PROCESOS COSTEROS Y SEDIMENTOS RECIENTES DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL AL SUR DE LA BAHIA DE CAMPECHE

Amado Yáñez-Correa*

RESUMEN

El estudio de muestras de sedimentos recientes, colectadas en la plataforma continental al sur de la Bahía de Campeche, frente a la Laguna de Términos, revela las características de los sedimentos de origen deltáico, distribuidos al poniente de la laguna y de los sedimentos biógenos carbonatados al oriente.

Los sedimentos deltáicos se caracterizan por su rápida acumulación, por estar compuestos principalmente de material aluvial rico en materia orgánica limo-arcillosa, arenas cuarzosas de grano fino a medio, y por su bajo contenido en conchas, sobre todo en la región occidental.

Los sedimentos biógenos carbonatados son vestigios de organismos marinos expuestos a lo largo de la costa de Campeche, en Isla Aguada y en Isla del Carmen. Su textura y composición son diferentes de los sedimentos deltáicos; están compuestos en su mayor parte por conchas de moluscos fracturadas de todos tamaños; sin embargo, cerca de la playa en la "zona de rompientes" frente a Isla del Carmen, los sedimentos carbonatados contienen abundante arena cuarzosa retrabajada.

La superficie de la planicie costera presenta ondulaciones de baja amplitud, que corresponden a remanentes de antiguos "cerros de playa". Estos cerros se encuentran mejor desarrollados cerca de la fuente de los sedimentos y reflejan periodos activos de abundante aporte de sedimentos.

La estratigrafía de los cerros de playa de Isla del Carmen, revela secuencias de "depósitos laminares" de suave pendiente formados en su playa y de "depósitos lenticulares" de pendiente mayor, descansando sobre los depósitos laminares. Los depósitos lenticulares se forman durante las tormentas, por el fuerte oleaje provocado por los "nortes", generalmente durante el invierno, mientras que los depósitos laminares se forman durante las épocas de calma. La formación intermitente de los depósitos lenticulares o de tormenta agranda las crestas de los cerros de playa, mientras que el transporte litoral de sedimentos contribuye a que el perfil de la playa aumente y se desarrolle gradualmente hacia el mar, formándose así un nuevo cerro de playa.

A lo largo de la planicie costera del complejo deltáico, algunos sistemas de cerros de playa que se extendían hacia el mar, han sido truncados por la erosión marina, mientras que otros están aumentando. La combinación de ambos procesos ha traído, como consecuencia, modificaciones de la costa.

La distribución de los sistemas de cerros de playa en Isla del Carmen, sugiere que ésta se ha formado a partir del desarrollo de islas incipientes en forma de

*Investigador Adjunto de Tiempo Parcial, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, México 20, D. F.

gancho o *tombolo*, separadas por antiguos canales de intermareas que han sido rellenados por depósitos de "abanicos de deslave".

ABSTRACT

A two dimensional study based on samples of the inner continental shelf seaward of Laguna de Términos, shows that there are deltaic terrigenous sediments west of the lagoon and carbonate biogenous sediments to the east.

The deltaic sediments are characterized by rapid accumulation and coastal progradation. They are composed of medium to very fine quartzose sand, silt and clay size alluvial material rich in organics, and low shell content in the western region.

The relic biogenic carbonate sediments are subaerially exposed at Isla Aguada and Isla del Carmen. They are texturally and compositionally different from the modern deltaic sediments, and composed largely of mollusk shells broken down to all sizes; however, near the beach and seaward of the surf zone of Isla del Carmen they contain abundant reworked quartzose sand.

Beach-ridges are the most conspicuous morphological features of the coastal plain. They are best developed adjacent to the sediment source and reflect periods of active sediment supply.

Stratification of sediments forming beach-ridges of Isla del Carmen revealed sequences of seaward sloping laminae formed on the accretional seaward side of the beach profile and landward dipping storm deposits. These deposits correspond respectively with calm-weather seasons which bring sediments to the beach front and winterstorm seasons with somewhat higher sea levels and higher waves that leave washover deposits over the calm-weather prograded beach. Intermittent seasonal washover deposition contributes sediments that heighten and broaden the beach-ridge, while littoral drift during calm-weather seasons gradually extends the beach laterally as well as seaward, and leads eventually to formation of a new beach-ridge.

Along the coastal plain of the delta complex, some previous seaward prograding ridges are truncated by marine erosion, while others are prograding. The combination of both processes results in the straightening of the coast-line. The pattern of ridge systems on Isla del Carmen suggests that it has been built from a group of three distinct islands, now connected by washover fan deposits.

INTRODUCCION

El área investigada comprende la parte interior de la plataforma continental, al sur de la Bahía de Campeche y la Laguna de Términos, en el Golfo de México (Figura 1). Durante los últimos 8 años la Laguna ha recibido una considerable atención por parte de científicos mexicanos: se han estudiado los foraminíferos, las diatomeas, los ostrácodos, los micromoluscos, algunos aspectos físicos de los sedimentos y también algunos factores ambientales.

Este es el primer estudio de los procesos costeros y de las características que presentan los sedimentos recientes, distribuidos en la parte interior de la plataforma continental adyacente a la Laguna, y tiene por objeto extender hacia el mar el conocimiento básico de la sedimentación y de la oceanografía que se tiene de la Laguna (Yáñez-Correa, 1963; Ayala-Castañares, 1963) y, en consecuencia, tratar de entender los procesos de sedimentación en forma integral.

FIG. 1.—Provincias fisiográficas del Golfo de México (tomado de Ewing *et al.*, 1956), mostrando la distribución de los sedimentos carbonatados (círculos) y sedimentos terrígenos (puntos) en la plataforma continental y la localización del área investigada.

Los procesos costeros y la particularidad de los sedimentos en esta zona son de especial interés desde el punto de vista geológico, por dos causas principales: a) la variedad de procesos de sedimentación, activos a lo largo de la costa; b) la transición existente entre los sedimentos carbonatados de la plataforma de Yucatán y los sedimentos deltáicos de los ríos Grijalva-Usumacinta.

Se ha puesto particular atención en las características morfológicas de la planicie costera resultantes de los procesos costeros, basándose en observaciones directas de la morfología de la playa y de la estratificación de los cerros de playa del interior de la isla.

RECONOCIMIENTOS.—El autor agradece en particular al Ing. Guillermo P. Salas su constante estímulo y el haber facilitado los medios que permitieron llevar a cabo esta investigación; a los doctores William R. Bryant, Arnold H. Bouma y David K. Davies sus valiosos consejos y comentarios; al Dr. Erk Reimnitz sus útiles sugerencias en el trabajo de campo; al personal del Instituto de Geología integrado por el Ing. Rodolfo Cruz, Biól. Armando Ortega, Oceanól. Raymundo Lecuanda, su valiosa ayuda en el trabajo de campo, el Ing. Renán Pérez, que obtuvo las gráficas de rayos X para el estudio de las arcillas, el Quím. Angel Rodríguez que efectuó los análisis químicos, los Sres. Esteban Monroy, Luis Burgos y Javier Osorio quienes dibujaron los planos e ilustraciones, y las Sritas. Isabel González y Susana Benavides quienes transcribieron en máquina varias partes de este estudio.

Se agradece en especial a los Sres. Ings. Raúl de Córdoba y Miguel Baigts el habernos permitido el uso de sus barcos camaroneros para llevar a cabo el trabajo en la plataforma continental.

OBJETIVOS.—Los objetivos de este estudio son: 1) —Llevar a cabo una investigación de sedimentología básica; 2) —Investigar los procesos costeros en una zona de transición, entre sedimentos carbonatados y terrígenos finamente granulares; 3) —Conocer cuáles son los factores que afectan y controlan la distribución y el depósito de dichos sedimentos, así como su interrelación; 4) —Hacer un análisis de los factores geológicos, hidrológicos y climatológicos de la región, por considerarlos de importancia en la comprensión de los procesos de sedimentación del área investigada.

TRABAJOS PREVIOS.—La mayoría de los trabajos de investigación efectuados hasta la fecha, se han concentrado geográficamente en la parte nortecentral y nororiental del Golfo de México (Price, 1954; McFarland y Thompson, 1957; Shepard *et al.*, 1960; Ewing *et al.*, 1958, 1962; Moore y Curray, 1963). Asimismo, la plataforma continental de Campeche hacia el N y NW de la Península de Yucatán ha sido bastante estudiada durante los últimos 10 años por diferentes grupos, incluyendo investigadores de la Universidad de Texas A & M (Creager, 1958; Kornicker *et al.*, 1959; Kornicker y Boyd, 1962; Logan, 1962; Williams, 1963; Harding, 1964), del Observatorio Geológico Lamont (Cann, 1963; Ewing y Antoine, 1966), de la Universidad de Texas (Folk, 1962; Folk y Robles, 1964; Folk *et al.*, 1962; Hoskin, 1962), y de la Universidad de México (Bonet y Butterlin, 1962; Bonet, 1967; Ayala-Castañares, 1963; García-Cubas, 1963; Yáñez-Correa, 1963).

El área de la plataforma continental mexicana localizada entre el Río Bravo y la llamada "Sonda de Campeche" puede decirse que es esencialmente desconocida desde el punto de vista sedimentológico y oceanográfico, a excepción hecha de las áreas donde se encuentran localizadas las tres lagunas costeras principales: Laguna de Términos, Camp. (Ayala-Castañares, 1963; García-Cubas, 1963; Morales, 1963; Silva-Bárcenas, 1963; Suárez-Caabro y Gómez-Aguirre, 1965; Yáñez-Correa 1963; Laguna de Tamiahua, Ver. (Cruz-Orozco, 1966; Rigby y McIntire, 1966), y Laguna Madre, Tamps. (Schlaepfer, 1968), así como los estudios de la costa de Tabasco realizados por Psuty (1965, 1966).

TRABAJOS DEL CAMPO.—Este estudio está basado en el material que se obtuvo en la parte interior de la plataforma continental y en la Laguna de Términos, a lo largo de 6 perfiles normales a la alineación general del litoral (Figura 2). Muchas otras estaciones de observación y muestreo adicionales se efectuaron dentro de la Laguna, de las cuales dos se localizan dentro de los pequeños estuarios en donde desembocan los ríos más importantes.

Las numerosas muestras de sedimentos colectadas en la barrera arenosa y en la planicie costera durante el trabajo de campo, fueron utilizadas en esta investigación, así como muchas otras colectadas en los últimos años por el personal del Instituto de Geología.

Para el trabajo en la parte interior de la plataforma continental se utilizó un barco camarero equipado con ecosonda. Las muestras de sedimentos se obtuvieron mediante el uso de una draga de almeja y un nucleador de caída libre. De cada una de las muestras de núcleo, el primer centímetro de sedimento tomado de la parte superior, fue para estudios de la fauna; el resto del núcleo se utilizó para análisis granulométrico y petrográfico. La posición de las localidades de observación y muestreo se controló mediante el uso del sextante (Shepard, 1963) cuando esto era posible y la posición de las estaciones subsecuentes se estableció mediante el control de la velocidad y el curso seguido por el barco. Para determinar la salinidad y la temperatura a intervalos de un metro a lo largo de la columna de agua, se utilizó un salinómetro de inducción en cada una de las localidades muestreadas. Las corrientes a lo largo de la costa se determinaron mediante el control de la deriva litoral indicada por flechas flotantes y, dentro de la Laguna, con medidores tipo Savonius.

La observación de las corrientes se efectuó durante los meses de julio y agosto de 1967, en diferentes posiciones de las mareas (Figura 3). La información de las corrientes es, por lo tanto, escasa; sin embargo, se tiene un cuadro bastante representativo de la circulación de las masas de agua, tanto a lo largo de la costa como dentro de la Laguna.

MÉTODOS DE LABORATORIO

ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE LOS GRANOS.—Aproximadamente 20 gr de cada muestra fueron tratados con peróxido de hidrógeno y calentados en baño maría a una temperatura de 60 - 70°C, con el fin de destruir la materia orgánica. El líquido empleado para el lavado fue extraído usando filtros bacteriológicos; las muestras se lavaron con agua destilada. La suspensión resultante fue pasada por un tamiz de 62 μ ; el material grueso retenido en el tamiz se secó en un horno y luego se pesó.

La fracción fina de cada muestra fue transferida a un cilindro graduado de un litro lleno en toda su capacidad con agua destilada y pipeteada de acuerdo con la Ley de Stokes. De esta forma, la muestra se separó en fracciones conteniendo diferentes tamaños de partículas.

FIG. 2.—Lineamientos y distribución de los sistemas de cerros de playa. Observe cómo algunos (C) han sido truncados por la erosión marina y otros más modernos (A) y (B) se han desarrollado por el abundante aporte de sedimentos. La velocidad y dirección de las corrientes a lo largo de la costa, están indicadas con flechas, en las localidades de medición.

Esas fracciones fueron secadas y pesadas. A partir del peso, tanto de la fracción gruesa como de la fracción fina, se graficó la distribución del tamaño de las partículas y se clasificó el tipo de sedimento de acuerdo con su proporción de arena, limo o arcilla. Finalmente, se calcularon los parámetros estadísticos (Tabla 1).

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN GRUESA.—La fracción gruesa (mayor de 62 μ) se tamizó en los tamaños siguientes:

Mayor de 1.82 mm; de 1.82 a 1.42 mm; de 1.42 a 1.25 mm; de 1.25 a 1.14 mm, y fracción menor de 1.14 mm. La composición de las partículas de cada una de las fracciones así divididas fueron clasificadas e identificadas por medio del microscopio. Previamente, cada una de las diferentes fracciones fue esparcida sobre una superficie plana y se estimaron los porcentajes de sus diversos constituyentes como sigue:

1) conchas de moluscos y sus fracciones; 2) conchas de foraminíferos; 3) cuarzo, y 4) se incluyeron tanto los materiales orgánicos como los minerales ferromagnéticos oscuros (Tabla 2).

ANÁLISIS DE LA ARCILLA MINERAL.—Las muestras se prepararon de acuerdo con la técnica sugerida por Kunze (1966), la cual se describe brevemente a continuación:

Aproximadamente 20 gr de la muestra se tamizan en húmedo a través de un tamiz con abertura de 62 μ . La solución de la fracción fina se trata con 100 ml de acetato de sodio que debe tener un pH de 5 para remover los carbonatos. La muestra se calienta después durante 4 ó 5 h, en baño maría a una temperatura de 80 a 90°C, cuidando de no alterar el pH. La solución ácida es extraída mediante un proceso de filtrado, lavando la muestra con agua destilada. Posteriormente, la muestra es tratada con 100 ml de peróxido de hidrógeno con objeto de destruir la materia orgánica. Para ayudar a la reacción, el recipiente se calienta nuevamente en baño maría y cuando ya no se observa en el recipiente una efervescencia vigorosa, se considera que la materia orgánica ha sido destruida. La muestra se lava con agua destilada y luego se centrifuga durante 10 min a 1,600 rpm. Este último proceso se repite hasta que alguna pequeña fracción del material permanece en suspensión, lo cual indica que el proceso de lavado ha llegado a su fin. La muestra se vierte en un recipiente para su sedimentación. Después se le añaden 100 ml de solución 0.1 N de "calgón" que es un activo detergente. Posteriormente la suspensión se agita y se deja sedimentar durante 7 h, después de lo cual se extraen 10 cm de la columna de sedimentación mediante sifón. Esta operación se repite cinco veces con el fin de concentrar la mayor parte de las partículas de arcilla. Estas, una vez concentradas, son centrifugadas y lavadas. En seguida se añaden 50 ml de una solución 1 N de cloruro de magnesio a la muestra, se agita y se calienta unos 10 min. Luego se lava dos veces con 15 ó 20 ml de agua destilada, centrifugando y decantando el líquido después de cada operación de lavado. Se añade una pequeña cantidad de agua a fin de obtener una suspensión viscosa, la cual se esparce sobre un porta-objeto de vidrio y se deja secar.

TABLA 1.—Datos del análisis del tamaño de los granos.

NUM. DE LA MUESTRA	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	PARAMETROS GRAFICOS			GRADO DE CLASIF. ϕ	DIAMETRO M ϕ	GRADO DE SIMETRIA SK ϕ
				ϕ_{16}	Md ϕ	ϕ_{84}			
1	8	88	4	4.3	5.5	6.8	1.10	5.60	0.91
2	0	94	4	5.2	5.9	7.2	1.00	6.20	0.33
3	0	74	26	5.1	6.1	8.6	1.70	6.80	0.41
4	2	79	19	4.6	5.6	8.3	1.80	6.40	0.44
5	8	66	26	5.2	6.4	8.3	1.50	6.70	0.20
6	3	87	10	4.5	5.2	6.7	1.10	5.70	0.36
7	8	78	14	4.6	5.7	7.7	1.50	6.20	0.33
8	10	87	3	4.2	5.1	5.9	0.80	5.00	0.10
9	6	86	8	4.3	4.8	7.0	1.30	5.60	0.61
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	98	2	0	-0.55	0.15	1.10	0.82	0.27	-0.14
13	98	2	0	0.15	2.10	3.70	1.77	1.92	-0.18
14	98	2	0	-1.85	-0.20	1.40	1.62	-0.22	-0.01
15	98	2	0	0.05	0.85	1.85	0.95	0.90	0.10
16	2	93	5	5.40	6.10	7.10	0.90	6.20	0.11
17	3	91	6	4.70	6.40	7.30	1.30	6.00	-0.31
18	4	52	44	5.30	7.70	10.00	2.30	7.60	-0.04
19	16	45	39	4.00	7.30	8.70	2.30	6.30	-0.43
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21	27	69	6	3.60	4.60	5.80	1.10	4.70	0.90
22	9	81	10	4.30	5.00	6.50	1.10	5.40	0.36

TABLA 2.—Composición de los sedimentos en por ciento, fracción gruesa ($> 62 \mu$)

NUM. DE LA MUESTRA	INTERVALO DE TAMAÑOS EN MM	PORCIENTO POR PESO	CONCHAS DE MOLUSCOS Y FRAGMENTOS	CONCHAS DE FORAMINÍFEROS	CUARZO	OTROS NO IDENTIFICADOS
12	0.84	53	100	—	—	—
	0.84 — 0.42	35	80	5	5	15
	0.42 — 0.25	8	60	5	10	20
	0.25 — 0.149	2	50	5	30	15
	— 0.149	2	40	5	60	10
13	0.84	18	100	—	—	5
	0.84 — 0.42	15	95	5	5	5
	0.42 — 0.25	15	90	5	20	5
	0.25 — 0.149	17	70	5	70	5
	0.149	36	20	5	5	5
14	0.84	62	100	—	—	—
	0.84 — 0.42	20	100	5	5	15
	0.42 — 0.25	9	80	5	30	15
	0.25 — 0.149	6	60	5	70	10
	0.149	3	15	5	5	5
15	0.84	23	100	—	—	—
	0.84 — 0.42	46	95	5	—	5
	0.42 — 0.25	18	80	10	10	10
	0.25 — 0.149	9	60	10	15	20
	0.149	4	10	5	80	15

La película de arcilla así conseguida, se analizó por difracción de rayos X, usándose un equipo Phillips, con tubo de cobre y colimador de salida de 1° . Los difractogramas resultantes se interpretaron de acuerdo con los diferentes tipos y abundancias relativas de las arcillas, siguiendo la técnica comúnmente empleada para el estudio mineralógico de los suelos (Kunze, 1966).

Las abundancias relativas se estimaron usando relaciones derivadas de determinaciones efectuadas en el laboratorio entre los diferentes grupos de arcillas. Dicha relación está basada en estimaciones de illita y cuarzo = 1, montmorillonita = 4 y caolinita = 2.5 (Tabla 3).

TABLA 3.—Porcentajes de las principales arcillas minerales componentes.

NUM. DE LA MUESTRA	MONTMORILLONITA	ILLITA	CUARZO	CAOLINITA
24	54	21	12	19
2	43	27	18	12
5	40	23	15	22
8	43	22	13	22
11	43	20	17	20
16	45	20	21	14
18	43	26	17	14
19	42	27	16	15
21	39	28	19	14
22	53	26	17	14
23	36	16	2	10
24	54	21	12	19

AREA ESTUDIADA

El área estudiada se localiza en el suroeste del Golfo de México (Figura 1). Se extiende a lo largo de la costa, desde la desembocadura del Río San Pedro hasta Isla Aguada, incluyendo la parte interior de la plataforma continental, hasta una profundidad aproximada de 10 brazas.

La plataforma continental interior es más bien plana cerca de la costa, especialmente hacia el oeste del Canal del Carmen. Hacia la parte más profunda de la curva de 2 brazas, la plataforma es relativamente plana, con pendiente suave, excepto en las áreas cercanas a los canales, en donde la topografía del fondo es bastante irregular.

Los principales rasgos topográficos de los depósitos sedimentarios en la

plataforma continental interior, incluyen la reentrante de la planicie costera entre el Río San Pedro y el Canal del Carmen y su proyección bajo el agua; los canales de intermareas y deltas de intermareas, y la llana batimetría de la plataforma de Campeche.

Los ríos tienen una influencia directa en la sedimentación, tanto en la plataforma continental interior como en la Laguna. Los cambios estacionales de la descarga de los ríos, junto con las corrientes inducidas por vientos y mareas, originan la circulación peculiar de las masas de agua, tanto dentro de la Laguna como a lo largo de la costa de mar abierto.

Los sedimentos son principalmente biógenos, aunque existe una rápida transición entre los detritos carbonatados de la Isla y la plataforma continental interior hacia el este del Canal del Carmen, y del material aluvial rico en residuos orgánicos del interior de la Laguna y de la parte poco profunda de la mencionada plataforma, al oeste del Canal del Carmen (Figura 1). Los sedimentos biógenos que forman la Isla del Carmen están constituidos por fragmentos de conchas de moluscos, las cuales están parcialmente oxidadas, y son muy permeables y alcalinas. Por otra parte, el material aluvial es de tipo granular fino, denso y poco oxidado.

En las planicies de intermareas de la Isla, la interrelación entre los sedimentos orgánicos e inorgánicos, es típica de ambiente pantanoso, con concentraciones aisladas de manglares.

FISIOGRAFIA

La planicie costera del suroeste del Golfo de México, entre las longitudes $91^{\circ}00'$ y $92^{\circ}00'W$ y latitudes $18^{\circ}20'$ y $18^{\circ}50' N$, rodea la "Laguna de Términos", la cual está separada de mar abierto por una barrera o cordón de arena litoral llamada "Isla del Carmen".

La superficie de la planicie costera muestra ondulaciones de baja amplitud, que corresponden a testigos de antiguos "cerros de playa".

Los cerros de playa constituyen los rasgos morfológicos más notables de la planicie costera, tanto en la Isla como en la parte progradiante de los depósitos aluviales, al poniente del Canal del Carmen. Los cerros de playa se extienden paralelos o subparalelos a la línea de la costa (Figura 3) y se encuentran en grupos bien definidos que a menudo se interceptan unos con otros a lo largo de discordancias erosionales.

Lo notable de estos cerros de playa es que han sido originados tanto por la sucesiva acumulación de los depósitos de tormenta como por los de las épocas de calma.

Para poder diferenciar los distintos sistemas de estos cerros de playa de los cerros de dunas o médanos, se efectuó un detallado estudio de la estructura de los sedimentos que forman las unidades sedimentarias, lo cual se logró cortando secciones normales en los cerros de playa antiguos, localizados en la parte interior de la Isla (Figura 4) y comparando su estratificación con la morfología de la costa actual.

FIG. 4.—Detalle estratigráfico de los sedimentos biógenos de un “cerro de playa”, mostrando la secuencia de depósitos “de tormenta” de forma lenticular y echado hacia tierra (componentes de pendiente escalonada), descansando sobre los depósitos laminares de suave pendiente y echado hacia el mar (componentes comunes a antiguas playas).

CARACTERISTICAS CLIMATICAS

La mayor parte del año la temperatura de la región es más bien alta, variando desde 23 hasta 30°C; las temperaturas más altas generalmente se registran durante el verano. La precipitación media anual varía desde cerca de 1,500 mm en la región costera hasta más de 4,000 mm en la región cercana a las partes montañosas. Por lo general, la precipitación más alta se registra durante septiembre y octubre y la más baja durante marzo y abril (Figura 5).

FIG. 5.—Gráficas climáticas seleccionadas del área estudiada. Adaptada de los *Datos Climatológicos del Boletín Hidrológico* Núm. 18, Región del Sureste, 1962, S.R.H., en las localidades indicadas.

En el período invernal se manifiesta un peculiar fenómeno meteorológico que es parte activa del proceso costero que opera a lo largo de la costa de Tabasco y Campeche: el desplazamiento hacia el sur de masas de aire frío, que generan fuertes vientos llamados "nortes". Este fenómeno no sólo es responsable de la precipitación y baja temperatura que imperan durante el invierno, sino que afecta el oleaje y las corrientes a lo largo de la costa en forma tal, que el nivel del mar aumenta hasta casi un metro por encima de su nivel normal, produciendo un oleaje lo suficientemente fuerte como para propiciar la construcción y desarrollo de los cerros de playa a lo largo de las costas.

MARCO GEOLOGICO

El área investigada comprende la zona de transición entre el límite oriental de la llamada Cuenca Macuspana-Campeche y la extensión occidental de la Plataforma de Yucatán (Figura 6).

En general, los sedimentos terciarios y cuaternarios en el extremo oriental de la Cuenca Macuspana-Campeche son lutitas interestratificadas con areniscas, arenas gravas, calizas y margas. Una variedad litológica como ésta sugiere que las condiciones de sedimentación fueron extremadamente variables, debido a un aporte abundante de sedimentos en un mar epicontinental inestable. Existen muchos cambios de facies tanto lateral como verticalmente dentro de la secuencia y, como resultado, la estratigrafía no está bien definida. En consecuencia, los contactos entre las formaciones terciarias no se encuentran bien definidos. Hacia el poniente de la zona de transición y hacia la parte central de la Cuenca, los sedimentos miocénicos presentan espesores de más de 4,000 m. Hacia el oriente de la zona de transición, los sedimentos miocénicos carbonatados de la Plataforma de Yucatán se presentan acuñados discordantemente sobre sedimentos del Eoceno y del Oligoceno.

Las arenas y gravas de conchas están interestratificadas en depósitos cuaternarios con sedimentos terrígenos muy finos aportados por los ríos Grijalva y Usumacinta (hacia el occidente de Isla del Carmen) o sedimentos carbonatados biógenos asociados con rasgos morfológicos sedimentarios a lo largo de la costa, tales como bermas, terrazas, escarpes de playa, depresiones y barras submarinas paralelas a lo largo de la costa.

El origen de la Cuenca Macuspana-Campeche ha sido relacionado con disturbios tectónicos atribuidos a la Orogenia Laramídica (Benavides-García, 1956). Se cree que en un principio la cuenca se desarrolló en un mar poco profundo con lagunas marginales. Como consecuencia, se formaron sedimentos continentales y marinos mezclados con evaporitas, las cuales se encuentran en la Plataforma de Yucatán, y con los sedimentos clásticos gruesos interestratificados con lutita del Paleoceno encontrados en la parte frontal de la Sierra Madre del Sur (Figura 6), sugiriendo así la existencia de un medio de depósito transicional.

Durante el Paleoceno la Cuenca permaneció cubierta por un mar poco profundo; posteriormente, debido a movimientos epeirogénicos de la Plataforma de Yucatán, se depositaron más de 2,000 m de sedimentos del Eoceno. De

Fig. 6.—Unidades tectónicas del sureste de México (modificadas de Alvarez, 1949).

acuerdo con Benavides-García, (1956), esas capas con una fauna batial, aparecen interestratificadas y acuñadas dentro de los sedimentos de la Plataforma, con sus correspondientes cambios de facies, de lutitas en la parte central de la Cuenca, a calizas biógenas en la Plataforma de Yucatán.

También se cree que a principios del Oligoceno, el Macizo de Jalpa empezó a levantarse, debido probablemente a procesos diapíricos de intrusiones salinas. Durante esa época, la Plataforma estuvo sujeta a un lento proceso de hundimiento, tal como lo demuestran los sedimentos acuñados a lo largo de la periferia de la base (Benavides-García, 1956), mientras que en la parte central se ha encontrado una cantidad menor de sedimentos. Como resultado del levantamiento de Jalpa, la Cuenca fue dividida en lo que actualmente se conoce como Cuenca Salina del Istmo y Cuenca Macuspana-Campeche (Figura 6).

A fines del Oligoceno el área se levantó, originando una gran discordancia. El Macizo de Jalpa todavía permanecía como un rasgo estructural, mientras que la Plataforma fue cubierta con más de 500 m de sedimentos que presentan una secuencia regresiva.

Durante la mayor parte del Mioceno la Plataforma se hundió lentamente en un mar poco profundo, mientras que las partes central y occidental de la base se hundían mucho más para convertirse en un mar profundo, tal y como lo sugieren las faunas nerítica y batial de dichos sedimentos.

A fines del Mioceno, levantamientos epeirogénicos volvieron a manifestarse en la Plataforma de Yucatán y en el Macizo de Jalpa, lo cual trajo como consecuencia una gran variedad litológica, representando ambientes de depósito tanto neríticos como batiales y abisales (Benavides-García, 1956).

A principios del Plioceno, un mar regresivo y poco profundo dio lugar al depósito de arena y arcilla interstratificadas que presentan un contenido microfauanal muy pobre.

HIDROGRAFIA

La hidrografía de la Laguna de Términos es muy compleja debido a las peculiares características fisiográficas y oceanográficas del área. La distribución de los sedimentos está directamente relacionada con la circulación del agua, ya que gran cantidad de sedimentos aluviales inorgánicos transportados en suspensión por los ríos que drenan la región y los procesos de mezclado entre las masas de agua salina y dulce en los canales de internareas, es suficientemente grande para retardar el depósito de los sedimentos en suspensión.

El Río Usumacinta y sus tributarios, constituyen el sistema más grande de ríos que influyen en el área: drenan casi 60,000 km², a partir de la parte montañosa entre Chiapas y Guatemala; el Río Grijalva es otro de los grandes sistemas que drenan casi 50,000 km² (Figura 2). El Usumacinta descarga en el Golfo, principalmente a través del Río Grijalva, pero tiene al mismo tiempo otros dos tributarios que son el Río Palizada que descarga en la Laguna, a través del Estero de Boca Chica y el Río San Pedro, que es el único ramal que descarga directamente en el Golfo. La mayor cantidad de sedimentos finos terrígenos es descargada después de la temporada de lluvias (fines de septiembre y principios de octubre), cuando los ríos han crecido hasta su nivel más alto. Obviamente, al regresar estos ríos a su etapa de menor descarga (lo cual ocurre en mayo), es cuando se nota una época de menor suministro de sedimentos.

Otros ríos que descargan en la Laguna de Términos, además del Palizada, son el Río Chumpan que entra por la Boca de Balchacah a través del estuario del mismo nombre, y el Río Candelaria, que entra a través de la Laguna de Panlau (Yáñez-Correa, 1963).

Es obvio que la circulación de las masas de agua es controlada por la relación del flujo entre la descarga de los ríos, las mareas y los vientos, que empujan las masas de agua hacia uno u otro lado de la Laguna.

En el Canal del Carmen, el gran volumen de agua dulce descargada por

los ríos Chumpan y Palizada, proporciona una relación de flujo superior a 1.0 respecto al prisma de mareas, lo cual ayuda a mantener una circulación constante de la Laguna hacia el mar.

En el Canal de Puerto Real, la circulación del agua es en ambas direcciones (hacia adentro y hacia afuera), dependiendo de las mareas, que tienen una variación mayor de 0.5 m; en general, sin embargo, el flujo accidental de las corrientes a lo largo de la costa, controla la circulación resultante de las aguas del Golfo hacia la Laguna, a través de este canal.

El movimiento de las masas de agua oceánicas hacia la Laguna, es mostrado por la distribución de salinidad, temperatura y contenido de CaCO_3 en el sedimento (Yáñez-Correa, 1963), y por la típica asociación de fauna marina en los depósitos deltáicos de intermareas desarrollados en la parte interior de esta entrada (Ayala-Castañares, 1963; Morales, 1963).

En la plataforma continental interior se observa el desplazamiento de las masas de agua hacia el oeste, siguiendo la circulación general de la corriente de Yucatán (Figura 7).

Cerca de la costa, la acción combinada de las corrientes litorales y la oscilación de los fluidos resultantes de la agitación de las aguas superficiales por los vientos, provocan la interrelación de los procesos costeros.

PROCESOS COSTEROS

Los vientos dominantes y el oleaje a lo largo de la costa Tabasco-Campeche, provienen principalmente de los cuadrantes del noroeste y del sureste. La altura de las olas alcanza promedios de 0.5 a 0.9 m, en 3 y 5 m de agua, hacia mar abierto de Isla del Carmen. El oleaje más alto se produce cuando soplan vientos huracanados en el invierno, llamados nortes.

El efecto combinado de las corrientes litorales y de las superficiales inducidas por el viento, junto con la refracción del oleaje y la rompiente de las olas sobre la playa, son los factores que producen una oscilación superpuesta de fluidos cerca del fondo, iniciando así el movimiento de los granos de las arenas y consecuentemente el acarreo litoral. Esto último junto con el oleaje de tormentas, son los factores que forman los cerros de playa en áreas de disipación de energía (Figura 3).

Las mareas son semidiurnas y diurnas y varían desde menos de 0.25 hasta 0.60 m. Las corrientes en el Canal del Carmen varían desde menos de 20 hasta más de 65 cm/seg durante las mareas bajas, y hasta 86 cm/seg durante las mareas altas, acompañadas ambas por la descarga del flujo de los ríos. En este canal las corrientes dominantes se dirigen hacia el mar, debido a la influencia de la descarga de los ríos y dado que sus desembocaduras están localizadas a corta distancia de este canal. En Puerto Real también se producen corrientes de intermareas, pero sus velocidades y variaciones son menores. En este canal, el movimiento de flujo y reflujo de las corrientes de intermareas es evidente, pero la circulación dominante es hacia el interior de la Laguna, debido a las corrientes a lo largo de la costa, que se mueven hacia el occidente y a la presencia de los depósitos del abanico interior que retienen el flujo de retorno de la Laguna hacia mar abierto.

FIG. 7.—Fotografía de la Laguna de Términos y parte sur de la Bahía de Campeche, tomada por los astronautas Cooper y Conrad del Gemini V, en Agosto 22 de 1966. Esta fotografía muestra en forma notable los procesos costeros y los rasgos morfológicos de la planicie costera del área estudiada.

Basándose en la comparación de mapas antiguos y modernos puede observarse que Isla del Carmen ha cambiado considerablemente en forma y dimensión. Puede verse que ha estado creciendo hacia el oeste, de acuerdo con la dirección del arrastre litoral y que está siendo erosionada en su extremo oriental. Sin embargo, su crecimiento hacia el oeste, ha sido mayor que la erosión en su extremo oriental, de tal forma que actualmente la isla es mucho más larga, mientras que los canales se han venido estrechando, tal y como lo muestran los depósitos arqueados en forma de gancho, cuya deflexión va hacia el Canal del Carmen y los que se observan en Isla Aguada con deflexión hacia el Canal de Puerto Real.

Los depósitos arqueados que constituyen la Isla Aguada, son clara evidencia de la migración, hacia el occidente de los sedimentos biógenos carbonatados erosionados, de la Sonda de Campeche.

El extremo noroccidental de la Isla del Carmen está siendo erosionada, aun cuando la "roca de playa" expuesta resiste bastante bien los efectos erosivos del ambiente marino por la posición que ocupa en la costa (Figura 8).

FIG. 8.—Fotografía que muestra el perfil escalonado de la playa actual. Nótese que el nivel del mar, normalmente se mantiene en el escalón mas bajo durante las épocas de calma, mientras que, durante el invierno bajo la influencia de los "nortes" el nivel del mar sube a la terraza del escalón más alto.

Tanto en la Isla del Carmen como en la saliente de la Isla Aguada y los rasgos morfológicos, los constituyentes biógenos del sedimento, indican que el área fuente es la plataforma de mar abierto, ya que la cantidad de conchas

marinas que los forman tienen que haberse formado sobre la Sonda de Campeche.

El movimiento de las corrientes litorales hacia el occidente a lo largo de la costa está claramente indicado por los cambios de tonalidad del agua debido a los sedimentos en suspensión, descargados en las aguas marinas del Golfo (Figura 7). Se observa que masas de agua con cantidades considerables de material arcilloso en suspensión, fluyen a través del Canal del Carmen y su deflexión hacia el oeste demuestra indudablemente la dirección en la que son transportados dichos sedimentos finos, así como el alcance de su distribución sobre la parte interior de la plataforma continental.

El arreglo y distribución de las megaturbulencias que se observan en la Figura 7, sobre la costa al oriente del Canal de Puerto Real, sugieren que el resultado del transporte litoral de materiales biógenos en la zona de la rompiente es hacia el poniente.

El extremo occidental de Isla del Carmen crece hacia mar abierto como resultado de la formación de "bermas". Las bermas son depósitos notables de las porciones del perfil de una playa en constante crecimiento hacia mar abierto y sirven de base para el desarrollo de los cerros de playa.

Algunos de los sistemas de cerros de playa en Isla del Carmen, fueron cartografiados durante las observaciones preliminares efectuadas por d'Anglejan en 1964, sin llegar a un completo entendimiento del problema; sin embargo, el mismo autor llamó la atención al hecho de que "las localidades donde los cerros de playa se encuentran en proceso de desarrollo, la sedimentación predomina sobre la erosión y como consecuencia, el alineamiento de los cerros de playa respecto a la costa es casi perfecto"; esto se observa en la saliente de Isla Aguada, en la porción central y occidental de Isla del Carmen, a lo largo de la costa al poniente del Canal del Carmen (Figura 3). En los lugares donde la erosión predomina, la concordancia de la costa con los cerros de playa es casi siempre imperfecta.

En la parte de la planicie costera investigada, se han desarrollado dos grandes deltas arqueados, asociados con los ríos Usumacinta (C) y Grijalva (B) (Figura 3). Además, la "reentrante" de la costa (A) que se extiende casi 70 km a lo largo de la parte occidental del Canal del Carmen se ha desarrollado mediante la construcción de un sistema de cerros de playa. Este sistema lo constituyen únicamente los cerros construidos con referencia al lugar específico de descarga de los sedimentos, generalmente una de las bocas tributarias del delta.

Cerca de la fuente de los sedimentos y a lo largo de la costa, la sedimentación produce progradación, conduciendo al desarrollo y formación de los cerros de playa. Pero conforme cambia la posición de los diferentes ramales del río, algunos sistemas son erosionados y otros son construidos cerca de la nueva fuente de los sedimentos, a lo largo de los sistemas antiguos.

En el pasado, la formación de los cerros de playa dio origen al desarrollo de los deltas de los ríos Grijalva y Usumacinta. La extensa zona de cerros de playa relacionados con el Río Grijalva, incluye dos sistemas de cerros distintos (Figura 3): el sistema más antiguo (C), que estuvo probablemente relacionado con el Usumacinta cuando un excesivo suministro de sedimentos fue apor-

tado a través de su ramal principal, el Río San Pedro. Este sistema (C) se extendía previamente hacia el mar, tal y como se indica con líneas punteadas en la Figura 3. Empero, la proyección marina de este sistema de cerros de playa cerca de la desembocadura del Río San Pedro ha sido truncada por la erosión marina. El nuevo sistema se encuentra relacionado con el Río Grijalva y se desarrolló después de que las descargas de los ríos Grijalva y Usumacinta se unificaron.

A partir del cauce del Río San Pedro, los cerros de playa se diseminan hacia ambos lados mostrando un sistema mejor desarrollado hacia el oeste (C, Figura 3). A partir del Canal del Carmen los cerros de playa se diseminan únicamente hacia el poniente (A, Figura 3), como consecuencia de las corrientes a lo largo de la costa y forman parte de la reentrante de la planicie costera.

El mecanismo responsable de la formación de los cerros de playa ha sido descrito por muchos autores; entre los antiguos, Johnson (1919), hizo un resumen de las opiniones que había en su tiempo. Más recientemente, Davies (1957), hizo lo mismo. Psuty (1965) y muchos otros, han tratado de explicar la morfología de la costa de Tabasco y Campeche, desde sus propios puntos de vista, y han llegado a la conclusión de que es necesario considerar un mecanismo controlado por un continuo aporte de sedimentos y una secuencia de eventos oceánicos y meteorológicos, de la manera siguiente: durante los procesos sucesivos de acreción en épocas de calma, se forman bermas y barras submarinas paralelas a la playa. Durante el invierno los fuertes oleajes producidos por los vientos de tormenta (nortes), transforman las bermas o barras frente a la costa, en cerros de playa.

La secuencia de eventos, interpretada a partir de la comparación entre la morfología de la costa actual (Figura 7) y la estratificación de los cerros de playa antiguos (Figura 4), es como sigue (Figura 9):

a) Seleccionando arbitrariamente el perfil de la playa durante las épocas de calma, el aporte de sedimentos amplía la porción subaérea del perfil.

b) Durante los nortes, la ligera elevación del nivel del mar y el fuerte oleaje mueven porciones de sedimentos hacia tierra desde la parte frontal de la berma, y los deposita sobre la parte trasera de la playa.

c) Durante las siguientes temporadas de calma, el transporte litoral suministra más sedimentos, los cuales son depositados en la berma sumergida.

d) La acción consecutiva de los nortes erosiona parte de las bermas y deposita los sedimentos detrás del perfil de la playa.

e) El sucesivo aporte de sedimentos durante las épocas de calma amplía la playa en la parte frontal de los ya elevados cerros de playa.

f) Llega un momento en que el oleaje provocado por las tormentas no puede acarrear más sedimentos hacia la parte continental debido a la altura que ya han alcanzado los cerros de playa, por lo cual, al llegarse a esta etapa, se inicia la construcción de un nuevo depósito de tormenta sobre la berma de la playa progradiente.

FIG. 9.—Diagrama generalizado para mostrar los cambios intermitentes del perfil de la playa, con las diferentes etapas de los eventos que participan en el desarrollo y formación de un cerro de playa (secuencia modificada de la sugerida por Psuty, 1966 y previamente por Johnson, 1919).

Debe entenderse que la secuencia de los eventos descrita, corresponde a una serie indeterminada de ciclos anuales, diferente para cada cerro de playa, siendo el factor controlante de la serie la mayor o menor abundancia de sedimentos suministrados.

Algunas secciones de los cerros de playa que corresponden al mismo sistema, a lo largo de la costa, tienden a ser paralelos o subparalelos. En secciones en donde los cerros de playa se encuentran en proceso de desarrollo éstos son paralelos. En la Isla del Carmen, el truncamiento de las distintas secuencias o sistemas de cerros de playa sugiere la existencia de antiguos canales de intermareas, que separaban la Isla en distintas porciones (Figura 3). Los sedimentos que rellenan esos canales aparecen actualmente como depósitos de abanicos aluviales.

Los procesos sedimentarios que dieron lugar a la formación de los depósitos de abanicos aluviales que se encuentran rellenoando los canales mencionados de Isla del Carmen fueron muy similares entre sí y debido a que dichos procesos prevalecen desde el momento en que el mar alcanzó su nivel actual, se puede prever que su efecto continuará, de tal forma que los depósitos de intermareas, en el extremo lagunar del Canal de Puerto Real, crecerán hacia el mar, hasta llegar a convertirse en un depósito de abanico de deslave.

Se cree que los depósitos de intermareas en la parte exterior del Canal del Carmen deben su existencia al encauzamiento hacia mar abierto de la turbulencia frontal del transporte litoral, que se forma como resultado del flujo de las masas de agua a través del Canal del Carmen. De aquí que los depósitos deltáicos de intermareas tiendan a crecer hacia el mar y no hacia el interior del Canal del Carmen. En efecto, este fenómeno explica por qué este canal es, aparentemente, el límite occidental de la distribución de los sedimentos carbonatados (Figuras 10 y 11).

SEDIMENTOS

La textura, el tamaño, el grado de clasificación, la composición, la geometría y la distribución de los sedimentos, junto con la morfología de los cuerpos sedimentarios, son controlados por los procesos costeros, de tal forma que los rasgos morfológicos costeros de origen deposicional, proporcionan la base para clasificar los diferentes ambientes de depósito en el área estudiada (Figura 12).

PARTE INTERIOR DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL.—La plataforma continental está más bien escalonada cerca de la costa, particularmente al poniente del Canal del Carmen. A partir de la curva batimétrica de las 2 brazas, el fondo es relativamente plano, con suave pendiente. La pendiente se muestra por los perfiles de la Figura 2 y puede observarse que disminuye de oeste a este, a tal grado que el perfil más oriental aparece convexo hacia mar abierto.

contenido de CaCO_3 en el sedimento superficial, es gradual más bien que tajante. La distribución se muestra en la Figura 11, en la cual los números representan porcentajes en cada estación y la limitación por zonas se hizo con el fin de indicar la disminución y el alto contenido (77.5%) de los depósitos deltáicos hacia el interior de la Laguna.

TABLA 4.—Porcentajes CO_2 y CaCO_3 equivalente en el sedimento.

NUM. DE LA MUESTRA	CO_2	CaCO_3 EQUIVALENTE
1	10.89	24.75
2	24.11	24.75
3	18.53	42.11
4	20.64	46.91
5	14.14	32.14
6	13.33	30.30
7	16.74	38.04
8	20.32	46.18
9	21.45	48.75
10	11.37	28.84
11	11.13	25.30
12	31.01	88.65
13	30.04	69.10
14	37.87	86.07
15	36.10	82.04
16	12.03	27.34
17	8.94	20.32
18	9.43	21.43
19	9.75	22.15
20	16.42	37.32
21	21.62	49.13
22	20.80	47.27

Para clasificar el sedimento de acuerdo con el tamaño de sus partículas, se usó el diagrama ternario arena-limo-arcilla, Shepard (1954), el cual ha sido modificado, reduciendo el número de los componentes dentro del sistema básico.

Casi toda la parte occidental del área estudiada, cerca de la costa, está cubierta con arcilla limosa, pero fuera de la costa está cubierta de limo arcilloso. Tal distribución se encuentra en aparente desacuerdo con la clásica

FIG. 11.—Distribución del tamaño de las partículas de los sedimentos recientes.

secuencia de sedimentos gruesos a finos en una dirección hacia mar abierto. Esta paradoja puede explicarse, sin embargo, si se considera que la más rápida floculación de las partículas arcillosas se produce cerca de la costa. De todas maneras, la mayor parte de los sedimentos superficiales consisten de limos y arcillas con una cantidad subordinada de fragmentos de conchas.

El método para seleccionar los ambientes de depósito, con las características que presentan las partículas de los sedimentos, fue la representación gráfica, de *tamaño de las partículas - diámetro modal - grado de clasificación*, empleada previamente por Folk (1962) para estos mismos sedimentos. Dicha representación se muestra en la Figura 13, en donde los grupos muestran

FIG. 12.—Diagrama isométrico de la Isla de Barrera o cordón de arena litoral (Isla del Carmen), para ilustrar la asociación de depósitos, resultado de la sedimentación y de los procesos costeros.

una significativa agrupación, correspondiente a diferentes ambientes de depósito. En general, los materiales terrígenos finamente granulares están restringidos a la plataforma continental, hacia el oeste de Canal del Carmen y se encuentran pobremente clasificados ($\pi = 1.8$ a 2.3ϕ) (Figura 13, Tabla 1).

Los principales minerales de arcilla presentes en los sedimentos de la plataforma continental interior identificados en el análisis de difracción de los rayos X, son montmorillonita, illita, caolinita y cantidades menores de clorita. También están presentes cuarzo, feldespatos y CaCO_3 . La Tabla 5

DIAGRAMA DE CLASIFICACION POR TAMAÑOS (MODIFICADO DE FOLK, 1962)

FIG. 13.—Diagrama con los diferentes grupos de sedimentos establecidos en función del tamaño medio del diámetro de las partículas y su grado de clasificación. El grupo de puntos negros es característico de sedimentos superficiales de playas; el de los "pequeños círculos", es característico de sedimentos de pantano o de playas lodosas del interior de la laguna; el de las "X", de sedimentos de depósito lagunares; el de "los triángulos", de sedimentos de la zona de la rompiente del oleaje y el grupo de las "+", es característico de sedimentos de la plataforma continental.

muestra los característicos ángulos 2θ y el espaciamiento equivalente d usado para identificar los diferentes tipos de las arcillas minerales.

TABLA 5.—Ángulo 2θ característico y espaciamiento d equivalente para arcillas minerales que ocurren en la fracción $< \mu$.

ANGULOS 2θ	ESPACIAMIENTO d (Å)	CATION SATURANTE	MINERAL IDENTIFICADO
6.0	15.02	Mg - K	Montmorillonita
8.8	10.04	Mg - K	Illita
12.1	7.19	Mg - K	Caolinita, clorita
17.8	5.01	Mg - K	Illita
18.4	4.80	Mg - K	Clorita
20.9		Mg - K	Cuarzo
24.9	3.59	Mg - K	Caolinita, clorita
26.65	3.33	Mg - K	Cuarzo, illita
28.00	3.15	Mg - K	Feldespato
	3.03	K	Calcita

La presencia de clorita y feldespatos está sugerida por los picos obtusos que presentan los diagramas (Figuras 14, 15 y 16). Las arcillas minerales y sus porcentajes en las muestras investigadas, se presentan en la Tabla 3. Se puede observar que dichos porcentajes no varían ampliamente de un lugar a otro; sin embargo, las cantidades más altas de montmorillonita (más del 50%) están concentradas alrededor del complejo deltáico del Usumacinta. La illita y la caolinita forman menos del 30% de la fracción arcillosa. El cuarzo es relativamente abundante, con cantidades que varían desde 10 hasta 20% de la porción arcillosa; su distribución está también restringida a los sedimentos de complejo deltáico.

ISLA DE BARRERA.—Las características morfológicas más notables de la Isla del Carmen con los sistemas de cerros de playa paralelos, curvados o discordantes y las depresiones poco profundas que quedan entre dichos cerros; los activos y abandonados canales de intermarea; los deltas de intermarea y los depósitos de abanicos aluviales generados por las tormentas.

La costa de la barrera litoral hacia la Laguna está caracterizada por depósitos de pantano. Los canales (del Carmen y de Puerto Real) se mantienen abiertos por las corrientes de intermarea, las corrientes de deslave generadas por las tormentas y el flujo de la descarga de agua de los ríos.

Los sedimentos que forman la Isla de Barrera consisten principalmente

FIG. 14.—Difractogramas de rayos X obtenidos en material arcilloso de los sedimentos de las localidades de muestreo 2, 16, 18 y 19.

de arenas finas a gruesas muy bien clasificadas y gravas formadas por conchas de moluscos y sus fragmentos. En la fracción gruesa, mayor de -2ϕ (4 mm), casi todas las conchas presentan abrasión total o parcial. La fracción menor de -1ϕ (2 mm) está formada por fragmentos subangulares de conchas, aun cuando sus orillas están pulidas y redondeadas por la acción de las olas. En la fracción menor de 2ϕ (0.5 mm) los sedimentos son principalmente

cuarzo subangular aun cuando los fragmentos de concha son bastante abundantes. También hay huellas de fragmentos de caliza retrabajada y conchas de foraminíferos en la fracción fina.

Los sedimentos de playa sobre la barrera tienen valores del grado de clasificación que caen entre 0.40ϕ y 0.80ϕ ; la misma clasificación ocurre en el diámetro de 2ϕ ($\pi = 0.45 \phi$) en donde los sedimentos están com-

FIG. 15.—Difractogramas de rayos X obtenidos en material arcilloso de los sedimentos de las localidades de muestreo 11, 21 y 22.

puestos de fragmentos de conchas de moluscos finamente fracturados. En el tamaño de 3ϕ ($1/8$ mm), el valor del grado de clasificación es intermedio ($\pi = 0.30$), reflejando una concentración de conchas enteras de moluscos. La clasificación más pobre ocurre en los sedimentos de 1.5ϕ ($1/3$ mm), los cuales consisten de partes más o menos iguales de conchas enteras de moluscos y fragmentos de ellas.

FIG. 16.—Difractogramas de rayos X obtenidos en material arcilloso de los sedimentos de las localidades de muestreo 5, 8, 23 y 24.

En el extremo noroccidental de la Isla hay afloramientos de rocas de playa, las cuales muestran que los procesos erosivos han sido muy activos. La roca de playa es una coquina cremosa formada por acumulaciones de valvas de pelecípodos y sus fragmentos cementados con CaCO_3 . La roca de playa se encuentra expuesta a lo largo de la porción erosionada de la costa, ligeramente por arriba y por abajo de la zona de intermareas. La orientación que siguen las capas de coquinas coincide con la alineación general de los cerros de playa. La roca de playa aparece cubierta por arena suelta de conchas, constituida principalmente por fragmentos de pelecípodos.

ZONAS DE MANGLAR.—En general, las áreas pantanosas de manglar son muy planas, con escasos rasgos morfológicos, pero con numerosos canales sinuosos de intermarea y depósitos de deslave. Estas áreas son inundadas durante la marea alta, están pobremente drenadas y contienen gruesos montículos de manglares. Los manchones claros y oscuros que se observan en los depósitos de pantano de la parte trasera de la Isla, están compuestos principalmente por sedimentos lodosos con muy poca arena de cuarzo, pero abundan los fragmentos de conchas de pelecípodos. Los foraminíferos arenáceos caracterizan los sedimentos de pantano y de las áreas adyacentes detrás de la barrera (Ayala-Castañares, 1963).

CERROS DE PLAYA.—Los cerros de playa están formados por una serie de crestas de baja amplitud y depresiones que generalmente tienen una pendiente escalonada hacia la parte continental y una pendiente más suave hacia la parte de mar abierto (Figura 3). En general, una sección a través de un cerro de playa, muestra una distribución característica de las unidades sedimentarias de arenas gruesas bien clasificadas de conchas de moluscos con estructuras ligeramente paralelas, orientadas hacia mar abierto y capas de arena gruesa bien retrabajadas, moderadamente bien clasificadas y fragmentos de pelecípodos agrupados en unidades pequeñas de forma lenticular, que constituyen la estratificación cruzada de los depósitos de deslave (Figura 4). La altura de dichos cerros es aproximadamente de 2 a 4 m con relación a las depresiones y el espaciamiento entre diferentes crestas varía desde 12 hasta 40 m.

Los sistemas de cerros de playa hacia el oeste del Canal del Carmen difieren de los de la Isla del Carmen, por la variabilidad de sus dimensiones, el número de crestas y, sobre todo, por su composición. Las crestas hacia el poniente del Canal del Carmen tienen más o menos la misma altura (2 a 4 m) con relación a las depresiones, pero el espaciamiento entre las crestas varía de 25 a 100 m. Los sedimentos de esos cerros consisten principalmente de arcillas limosas con arenas cuarzosas muy finas y cantidades menores de conchas de pelecípodos.

CANALES DE INTERMAREAS Y DELTAS DE INTERMAREAS.—Los deltas de intermareas ocurren tanto hacia la parte de mar abierto como hacia la parte lagunar de los canales de intermarea que separan la Isla de Barrera (Figura 12). Las características asociadas son los canales subacuáticos y un delta de intermareas hacia mar abierto, que está indicado por la posición de la rompiente de las olas a cierta distancia de la costa.

El delta de intermareas hacia la parte lagunar del Canal de Puerto Real, está indicado por una serie de bajos que constituyen sus depósitos, pero raras veces están indicados por las rompientes de las olas, dado que se encuentran localizados en una zona más protegida del interior de la Laguna, aunque tales depósitos son mucho mayores y se han desarrollado casi hasta su más alto nivel de depósito. Este delta interior de la Laguna se ha extendido por el depósito de sedimentos transportados a través del Canal por las corrientes de intermarea hacia la Laguna y por la continua corriente de deslave producida por las tormentas, las cuales modifican temporalmente los canales. En su etapa actual de desarrollo, la mayor parte del área del delta interior sobresale de la superficie del agua durante la baja marea (Figura 2).

Por otra parte, el desarrollo de los depósitos deltáicos exteriores hacia la parte de mar abierto del Canal del Carmen, es controlado por la erosión marina, la rompiente de las olas y las corrientes a lo largo de la costa, junto con el flujo hacia mar abierto prevaleciendo a través del Canal del Carmen, inducida por la descarga de los ríos.

Las gravas, arenas y limos de material biógeno son los sedimentos dominantes en los depósitos deltáicos en el interior de la Laguna. Los foraminíferos calcáreos *Rothalia* y *Elphidium*, son los más comunes en los depósitos deltáicos de intermarea. Las conchas de *Elphidium* rellenas con calcopirita y piritita y una asociación de minerales pesados compuesta principalmente de piroxena y hornblenda basáltica, caracterizan los depósitos deltáicos de intermarea hacia mar abierto del Canal del Carmen (Figura 12).

LAGUNA.—La Laguna es somera; en general, tiene una profundidad de un poco más de 4 m. La superficie del fondo es muy plana y sin embargo muestra algunas alteraciones como “el bajo de la raya” frente al paso de Ciudad del Carmen y los canales profundos localizados dentro de los pasos de mar abierto a la Laguna, al surponiente de Ciudad del Carmen e Isla Aguada (Yáñez-Correa, 1963).

La distribución del tamaño de los granos se muestra en la Figura 11. En la porción oriental de la Laguna dominan los constituyentes biógenos, mientras que en la porción occidental dominan los lodos terrígenos finos, ricos en material orgánico derivado de los ríos Chumpán y Palizada, los cuales diluyen gradualmente la alta concentración de CaCO_3 de los sedimentos característicos de la parte oriental de la Laguna.

La distribución del CaCO_3 en los sedimentos sugiere que los materiales biógenos han sido introducidos por las corrientes de intermarea a partir de la plataforma del Golfo, que invaden a la Laguna a través del Canal de Puerto Real (Yáñez-Correa, 1963). En menor grado el material calcáreo es introducido por el Río Candelaria que se desarrolla a través de la terraza caliza de Yucatán.

Las porciones oriental y occidental de la Laguna han sido también diferenciadas por sus biofacies características (Ayala-Castañares, 1963; Morales, 1963).

DISCUSION

En la mayoría de los trabajos publicados sobre la geología del sureste de México, se ha mencionado la palabra "subsistencia" al referirse a los depósitos de la Cuenca Macuspana-Campeche (Guzmán, 1952; Alvarez, 1949; Benavides-García, 1956). Alvarez escribió que la "subsistencia durante el Mioceno estuvo balanceada por una rápida acumulación de depósitos deltáicos y de pantano". Creager (1958), al describir la geología submarina de la parte sur de la Bahía de Campeche, sugirió que "La Laguna de Términos podría ser la depresión de un flanco deltáico, hacia el este del delta Grijalva-Usumacinta-San Pedro y San Pablo, debido a subsistencia". Creager también afirmó que la presencia de árboles en el mar a cierta distancia de la costa, indica que el área occidental cercana a la Laguna de Términos, está sujeta a subsistencia. Price (1954) fue más lejos, al clasificar a la Laguna de Términos como una depresión marginal deltáica debida a "subsistencia".

Los resultados de este estudio indican que el sistema de cerros de playa (C en la Figura 3), obtuvo su máxima progradación marina durante la época en que el canal del Río San Pedro fue la fuente de donde se dispersaba un excesivo aporte de sedimentos, que trajo como consecuencia el desarrollo de la parte frontal deltáica del Usumacinta, hasta la zona marcada por las líneas punteadas de la Figura 3. La proyección frontal deltáica fue posteriormente truncada por erosión marina, a partir de la declinación del Río San Pedro, como principal fuente de sedimentos. Por lo tanto, aun cuando la declinación del San Pedro como fuente principal de sedimentos, pudo haberse debido a subsistencia y esto a su vez a una migración lateral del curso del Río, lo aseverado por Creager de que los árboles que aparecen en el mar a cierta distancia de la costa, se debe a subsistencia, no es necesariamente correcto, ya que la presencia de árboles a lo largo de la costa y la consecuente ausencia de playa, es el resultado de la erosión marina del sistema de cerros de playa (C en la Figura 3).

Los cambios laterales del curso de los tributarios del Usumacinta puede atribuirse a una compactación de depósitos deltáicos más antiguos, tales como los que aparecen como un pantano alargado, a unos 50 ó 60 km tierra adentro, cuya zona se localiza detrás del actual curso seguido por los tributarios del Usumacinta, que corren hacia el oeste para unirse con el Grijalva y hacia el oriente para juntarse con el curso del Palizada. Una continua subsistencia de esta zona podría alargar el área de la Laguna de Términos hacia el poniente, pero no tiene por qué ser la causa principal de la formación de la Laguna.

Después de la última migración lateral del Usumacinta, el sistema más moderno de cerros de playa (A en la Figura 3), se dispersó hacia el poniente del Canal del Carmen y luego, simultáneamente, (B en la Figura 3), hacia ambos lados del curso del Grijalva. Dichas áreas de progradación costera (A y B en la Figura 3), junto con la erosión marina del delta arqueado del Usumacinta, han modificado la costa, alineándola a lo largo de la reentrante entre el Río Grijalva y el Canal del Carmen.

El sistema de cerros de playa más antiguo (D en la Figura 3), hacia el oeste del Río San Pedro, está truncado por pantanos y lagunas someras como las de Pom y Atasta (Figura 2), lo que indica que esta zona es una depresión en la parte activa de los depósitos deltáicos. Dicha depresión, claro está, tiene conexión hidrológica con la Laguna de Términos, pero no significa que la Laguna tenga que existir debido a subsidencia.

El origen de la Laguna, está relacionado con la construcción de la barrera o cordón litoral (Isla del Carmen), la cual tiene una fuente externa marina del material biógeno que la constituye, además de un riguroso control marino de sedimentación costera (Dr. F. B. Phleger, comunicación personal).

Se considera que la barrera litoral empezó a formarse con el apilamiento de arena, acarreada lateralmente sobre la plataforma continental por las corrientes y el oleaje, formando depósitos incipientes de arena en forma de gancho, tombolos, o flechas litorales (Figura 3).

El tamaño y la altura de los depósitos incipientes estuvo en relación directa con el oleaje que actuaba sobre la costa y con la cantidad de sedimentos disponibles en la zona de turbulencia.

La formación de la playa original y la magnitud del cordón de arena litoral actual, es el resultado del proceso continuo de sedimentación iniciado hace 5,000 años durante la última transgresión del Holoceno, cuando el mar alcanzó su nivel actual.

Las evidencias más recientes (Curry, 1961), indican que el mar llegó muy cerca de, o a su nivel actual, hace unos 2,000 años. Desde entonces, la barrera o cordón de arena litoral ha estado aumentando y creciendo hacia el mar, hasta alcanzar su forma actual.

CONCLUSIONES

Los sedimentos del área investigada caen dentro de dos grandes grupos: terrígenos y biógenos.

Los sedimentos terrígenos son vertidos por los ríos, directamente hacia mar abierto (Grijalva y San Pedro) y hacia el interior de la Laguna (Candelaria, Chumpán y Palizada). A partir de la Laguna, los sedimentos son arrastrados hacia la plataforma continental, a lo largo de la orilla occidental del Canal del Carmen. En la plataforma, se produce una selectiva distribución de las partículas y se forman franjas paralelas de arcillas-limosas y limos arcillosos. El complejo deltáico del Grijalva-Usumacinta está caracterizado por sedimentos compuestos de arena cuarzosa de grano medio a fino, material limo-arcilloso rico en materia orgánica y un bajo contenido de conchas, sobre todo en la región occidental.

Los sedimentos biógenos son el resultado de la gran productividad orgánica, principalmente bentónica, de la plataforma de Campeche, de donde son acarreados por el flujo de la corriente de Yucatán hacia el oeste. Cerca de la costa las corrientes y el oleaje los arrastran hacia la playa para formar cuerpos sedimentarios (Isla Aguada, un depósito de aspecto curvado en

forma de gancho; Isla del Carmen, una clásica barrera litoral; y el delta de intermareas en el interior de la Laguna). La sedimentación biógena declina hacia el oeste del Canal del Carmen a lo largo de la costa y un poco hacia el noroeste del Canal del Carmen sobre la plataforma continental. Estos sedimentos biógenos son de textura y composición diferentes de los que constituyen el complejo deltáico y están compuestos principalmente de conchas de moluscos, fragmentadas en todos tamaños, aun cuando cerca de la costa, a lo largo de la zona de rompiente frente a la Isla del Carmen, los constituyentes biógenos pueden verse junto con abundante arena cuarzosa retrabajada.

Los rasgos morfológicos más notables de la planicie costera de Tabasco y Campeche son los cerros de playa; éstos son, en el complejo deltáico, el resultado del excesivo aporte de sedimentos terrígenos hacia la costa, distribuidos posteriormente a lo largo de ellas por las corrientes litorales y depositados luego sobre la parte frontal del perfil de la playa, durante las temporadas de "buen tiempo". Posteriormente, tales sedimentos son removidos y apilados sobre la porción continental (del perfil de la playa), durante las épocas de parcial levantamiento del nivel del mar y del fuerte oleaje producido por los nortes durante el invierno.

En las islas Aguada y del Carmen los cerros de playa son el resultado del excesivo acarreo de los sedimentos biógenos provenientes de la plataforma continental, hacia la costa, por las corrientes y el oleaje. Estos sedimentos son depositados sobre la playa, dando lugar a la formación de bermas durante la época de "buen tiempo". Posteriormente, los sedimentos de la berma son deslavados para formar cerros de playa, durante la temporada de parcial levantamiento del nivel del mar y del fuerte oleaje producido por los nortes de invierno.

Las condiciones del oleaje durante las épocas de "buen tiempo" amplían subsecuentemente la playa y la extienden hacia mar abierto. Eventualmente, el fuerte oleaje producido por los nortes no puede afectar más la elevada cresta del cerro de playa pero en cambio, se inicia la formación de un nuevo depósito sobre la ampliación de la playa.

La separación entre crestas y valles de los cerros de dunas o médanos es menor en los depósitos biógenos marinos y mayor en los deltáicos terrígenos. Dicha separación refleja la cantidad de sedimentos suministrados y la mayor o menor progradación de la planicie costera.

La estratificación demuestra el carácter construccional de los cerros de playa, los cuales muestran secuencias de capas laminares con pendiente suave, correspondientes al perfil de la playa, que sirven como base de los depósitos de tormenta.

Los sistemas de cerros de playa del complejo deltáico están mejor desarrollados, son más amplios alrededor de la desembocadura de los tributarios y revelan épocas durante las cuales estos últimos eran la fuente principal de sedimentos, por lo que, al cambiar de sitio la desembocadura de los tributarios, esto trajo como consecuencia cambios de lugar de la progradación costera.

A lo largo de la parte frontal del delta han sido truncados algunos

sistemas de cerros de playa previamente desarrollados hacia mar abierto por la activa erosión marina, mientras que cerca de la nueva posición ocupada por el río, la planicie costera ha estado progradiendo activamente. La combinación de ambos procesos ha traído como consecuencia la alineación de la costa entre la desembocadura del Grijalva y el Canal del Carmen.

Los cerros de playa asociados por la progradación costera del complejo deltáico son amplios y extremadamente bien desarrollados, debido a la gran cantidad de sedimentos terrígenos finos aportados por los ríos y el efecto del agua del mar en la floculación de las partículas arcillosas.

El tamaño de los sedimentos, su grado de clasificación, su geometría y composición, junto con el peculiar proceso costero que se opera, trae como consecuencia la formación de los diferentes tipos de depósito. Los rasgos de depósito, tales como los deltas de intermareas y los depósitos de laguna-pantano-barrera-plataforma continental, aparecerán en la columna sedimentaria como lutitas interdigitadas con calizas coquinoides, en un arreglo similar a los cambios de facies pospaleocénicos, publicados en la Cuenca Macuspana-Campeche.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ, MANUEL, JR., 1949, *Tectonics of Mexico*: Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, v. 33, p. 1319-1335.
- AYALA-CASTAÑARES, AGUSTÍN, 1963, *Sistemática y distribución de los foraminíferos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México*: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 67, pt. 3, 130 p.
- BENAVIDES-GARCÍA, LUIS, 1956, *Notas sobre la geología petrolera de México*: en *Symposium sobre yacimientos de petróleo y gas*. Cong. Geol. Internat., 20, México, v. 3, p. 351-562.
- BONET-MARCO, FEDERICO, 1967, *Biogeología subsuperficial del Arrecife Alacranes, Yucatán*: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 80, 192 p.
- BONET-MARCO, FEDERICO, y BUTTERLIN, JACQUES, 1962, *Stratigraphy of the northern part of the Yucatan Peninsula*: New Orleans Geol. Soc., New Orleans, Libro-to-guía de la Excursión a Yucatán, p. 52-57.
- CANN, ROSS, 1963, *Recent calcium carbonate facies of the north-central Campeche Bank, Yucatan, Mexico*: Columbia University, New York, disertación doctoral (inérita).
- CREAGER, J. S., 1958, *Bathymetry and sediments of the Bay of Campeche*: Texas A. & M. Univ., Project 173, Tech. Rept. 12, 188 p.
- CRUZ-OROZCO, RODOLFO, 1966, *Sedimentología de la Laguna de Tamiahua, Veracruz*: Inst. Politécnico Nal., Esc. Sup. Ing. Arq., México, D. F. tesis profesional (inérita).
- CURRAY, J. R., 1961, *Late Quaternary sea level*: Bull. Geol. Soc. America, v. 77, p. 1707-1712.

- D'ANGLEJAN, BRUNO, 1965, *Notas sobre la Laguna de Términos, Campeche*: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, (informe inédito).
- DAVIES, S. L., 1957, *The importance of cut and fill in the development of sand beach ridges*: Australian Jour. Sci., v. 20, p. 105-111.
- EWING, MAURICE, y ANTOINE, JOHN, 1966, *New seismic data concerning sediments and diapiric structures in the Sigsbee Deep and upper continental slope, Gulf of Mexico*: Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, v. 50, p. 479-504.
- EWING, MAURICE, ERICSON, D. B., y HEEZEN, B. C., 1958, *Sediments and topography of the Gulf of Mexico*: en *Habitat of Oil*, L. G. Weeks, editor. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Tulsa, p. 995-1053.
- EWING, MAURICE, WORZEL, J. L., y EWING, J. I., 1962, *Sediments and oceanic structural history of the Gulf of Mexico*: Jour. Geophys. Research, v. 67, p. 2509-2527.
- FOLK, R. L., 1962, *Sorting in some carbonate beaches of Mexico*: New York Acad. Sci. Trans., ser. 2, n. 25, p. 222-244.
- FOLK, R. L., HAYES, M., y SHOJI, RIKII, 1962, *Carbonate sediments of Isla Mujeres, Quintana Roo, Mexico and vicinity*: New Orleans Geol. Soc., New Orleans, Libro-guía de la Excursión a Yucatán, p. 85-100.
- FOLK, R. L., y ROBLES, ROGELIO, 1964, *Carbonate sediments of Isla Pérez, Alacrán Reef complex, Yucatan*: Jour. Geology, v. 72, p. 255-292.
- GARCÍA-CUBAS, ANTONIO, 1963, *Sistemática y distribución de los micromoluscos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México*: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 67, pt. 4, 55 p.
- GUZMÁN, E. J., 1952, *Sedimentary volumes in Gulf coastal plain of the United States and Mexico, Part V, Volumes of Mesozoic and Cenozoic sediments in Mexican Gulf coastal plain*: Bull. Geol. Soc. America, v. 63, p. 1201-1220.
- HARDING, L. J., 1964, *Petrology and petrography of the Campeche lithic suite, Yucatan Shelf, Mexico*: Texas A & M Univ., Rep. 64-11T., 140 p.
- HOSKIN, C. M., 1962, *Recent carbonate sedimentation on Alacrán Reef, Yucatan, Mexico*: Texas, Univ. Austin, disertación doctoral (inédita).
- JOHNSON, D. W., 1919, *Shores processes and shoreline development*: Wiley and Sons, New York, 584 p.
- KORNICKER, L. S., BONET-MARCO, FEDERICO, GANN, ROSS, y HOSKIN, C. M., 1959, *Alacrán Reef, Campeche Bank, Mexico*: Texas, Univ., Publ. Inst. Marine Sci., v. 6, p. 1-22.
- KORNICKER, L. S., y BOYD, D. W., 1962, *Shallow water geology and environments of the Alacrán Reef complex, Campeche Bank, Mexico*: Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, v. 46, p. 640-673.
- KUNZE, G. W., 1966, *Clay mineralogy*: Texas A. & M. Univ., College Station, apuntes (inédito).
- LOGAN, W. B., 1962, *Submarine topography of the Yucatan Platform*: New Orleans Geol. Soc., New Orleans, Libro-guía de la Excursión a Yucatán, p. 101-104.

- McFARLAN, EDWARD, JR., y THOMPSON, M. R., 1957, *Subsurface Quaternary stratigraphy in coastal Louisiana and adjacent continental shelf*: Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Societies, v. 7, p. 12 (resumen).
- MOORE, D. G., y CURRAY, J. R., 1963, *Structural framework of the continental terrace, northwest Gulf of Mexico*: Jour. Geophys. Research, v. 68, p. 1725-1747.
- MORALES, GUSTAVO, 1963, *Ecology, distribution and taxonomy of Recent Ostracoda of the Laguna de Términos, Campeche, Mexico*: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 81, 103 p.
- PRICE, A. W., 1954, *Shorelines and coasts of the Gulf of Mexico*: en *Gulf of Mexico, its origin, waters and marine life*. U. S. Fish and Wildlife Serv., Fishery Bull. 89, p. 39-65.
- PSUTY, P. N., 1965, *Beach-ridge development in Tabasco, Mexico*: Annals Assoc. Am. Geographers, v. 55, p. 112-124.
- 1966, *The geomorphology of beach ridges in Tabasco, Mexico*: Louisiana State Univ., Coastal Studies Institute, Tech. Rept. 20, 31 p.
- RIGBY, J. K., y McINTIRE, W. G., 1966, *The Isla de Lobos and associated reefs, Veracruz, Mexico*: Louisiana State Univ., Tech. Rept. 1575, 30 p.
- SCHLAEPFER, C. J., 1968, *Estudio de los minerales pesados en los sedimentos de la Laguna Madre, Tamaulipas, México*: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 84, pt. 2, p. 45-66.
- SHEPARD, F. P., 1954, *Nomenclature based on sand-silt-clay ratios*: Jour. Sed. Petrology, v. 24, p. 151-158.
- 1963, *Submarine geology*: Harper & Row, New York, 558 p.
- SHEPARD, F. P., PHLEGER, F. B., y VAN ANDEL, T. J. H., editors, 1960, *Recent sediments northwest Gulf of Mexico*: Am. Assoc. Petrol. Geologists, Tulsa, 385 p.
- SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS, 1962, *Datos climatológicos*: Bol. Hidrolog. 18, Región del Sureste (México), 200 p.
- SILVA-BÁRCENAS, ANGEL, 1963, *Sistemática y distribución de los géneros de diatomeas de la Laguna de Términos, Campeche, México*: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 67, pt. 2, 31 p.
- SUÁREZ-CAABRO, A., y GÓMEZ-AGUIRRE, SAMUEL, 1965, *Observaciones sobre el plancton de la Laguna de Términos, Campeche, México*: Univ. Miami, Publ. Marine Sci., v. 15, p. 1072-1120.
- WILLIAMS, S. D., 1963, *The petrology and petrography of sediments from the Sigsbee blanket, Yucatan shelf, Mexico*: Department of Oceanography, Texas A. & M. Univ. Tech. Rept. 63-12T, 60 p.
- YÁÑEZ-CORREA, AMADO, 1963, *Batimetría, salinidad, temperatura y distribución de los sedimentos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México*: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 67, pt. 1, 47 p.