de conchas provenientes del Golfo de México, y de partículas finas de procedencia generalmente lagunosa. Con base en el tamaño de los granos se obtuvo de las muestras su Promedio Gráfico (Mz), su Asimetría Gráfica Inclusiva (Sk_1), su Curtosis Gráfica (KG) y, su Desviación Estándar Gráfica Inclusiva (σ_1).

A partir de los anteriores parámetros estadísticos, se pudo observar que la "población" que constituye este medio de depósito responde con un desarrollo morfológico particular a los factores meteorológicos y oceanográficos, que intervienen en la sedimentación. También, resultaron tres "subpoblaciones" que corresponden cada una de ellas a la parte externa, media e interna de la boca. Así mismo, se relacionan con las áreas de erosión y de depósito, y permiten reconocer los rasgos batimétricos de la boca y sus costas. La distribución, superficial o de fondo, del sedimento concuerda con la morfología del delta de flujo de marea. Se concluye que es necesario considerar, más seriamente, el estudio de los medios ambientes sedimentarios actuales, principalmente los costeros, con base en los factores atmosféricos e hidrodinámicos y en los procesos de erosión, depósito y génesis que los regula, tanto en sus constituyentes como en su desarrollo morfológico-dinámico; y aprovechar en esta forma, los resultados en la interpretación de sus análogos antiguos: los paleoambientes.

* Tesis Profesional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, E. S. I. A. Instituto Politécnico Nacional.

** Instituto Mexicano del Petróleo, Av. Cien Metros Núm. 152, México 14, D. F.

ABSTRACT

This study was made at the Puerto Real Inlet exactly in the point where the Gulf of Mexico and the eastern portion of Laguna de Términos, at the State of Campeche meet. This inlet or entrance is characterized by a flood-tidal delta around its lagoonal portion, which is the morphologic feature developed during predominant flood-current movement into Laguna de Términos. Sediments, with different grain-size, have been in keeping with the hydrodynamic action produced at Puerto Real Inlet, mainly during flood and ebb tides. The collected bottom sediment samples, were a representative "population" which constitutes that mixed sedimentary environment. These Recent unconsolidated sediments are composed mainly by coarse grained size of molluscs fragments from the Gulf of Mexico, and finer particles that generally proceed from the lagoonal area. Based on grain-size, the Graphic Mean (M_z), Inclusive Graphic Skewness (Sk_1), Graphic Kurtosis (KG) and, Inclusive Graphic Standar. Deviation or sorting (σ_1) were obtained. From the aforementioned statistical parameters it was possible to observe that the "population" which constitutes that depositional environment, responds with a particular morphologic development to the oceanographical and meteorological factors that control the type of sedimentation. Also, three "subpopulations" were determined; each one pertains to the external, middle and inner portion of the inlet. Therefore, they were related to erosion and deposition areas that allow to know the bathimetric features of the inlet and its coasts. Surficial of bottom distribution of the sediment is concordant with flood-tidal delta morphology. The results indicate that it is necessary to consider, more seriously, the study of Recent sedimentary environments, mainly coastal, in relation to atmospherical and hydrodynamical factors, and processes such as erosion, deposition and genesis that control them; moreover its constituents and its dynamic morphologic development. In this manner, such data will become useful in the interpretation of paleoenvironments.

INTRODUCCION

El presente trabajo forma parte de un estudio más amplio, en el cual se hicieron consideraciones generales del área de estudio, respecto al ambiente sedimentario que lo constituye, junto con varias de sus manifestaciones meteorológicas, oceanográficas, morfológicas y genéticas.

Antecedentes. La información general publicada es deficiente desde el punto de vista geológico, sin embargo, desde el biológico es abundante. Se pueden mencionar algunos estudios geológicos con objetivo regional (Yáñez, 1963 y 1971; Psuty, 1965 y 1966); y otros locales (Thom, 1969; Cruz *et al.*, 1976).

Objetivo. En este artículo se presenta una visión conjunta, entre las relaciones granulométricas, las formas y condiciones de erosión y de depósito, de la "población" que forman los sedimentos superficiales en la Boca de Puerto Real.

Area de estudio. El área de estudio se llama Boca de Puerto Real y se encuentra exactamente donde se unen el Golfo de México y la porción oriental de la Laguna de Términos, en el Estado de Campeche. En el área considerada quedan incluidas la margen oriental de la Isla del Carmen y la occidental de Isla Aguada (Figura 1).

Generalidades. Las generalidades tienen como fin ubicar a la Boca de Puerto Real y sus sedimentos superficiales dentro de la dinámica de la Laguna de Términos; y a ésta última, en el contexto marino, lagunoso y continental de la región.

La Boca de Puerto Real constituye una de las dos bocas de la laguna costera llamada Laguna de Términos, cuya extensión aproximada es de 70 km de largo por 25 km de ancho; es paralela a la costa y está separada del Golfo de México por una isla de barrera (Isla del Carmen). La Laguna de Términos, por medio de sus dos bocas, posee contacto constante con el mar; una de ellas es el área de es-

Figura 1. Localización del área de estudio.

tudio en su extremo oriental, y la otra, que se llama Boca del Carmen se encuentra en el extremo occidental de la Laguna.

Alrededor de la Laguna de Términos la zona continental es baja y llana con elevaciones menores de 100 m sobre el nivel del mar. Las corrientes en su trayectoria hacia el Golfo de México, han originado la formación de planicies y extensiones deltaicas, lagunosas y pantanosas. El material aluvial proviene de las partes altas de Guatemala y Chiapas, y es distribuido por varios sistemas hidrológicos. Muchos de ellos desembocan en la Laguna de Términos, un ejemplo es el río Palizada que nace entre Tabasco y Campeche para desembocar en la parte occidental de la laguna, depositando en ella gran cantidad de material terrígeno (Figura 2).

Respecto a la parte netamente marina, los litorales marinos de la laguna cuentan con una pla-

taforma interna muy extensa y de suave pendiente (Comité de la Carta Geológica, 1976). Localmente el área de estudio es una parte transicional entre el mar abierto y la laguna, por lo cual, se ha dividido a "grosso modo" en tres partes: subaérea, acuosa, y continental o terrestre.

Las partes subaéreas están representadas, entre otros rasgos morfológicos, por montículos limo-arcillo-arenosos conocido con el nombre de “bajos”, que son acumulaciones alargadas y sinuosas de material inconsolidado; generalmente se presentan adyacentes a los canales de marea. Los mencionados rasgos y las formas del fondo de la boca, asociados a los conductos de profundidad grande y somera, conforman un sistema prismático en la parte interna de la boca que es el delta de flujo de marea. Se puede decir, de manera muy general, que el delta de flujo de marea corresponde a una acumulación sedimentaria de forma deltaica, la cual se desarrolla debido a la acción hidráulica producida por el paso del agua a través de la boca.

El delta de flujo, en la parte interna de la Boca de Puerto Real, es el rasgo morfológico principal que denota la continua entrada de agua proveniente del Golfo de México hacia el interior de la Laguna de Términos. Al delta lo conforman tres grupos de bajos y canales. Los bajos tienen forma alargada con una parte más ancha, ya sea en medio o en uno de sus extremos, y otra delgada en forma de punta indicando la dirección por donde llega el fluido. Los canales corren a los lados de los bajos, y algunos de los primeros cruzan oblicuamente a los segundos.

En su parte más alta, los bajos están colonizados por vegetación como *Thalassia* y *Diplanthera*; dicho lugar les proporciona estabilidad y punto de apoyo para su crecimiento. El grupo de la parte oriental es el mejor desarrollado porque sus bajos son los más largos, anchos y antiguos. El grupo de bajos de la parte central de la boca tiene forma de gota con su punta hacia mar abierto y con dos grandes canales en sus extremos; posiblemente es el más reciente. Finalmente, el grupo de la parte poniente está constituido por bajos alargados y delgados de forma encorvada, obedeciendo al flujo de las corrientes, conjuntamente con otros más pequeños. Su forma general tiende a ser indefinida.

El área de estudio es dinámica, por lo que, el delta de flujo no es un rasgo estático, pues ha cambiado en el tiempo y en el espacio, debido a las va-

riaciones hidrodinámicas propias del lugar. Así pues, los grupos de bajos y canales que constituyen el delta de flujo han sufrido cambios en su forma, desplazamiento en su dirección y variaciones en sus dimensiones (Cruz *et al.*, 1976).

Otras estructuras morfológicas que se pueden considerar subaéreas son las situadas hacia el interior de las costas de la Laguna de Términos, como son: barras, planicies de inundación, planicies de lodo y pantanos de manglar (Figura 3).

Las partes acuosas de la Boca de Puerto Real son las pequeñas lagunas y esteros situados más allá de los límites internos del delta de flujo. Estos tienen conexión con el Golfo de México por medio de los canales de marea de diferentes longitudes, anchuras y profundidades. Por lo mismo, no existe una influencia marina directa, pero sí efectiva, hacia todas esas partes acuosas. La comunicación de las aguas del Golfo con las de la laguna se logra durante épocas del año. Sobre la total extensión de la boca, y a través de los canales y rampas, es por donde circulan las corrientes y el sedimento, el cual está controlado texturalmente por la forma de circulación del agua.

La profundidad en la Boca de Puerto Real es generalmente baja, de dos a cuatro metros; aunque, en los canales y sus hondonadas, llega a tener de 16 a 18 o más metros de profundidad. En la Figura 4, se pueden observar los perfiles batimétricos obtenidos en la boca, los cuales marcan la existencia de un canal principal cercano a la costa de la Isla Aguada, además de bajos, canales, barras y partes planas de suave pendiente, que conforman el piso marino-lagunoso y dan forma a la Boca de Puerto Real.

A lo largo del fondo del canal principal se encuentran hoyos que han sido excavados por las corrientes, y a su vez rellenados por sedimentos texturalmente gruesos. El canal principal se extiende desde el mar abierto hacia la laguna presentando algunas desviaciones en su trayectoria. Las rampas del fondo sirven a los sedimentos de plataforma de deslizamiento; son partes planas de suave inclinación, y están ubicadas principalmente hacia las zonas marginales de la boca. A su vez se forman con espesores irregulares de carpetas de sedimento que constantemente están cambiando de lugar por el permanente suministro de material y energía que lo distribuye.

El área asignada como terrestre o continental, de la Boca de Puerto Real, se divide en dos zonas principales: una ocupada por sistemas de cordones de playa y dunas, en los cuales hay plantaciones de palma de coco y arbustos silvestres; y la otra, que es temporal, ocupada por planicies de inundación y manglares. La segunda zona es considerada terrestre (aunque es pantanosa) sólo por temporadas, ya que después de ser inundada pasa de su estado pantanoso a ser zona de suelo principalmente endurecido y agrietado con alto contenido de sales.

Por otro lado, los afloramientos rocosos de calcarenitas y coquinas de la Punta de Puerto Real (Figura 3), sirven como paredes contra la alta energía del oleaje y las corrientes, funcionando como partes terrestres y submarinas de la boca, aunque finalmente son erosionados.

Por lo que respecta a las márgenes costeras de la Boca de Puerto Real, algunas crecen por la acumulación sedimentaria y otras se erosionan como consecuencia de la fuerte energía que se produce al pasar la corriente litoral, el oleaje y las corrientes de marea. Es, así, como la Punta de Puerto Real se está erosionando a una velocidad de 55 cm/año (Cruz *et al.*, *op. cit.*). También, en la margen costera occidental de la Boca de Puerto Real (formada entre la Punta de Puerto Real y la Punta de San Julián) existía hace aproximadamente 125 años un embahiamiento conocido como El Estero, por el que fluía libremente el agua, y el cual se cerró por el crecimiento de la denominada Franja Arenosa, a consecuencia del constante aporte de material y por el continuo flujo de las corrientes. La mencionada Franja Arenosa sigue su desarrollo hacia la Laguna de Términos, lo que es evidente por su actual posición (Figura 3), así como, por los restos de organismos marinos encontrados hacia su parte interior. El crecimiento de este cuerpo arenoso es de 1.6 m/año (Cruz *et al.*, *op. cit.*).

Por todo lo anterior, la Boca de Puerto Real es un lugar de constantes cambios morfológicos, en su delta de flujo, y en la configuración de sus costas, debido a los procesos de acumulación y erosión producto de los agentes oceanográficos y meteorológicos; o sea, es el resultado de la interacción de la presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, rompientes y corriente litoral, etc., que producen variaciones en la topografía subaérea y submarina de la boca. La citada Figura 3 representa un resumen esquemático de las características morfológicas y ambientales de la Boca de Puerto Real.

Figura 3. Resumen esquemático de varias características ambientales y morfológicas de la Boca de Puerto Real.

Figura 4. Perfiles batimétricos de la Boca de Puerto Real.

Método de trabajo. El estudio se realizó alternando el trabajo de campo y el de laboratorio. Al campo se hicieron visitas de reconocimiento y comprobación de datos e información. Se utilizaron fotografías aéreas de escalas 1: 65 000 y 1:15 000 aproximadamente. Se completaron secciones batimétricas con ayuda de ecosonda, lanchas y apoyo terrestre. Se planeó una red de muestreo

(Figura 5), obteniéndose las muestras con un colector "Van Veen".

Posteriormente, a las muestras se les hizo el análisis granulométrico, empleando el procedimiento recomendado por Folk (1968). Para la fracción gruesa se utilizaron tamices; y para la fina, se usó la pipeta. Una vez que de las muestras se obtuvo su

Figura 5. Localización de las muestras colectadas.

peso, se representaron gráficamente, y se calcularon los siguientes parámetros estadísticos: Promedio Gráfico (Mz), Asimetría Gráfica Inclusiva (Sk_p), Curtosis o Picudez Gráfica (KG) y Desviación Estándar Gráfica Inclusiva (σ_p). Finalmente se integró la información y se trazaron las curvas correspondientes asociándose de acuerdo a sus características.

A partir de las curvas y gráficas se interpretó la información contenida en cada muestra así como la de todas en su conjunto para conocer la distribución del sedimento, con base en su tamaño de grano, con lo cual se relacionaron los fenómenos ocurridos en el medio ambiente de depósito.

DISCUSION Y RESULTADOS

De las gráficas anexas a este trabajo y basadas en el tamaño del grano, se observó el comportamiento de los parámetros estadísticos y se dedujeron algunas características del depósito. El resumen de los valores estadísticos se ilustra en la Tabla 1.

En la comparación de las gráficas se usó la moda (mo), que es el diámetro de las partículas que aparecen más frecuentemente, y se formaron grupos de curvas correspondientes a muestras de similar subambiente de depósito, encontrándose tres grupos mayores: Grupo "A", a este grupo le corresponden curvas unimodales, con su moda en los finos (entre 4ϕ y 5ϕ), o en los gruesos (entre 0.25ϕ y 1ϕ). Las muestras con su moda en los finos corresponden a los lugares de baja energía y las de los gruesos, a los de mayor energía. La moda en este grupo va cambiando gradualmente de los finos hacia los gruesos (Figura 6).

Existe una graduación de finos a gruesos dependiendo de la energía del lugar del depósito; sin embargo, hay que hacer resaltar lo siguiente: algunas muestras llegan a tener mayor porcentaje de finos, y no precisamente porque se colectaran en lugares de muy baja energía, sino porque su localización se encuentra en un lugar donde las condiciones hidrodinámicas permiten, periódicamente, la llegada de material fino con su correspondiente acumulación. Es decir, son lugares de depósito donde por momentos las condiciones de alta energía disminuyen a tal grado, que se despositan los finos, aunque casi siempre prevalecen condiciones de alta energía. Por lo que respecta a los luga-

Tabla 1. Valores de los parámetros estadísticos para cada muestra colectada.

MUESTRA	Mz		SK	K
1	2.79	2.06	- 0.13	1.04
2	0.44	3.55	0.53	0.67
3	0.66	1.04	0.41	3.22
4	2.18	1.44	0.48	3.09
5	2.90	3.88	- 0.32	1.03
7	3.83	1.63	0.48	1.60
8	4.73	1.09	0.32	1.75
9	4.07	2.05	- 0.17	2.54
10	4.58	2.12	0.10	4.34
11	4.27	1.86	0.17	1.35
12	2.49	2.36	- 0.79	0.60
13	2.96	2.56	- 0.22	0.95
14	3.04	2.70	- 0.39	0.97
15	4.17	1.57	0.26	1.83
16	4.25	1.53	0.24	1.54
17	3.08	2.77	- 0.58	3.68
18	4.67	1.28	0.38	2.01
19	3.29	2.72	- 0.44	1.46
20	4.41	0.73	0.41	3.28
21	3.05	3.30	- 2.10	1.01
22	4.21	1.65	0.45	2.68
24	0.29	2.76	0.60	1.34
26	0.56	3.38	0.84	0.76
27	2.00	2.97	0.02	0.89
28	2.71	2.15	- 0.59	0.77
30	0.74	3.56	0.38	0.74
31	4.40	1.25	1.40	2.87
33	3.00	1.87	0.08	2.46
34	2.10	3.35	- 0.38	0.73
35	0.46	2.73	0.62	1.70
36	0.57	3.07	0.65	1.86
37	1.43	3.59	0.38	0.82
39	3.64	3.01	- 0.26	1.15
40	1.61	3.41	0.53	0.80
41	1.42	3.03	0.32	0.93
42	2.52	3.61	- 0.36	0.94
43	4.37	1.34	0.46	3.01
44	0.42	2.58	0.16	1.23
46	1.98	3.17	0.53	0.98
47	1.37	2.90	0.33	1.44
48	3.96	1.47	0.39	1.92
49	4.53	2.30	0.05	4.50
50	1.28	1.83	0.27	0.40

Figura 6. Curvas granulométricas agrupadas.

res con abundancia de material fino, pero en los cuales se llega a encontrar material grueso, esto es debido al mismo fenómeno anterior, o sea que en un momento determinado aumenta la energía y se depositan sedimentos texturalmente gruesos; posteriormente volverán a darse las condiciones para el depósito de los finos. Por lo tanto, las muestras del grupo "A" son unimodales, con su moda en los finos o en los gruesos. Es posible encontrarlas en la parte interna (lagunosa) o externa (marina) de la Boca de Puerto Real.

El segundo grupo de muestras es el "B", que tiene tendencia a la distribución bimodal; es decir, las muestras poseen tanto partículas finas como gruesas (muestras 26, 40 y 46). Algunas de ellas se

colectaron en lugares de alta y de baja energía, el tamaño de las partículas así la constatan. Su bimodalidad se debe, probablemente, a que durante el efecto de las mareas, las partículas finas son transportadas y depositadas alrededor de la boca, por lo tanto, se mezclan los finos con los gruesos y producen bimodalidad. Sucede también lo contrario, los gruesos son traídos y depositados donde los finos ya lo han hecho. Otro posible origen, que no debe descuidarse en esta distribución bimodal de las muestras, es el biológico, debido al desarrollo y muerte de los organismos cuyas partes duras pasan a formar parte del sedimento. Por ejemplo, en las cimas de las barras que se forman en la parte externa de la boca, se originan los habitat de ciertos moluscos como los del género *Tellina*, por existir las condiciones ambientales que se requieren para su desarrollo. Al morir estos organismos, sus partes duras son desgastadas y/o fragmentadas e integran la fracción gruesa de cualquier muestra, como la número 34 (Figura 5.) Entonces, el grupo "B" es bimodal y marca zonas de alta y baja energía.

El tercer conjunto de muestras corresponde al grupo "C", que se manifiesta con cantidades variables de los diferentes tamaños de grano en las muestras que lo constituyen. Las muestras tienen una pequeña tendencia a la bimodalidad, aunque los finos predominan un poco más sobre los otros tamaños. Las mencionadas muestras se consideran polimodales, por tener más de un diámetro modal y porque sus modas no están bien marcadas unas respecto a las otras. El desajuste de polimodalidad, posiblemente, tiene su origen: 1) en los varios tamaños de grano provenientes de las áreas fuente, 2) en los sedimentos que, durante su transporte, son seleccionados con base en su estabilidad hidrodinámica y son sujetos a un transporte y abrasión preferencial, 3) en que los factores y procesos que intervienen en la boca, producen las condiciones dinámicas del depósito: suspensión, tracción, deslizamiento y saltación; así, una de ellas predomina en un momento y luego otra, hasta lograr alternancia y mezcla; 4) en que la topografía submarina asociada a los puntos anteriores, funciona como obstáculo o paso libre ante la energía que se manifiesta en los diferentes lugares de la boca (Figura 6).

Probablemente, constituyen al grupo "C" las muestras de transición hacia cualesquiera de los otros dos grupos "A" y "B". En realidad, es posi-

ble encontrar cualesquiera de las muestras de los grupos formados, en la parte interna o externa de la Boca de Puerto Real en un momento determinado.

Si observamos la localización de las muestras en el área de estudio (Figuras 3 y 5) corresponde a sitios donde existe una mezcla de factores oceanográficos y fenómenos de erosión y depósito. Por lo tanto, las agrupaciones de parámetros estadísticos permiten prever y conocer los detalles que ayudan a la interpretación de la distribución general del sedimento.

Por otro lado, las curvas acumulativas con escala aritmética que se presentan en forma de "S", permiten ver una secuencia de cambio en relación a la energía que gobernó en los sitios de muestreo. En estas curvas el punto de control no es la moda (mo), sino la mediana (md), que es el diámetro correspondiente al 50 % de la curva acumulativa. En las muestras donde la energía es menor, las curvas tienen una forma de "S" con su parte inferior muy recostada y su parte superior levantada bruscamente, originando una pendiente pronunciada. A partir del punto de inflexión, cambia gradualmente la forma de la curva y marca niveles de energía mayores. Es decir, las curvas también tienen forma de "S", pero se levanta su parte inferior pronunciando la pendiente hacia los tamaños gruesos. Finalmente, se llega a las muestras de alta energía donde se invierte la forma de la "S"; resulta una curva con su parte inferior de pendiente fuerte y la superior recostada, extremadamente suave, de casi cero grados de inclinación (Figura 6).

De los parámetros obtenidos se elaboraron gráficas y planos de distribución, de tal manera que fuera posible compararse unos con otros:

Promedio Gráfico (Mz) y desviación Estándar Gráfica Inclusiva (σ_1). Para todas las muestras los valores promedio de "Mz" varían entre 0ϕ y 5ϕ (de 1 mm a 0.031 mm); es decir, de arenas gruesas a limos gruesos. En la distribución a través de la escala de tamaños, puede notarse la existencia de tres o cuatro grupos de muestras que se aproximan entre los límites de 0ϕ a 1ϕ , de 1ϕ a 2.3ϕ , de 2.3ϕ a 3.4ϕ y, de 3.4ϕ a 5ϕ . Sin embargo, existe un mayor número de muestras dentro de la fracción fina. El promedio general del "Mz" en todo el muestreo es de 2.52ϕ correspondiente a las arenas finas (Figura 7).

Figura 7. Gráfica del "Mz" y " σ_1 ".

Los valores de la Desviación Estándar varían entre 0.71ϕ a 4ϕ . Según la tabla de límites, es material que cambia de "moderadamente clasificado" hasta muy mal clasificado". De ahí que, el ambiente sedimentario, se caracteriza por la muy mala clasificación del material, la cual disminuye hacia los tamaños finos. El valor promedio de la σ_1 en todo el muestreo es de 2.35ϕ , el cual corresponde a material "muy mal clasificado" (Figura 7).

En forma general, se observa que las mezclas de arena y limo se hacen notorias por el rango de

tamaños y su grado de clasificación. En la Figura 7 se muestra la mezcla de las arenas desde medianas a muy finas, con mala y muy mala clasificación, que al separarse de los limos adquieren mejor clasificación. Así, cuanto más fino es el material está mejor clasificado el sedimento, y aunque sólo existen dos medidas descriptivas de clasificación (mala y muy mala), al aumentar el tamaño del grano, mayor es la tendencia hacia la mala clasificación textural del sedimento.

La distribución de los tamaños de grano en toda la Boca de Puerto Real, es muy significativa, porque está en relación directa a la energía y a la configuración del fondo de la boca, principalmente por lo que respecta a los bajos y canales (Figura 8).

En la Figura 9, la distribución del material es de "mala a muy mal clasificado", predominando este último, pues se encuentra en una mayor extensión sobre la parte externa de la boca que es por donde llegan la mayoría de las partículas gruesas. Si, por un momento, se considera a la boca como un medio ambiente sedimentario separado, las muestras con mayor porcentaje de sedimento de mala clasificación corresponderían a la parte lagunosa de la boca; y si es mayor el sedimento cuyo grado de clasificación es de "muy mala", entonces, corresponderían a la parte marina de la boca. Es evidente el traslape de los dos medios y por lo tanto, la consecuente inversión de las propiedades texturales respecto a su lugar de depósito; la distribución de éste parámetro, al igual que el "Mz", es correlacionable con la topografía del fondo y con los fenómenos hidrodinámicos predominantes. Así, en la parte marina de la boca, el grado de clasificación tiende a ser menor, debido a los cambios de energía durante el flujo y el reflujo.

El sedimento se mezcla por la influencia de estas dos corrientes opuestas, además de que la corriente litoral es lo suficientemente competente para redistribuir y acarrear el sedimento a lo largo de la costa y hacia el interior de la laguna. También, en esta parte marina de la boca, los sedimentos gruesos son los más abundantes. El carácter bimodal de algunas muestras y su pésima clasificación, por un lado, son debido a las mareas, y por el otro, a la clase de sedimento aportado por las fuentes de origen. Las partículas sedimentarias provienen de sedimentos generados en la laguna, en el mar y de la erosión de los organismos calcáreos que constitu-

yen la coquina y la calcarenita, que aflora tanto en el fondo como en las costas de la boca; además de los organismos vivos y muertos que ahí se producen y preservan.

Promedio Gráfico (Mz) y Asimetría Gráfica Inclusiva (Sk_1). La relación entre la asimetría y el tamaño del grano es sinusoidal, considerando la distribución de tres grupos: 2) bimodal con asimetría positiva y tendencia hacia los gruesos, 3) polimodal con asimetría negativa y tendencia a los medianos y, 1) unimodal con asimetría positiva y tendencia hacia los finos (Figura 10a).

Desviación Estándar Gráfica Inclusiva (σ_1) y Asimetría Gráfica Inclusiva (SK_1). La secuencia de la Figura 10b representa la relación entre el grado de asimetría y el de clasificación. Se pueden observar muestras bimodales con una asimetría positiva (exceso de finos en los extremos respecto a la parte central de la distribución) y con "muy mala clasificación"; así mismo, muestras con exceso de finos pero unimodales, y con sólo "mala clasificación". A partir de todo lo anterior, se deduce que un grupo de muestras representa el paso de la bimodalidad a la unimodalidad. Las muestras de transición son las polimodales con exceso de gruesos y "muy mala clasificación". Por lo tanto, se vuelven a formar tres grupos. Las muestras que representan a un grupo en ésta Figura 10b, son casi las mismas que representan al mismo grupo en las figuras anteriores (6, 7 y 10a). Por otra parte, la falta de simetría en las muestras significa que hay amplia separación entre las modas; es decir, se alejan de la normalidad, por lo que la clasificación es baja, tal y como lo demuestran los valores de la σ_1 .

En la Figura 11, la distribución de los valores de asimetría gráfica inclusiva en la Boca de Puerto Real, muestra un exceso de finos en la parte interna de la boca, debido a que la laguna es la que aporta la mayor cantidad de ellos. En la parte externa de la boca, los tamaños de los granos son los mayores y marcan la entrada de la corriente hacia la Laguna de Términos.

Promedio Gráfico (Mz) y Curtosis Gráfica (KG). Las muestras con "Mz" en las arenas finas, por sí solas, dan curvas casi normales ($KG=1$). Si se observa la posición de las muestras en la gráfica correspondiente (Figura 10c), cuanto más fino es el promedio gráfico, éstas se encuentran más alta-

Figura 8. Distribución superficial del Promedio Gráfico.

Figura 9. Distribución superficial de la Desviación Estándar.

SIMBOLOGÍA

- MUESTRAS DE LA PARTE INTERNA DE LA BOCA
- - - - MUESTRAS DE LA PARTE MEDIA.
- MUESTRAS DE LA PARTE EXTERNA.
- - - - TENDENCIA DE LAS MUESTRAS.

Figura 10. Gráfica del "Mz" y "SK₁" (a). Gráfica de la "V₁" y "SK₁" (b). Gráfica del "Mz" y "KG" (c).

mente leptocúrticas (excesivamente picudas), porque el área central de la curva (de 25 ϕ a 75 ϕ), tiene una mejor dispersión que el área de los extremos (entre 5 ϕ y 95 ϕ). Cuando aumenta el tamaño de los granos, disminuye la picudez o curtosis, y las líneas que forman las curvas se vuelven leptocúrticas. Al pasar a las arenas gruesas y medianas las curvas se tornan mesocúrticas; o sea, casi normales, donde la proporción del centro respecto a la de sus extremos es igual. Por lo tanto, tienen una picudez cercana a la unidad. Así, se tienen líneas platicúrticas en las muestras 12, 26 y 40 entre otras. Ahora bien, al aumentar todavía más el promedio gráfico, suben los valores de la curtosis, pero ahora en muestras de grano grueso. El grupo de las muestras transicionales, en este caso, tiene una dispersión semejante en todas sus partes y así, las agrupaciones se mantienen similares. De esta forma, la distribución de los granos, las diferentes fuentes de material, y su agrupación particular, configuran el delta de flujo de marea de la Boca de Puerto Real.

Toda esta serie de consideraciones sobre la forma de las curvas respecto a la asimetría y la curtosis (picudez), son la evidencia de la variación de los grados de clasificación y de los tamaños de las partículas en una sola muestra, y de su compleja relación respecto a las restantes debido a la interrelación entre el material de origen diverso, y la mezcla durante el depósito por efecto de las corrientes. Por lo tanto, de acuerdo a estas observaciones, el resultado es material acarreado de otros lugares y producido ahí mismo, siendo una parte mejor clasificada que otra y con una gama de diferentes tamaños que al mezclarse, por efecto de las mareas, originan zonas de distribución de muestras platicúrticas, como la parte externa de la boca (Figura 12), y leptocúrticas en la parte interna de la misma. La constante pérdida o ganancia de material grueso y/o fino durante el paso de las corrientes en la Boca de Puerto Real, es la causa de los valores erráticos de los parámetros estadísticos utilizados.

Otra de las propiedades que permiten conocer la Boca de Puerto Real, son las variaciones de los porcentajes de tamaño de grano y su relación con la topografía submarina. En la Figura 13 los porcentajes de un tamaño de grano dado, permiten distinguir el rasgo morfológico submarino y la energía hidrodinámica del lugar. En un canal donde la ergía es alta, se encontrará más del 50 % de partículas gruesas (arenas gruesas y gránulos). Un ejemplo es la sección formada por los sitios de

Figura 11. Distribución superficial de la Asimetría Gráfica Inclusiva.

Figura 12. Distribución superficial de la Curatosis Gráfica.

Figura 13. Variación de los porcentajes del tamaño de grano en las muestras, respecto a su ubicación en la boca.

muestreo: 28-40-1-25-32 (Figura 13). En un bajo el mayor porcentaje de partículas corresponde a las de tamaño fino (arenas finas, limos, arcillas) como lo muestra la parte 11-6-19 de la sección 11-6-19-20-30-5-31. En los lugares donde la batimetría es diferente a las secciones anteriores, la energía se refleja por la abundancia del material que circula, por ejemplo la sección 4-3-35-2 y la 28-40-1. Finalmente, se reconoce si es un lugar con tendencia a la acanaladura o cercana a ella, por ejemplo la sección 41-24-23-22-21, en base a la distribución de sedimentos gruesos en el centro de un canal, y de finos en sus partes laterales.

Al comparar las muestras colectadas con la distribución del promedio gráfico, se puede apreciar que el tamaño de grano disminuye hacia el interior de la laguna. En la parte interna de la boca existe una mayor proporción de finos; en cambio, en la externa es mayor la cantidad de gruesos (Figura 14a). Finalmente, la clasificación textural de las muestras varía de acuerdo al lugar de su depósito; por lo mismo, a la batimetría y a la energía que constantemente se produce en el lugar de sedimentación (Figura 14b).

Con base en todo lo anterior, la Boca de Puerto Real es un lugar de sedimentación transitoria, que está sujeta a los cambios estacionales de energía de las corrientes, al aporte de sedimento, y a las condiciones meteorológicas de la región de la Laguna de Términos. Es así que, la interrelación de los ambientes marino y de laguna costera, crean uno mixto con atributos sedimentarios comunes a los dos; además, de los propios del lugar debido a su morfología, en la cual se reflejan biofacies y litofacies controladas por la ubicación propia del área. Los cambios constantes y rápidos en este tipo de ambientes se deben, por sí mismos, a la dinámica producida por los agentes meteorológicos y oceanográficos permanentes y esporádicos. Además de la acción humana, que es otro factor modificador y en un futuro próximo de gran importancia.

CONCLUSIONES

1. La Boca de Puerto Real es una entrada o boca típica de laguna costera, con un delta de flujo de marea en su parte lagunosa.

2. Es una zona de marcada influencia marina, principalmente durante el flujo de las corrientes.

Figura 14. Variación del Promedio Gráfico (a), y del grado de clasificación (b) respecto a la ubicación de las muestras colectadas.

3. La "población" de granos encontrada en la boca demuestra características propias que ayudan a deducir la energía de las corrientes, la topografía del fondo, la distribución y la acumulación del material sedimentario, en una etapa de su asentamiento.

4. Las características texturales de la Boca de Puerto Real son las siguientes:

a) Contiene sedimentos promedio de arenas finas, aunque el rango varía desde gravas hasta arcillas.

b) La mayor proporción de finos está en la parte que colinda con la laguna y granulométricamente son mayores los de la zona adyacente al Golfo de México.

c) Los tamaños de grano fino generalmente corresponde a condiciones de baja energía, y los gruesos a los de alta energía.

d) La clasificación de los granos es de "baja a muy baja", lo cual concuerda con el promedio de los valores de tamaño de grano y con la forma de los canales, bajos y planicies del fondo de la boca.

e) Por medio de los valores de asimetría y de curtosis se observa que el material proviene de diferentes fuentes y que ha sido mezclado, transportado y depositado bajo condiciones locales de alta y baja energía.

f) La geometría del depósito está sujeta a la acción y ubicación morfológica del área.

g) De acuerdo con los parámetros mencionados en los incisos anteriores, se forman tres grupos diferentes de sedimentos: "A", sedimentos de la parte interna de la boca; "C", sedimentos transitorios entre la parte interna y externa de la boca; "B", sedimentos de la parte externa, o principalmente marina, de la Boca de Puerto Real.

h) Los tres grupos de sedimentos definen su posible procedencia, lugar de depósito y la energía predominante a que estuvieron sometidos.

5. La Boca de Puerto Real es un ambiente de depósito mixto, afectado directamente por las condiciones atmosféricas y biológicas del lugar.

6. Al igual que todas las áreas de sedimentación, esta zona es gobernada por los fenómenos hidrodinámicos, meteorológicos y biológicos, ya sea directa o indirectamente.

7. La Boca de Puerto Real tiene influencia definitiva en el desarrollo general de la Laguna de Términos, porque gobierna la entrada y la salida de las corrientes marina y fluvial y, por lo tanto, el suministro de importante cantidad de sedimento.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se realizó durante la estancia en la "Estación de Investigaciones Marinas El Carmen", dependiente del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, por lo que el autor agradece al Dr. Rodolfo Cruz Orozco, jefe de dicha estación, las facilidades y opiniones amablemente prestadas. Así mismo, se agradece al Dr. Jaime Rueda Gaxiola, por su apoyo en la presentación del estudio. Finalmente, a todas las personas que intervinieron con su ayuda, sugerencias y revisiones del estudio y del texto final.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Comité de la Carta Geológica, 1976, Carta Geológica de la República Mexicana. 4a. Edición. Escala 1: 2 000 000.
- Cruz Orozco, R., Lecuanda, C.R., Ley, L.F. y Rosales, L.F., 1976, Informe de Actividades del Proyecto "Estudio del Sistema Fluvio-lagunar-deltaico de la Región Costera Campeche-Tabasco, para su mejor uso y aprovechamiento": Inédito.
- Folk, R. L., 1968, Petrology of Sedimentary Rocks: Hemphill's. The University of Texas, 170 p.
- Psuty, N.P., 1965, Beach-ridge development in Tabasco, Mexico: Investigations in Tabasco, México, Technical Report Num. 24, Part A. Coastal Studies Institute. Louisiana State University, p. 112-124.
- Psuty, N.P., 1966, The Geomorphology of beach ridges in Tabasco, Mexico: Technical Report Num. 30. Coastal Studies Institute. Louisiana State University, 51 p.
- Secretaría de la Defensa Nacional, 1958, Carta: Campeche 15Q-VI, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1: 500 000.
- Thom, B.G., 1969, Problems of the Development of Isla del Carmen, Campeche, México: *Annals of Geomorphology*, p. 406-413.
- Yáñez Correa, A., 1963, Batimetría, salinidad, temperatura y distribución de los sedimentos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Boletín 67, pt. 1, 47 p.
- Yáñez Correa, A., 1969 (1971), Procesos costeros y sedimentos recientes de la Plataforma Continental al sur de la Bahía de Campeche: *Bol. Soc. Geol. Mexicana*, Vol.32, p. 75-115.