SEDIMENTOS E HISTORIA DE LA COSTA DE NAYARIT, MEXICO

J. R. CURRAY *

D. G. MOORE **

RESUMEN

La llanura costera de una porción de la parte continental del occidente central de México está construida de una llanura pantanosa de Estrán, que tiene aproximadamente 250 crestas paralelas de dunas, abandonadas. Las crestas individuales coalescen formando una carpeta arenosa surcada superficialmente. La arena cubre la superficie de transgresión pre-Holocénica del Río Grande de Santiago y otros pequeños ríos adyacentes. La arena está parcialmente cubierta con aluvión más joven, especialmente en las depresiones entre los bordes. El mecanismo de formación del cuerpo de arena se debe a una regresión, posterior a una casi estabilización del nivel del mar del Holoceno, por adición sucesiva de barras a lo largo de la costa frente a la playa existente.

Se estudiaron la plataforma continental y parte superior del talud marino frente a esta llanura costera, empleando técnicas convencionales de muestreo, combinadas con una prospección de reflexión acústica penetrante del fondo, para delinear las principales facies sedimentarias y definir el marco estructural del borde continental. Una lente de lodos de plataforma del Holoceno, más gruesa en la plataforma interna, se acuña en la plataforma central, hasta exponer arenas transgresivas. Esas arenas cubren la plataforma externa en toda la región. En la plataforma interna, por debajo de las arenas basales, está la superficie de aluvión de la llanura costera, que cambia gradualmente hacia el mar, a facies deltáicas bien desarrolladas, mostrando clásicas capas frontales (*fore-set*). Esos depósitos deltáicos han progradado la antigua línea de costa hasta formar la actual plataforma continental externa.

INTRODUCCION

La llanura costera y la plataforma continental de la costa occidental de la porción continental de México, han sido investigadas como parte del proyecto de la Institución Scripps de Oceanografía, sobre la Geología del Golfo

* Institución Scripps de Oceanografía. Universidad de California. La Jolla, Calif. E. U. A.

** Laboratorio Electrónico de la Marina de los Estados Unidos, San Diego, Calif. E. U. A.

de California. Una de las áreas de mayor interés geológico es la región del sur de Mazatlán, Sinaloa y norte de San Blas, Nayarit, en el lado continental del Golfo de California (Fig. 1).

Tanto la llanura costera como la plataforma continental de esta región están dominadas por la influencia del Río Grande de Santiago, uno de los principales ríos de la costa occidental de México, con menor influencia de los pequeños ríos adyacentes al norte y sur. En el Pleistoceno, durante períodos de bajo nivel del mar, El Río Grande construyó un complejo sistema deltáico en la plataforma continental, y en lugares alcanzó el borde de la plataforma, en aguas profundas. La transgresión del Holoceno desplazó la línea de costa a través de la superficie expuesta de este complejo deltáico, a una posición muchos kilómetros tierra adentro de su posición actual. Durante los últimos miles de años, la línea de costa ha sido regresiva, con depósito de un cuerpo de arena litoral a manera de cubierta.

Este trabajo representa un sistema de progreso concerniente a la distribución general de los sedimentos del cuerpo de arena regresiva, sus relaciones con los sedimentos infrayacentes y sobreyacentes, el mecanismo de depósitos y regresión a lo largo de esta línea de costa, y el complejo sumergido, del Pleistoceno, de la plataforma continental adyacente.

LLANURA COSTERA

La llanura costera (Fig. 1) consiste de un estero bajo, esencialmente a nivel del mar, trasladado en la superficie con la llanura aluvial, del Río Grande de Santiago y los pequeños ríos adyacentes al norte y al sur, que buzan hacia el mar. El pantano costero existe principalmente en las depresiones entre los canales de las crestas de dunas abandonadas de playa (Fig. 2). Esta planicie de Estrán, de crestas abandonadas de playa, tiene un promedio de 5 kilómetros de ancho con longitud de la distancia de 225 kilómetros entre Mazatlán y San Blas y cerca de 10 kilómetros de ancho, con longitud de 130 kilómetros, en la porción central mejor desarrollada. La anchura, entre la playa actual y el borde más antiguo, es de 17 kilómetros. La superficie supe-

—————→

Fig. 1.—Carta batimétrica y fisiográfica del complejo plataforma continental-llanura costera. La llanura costera consiste de un sistema de crestas abandonadas de dunas de playa del Holoceno, mostrando diagramáticamente, el aluvión transgresivo pre-Holoceno. La protuberancia en el borde de la plataforma continental es el sistema deltáico pleistocénico del Río Grande de Santiago. Se inician las localizaciones de las mediciones de Sonoprobe y Arcer de la Figura 4. Los puntos gruesos, el achurado y las líneas sólidas muestran respectivamente las posiciones de los bordes fósiles de la plataforma 1) más antiguo, 2) intermedio y 3) más joven, asociados con 3 períodos de avance del delta.

Fig. 1.

rior de la llanura de Estrán está surcada de manera uniforme por aproximadamente 250 crestas paralelas, típicamente espaciadas entre 30 y 200 metros. El relieve varía desde menos de un metro hasta un máximo de cerca de 5 metros sobre el nivel del mar. Aún no se ha completado un levantamiento topográfico detallado a través de la llanura pero parece ser aproximadamente horizontal, casi al nivel del mar.

El cuerpo de arena es continuo entre las crestas y en toda la distancia a través de la llanura costera (Fig. 3). Algunas depresiones entre las crestas tienen lentes de aluvión moderno, pero la arena siempre se encuentra a profundidades por debajo del aluvión. Algunos de los pequeños ríos del área descargan directamente en el océano, pero otros descargan en el pantano de marea, entre las crestas de arena. El flujo estacional, acompañado por el influjo de lodos aluviales prograda gradualmente la llanura de flujo de ríos, sobre el borde hacia tierra de la llanura costera. Sólo han sido llenadas con aluvión moderno las depresiones entre las crestas en la mayor parte del área, pero localmente algunas de las crestas antiguas cercanas al borde de la planicie hacia tierra han sido completamente enterradas.

La cubierta continua de arena sobreyace a los depósitos de planicie de inundaciones pre-transgresivos o Pleistocénicos del sistema coalescente de ríos (Fig. 3). Esta superficie aluvial ha sido trazada, por medio de perforaciones, bajo la llanura costera de playa y delineada en detalle en la plataforma continental somera, por métodos acústicos de reflexión. La superficie es irregular, como resultado de la erosión subaérea, y tanto en la llanura costera, como en el mar, se han detectado canales de río, rellenos de arena.

MECANISMO DE FORMACION DE LAS CRESTAS DE ARENA

Cada cresta se formó individualmente como un depósito de línea de costa; el más antiguo es el más lejano del océano y el más joven, el más cercano. La línea de costa actual es análoga en muchos aspectos a cada una de las crestas en su época de formación.

El mecanismo de formación propuesto este es que cada cresta comenzó como una barra sumergida a lo largo de la costa, frente a la playa existente.

—————→

Fig. 2.—Vistas árcas oblicuas de crestas abandonadas de dunas de playa, del Holoceno, durante la estación de flujo. La anchura promedio de las crestas es de aproximadamente 80 metros. Fotografía cortesía de F. B. Phleger. A.—Mitad hacia tierra de la planicie de estrán de crestas abandonadas de dunas de playas, cubiertas por manglares. B.—Más cerca del océano que la fotografía anterior, mostrando una discontinuidad entre conjuntos adyacentes de crestas. Las crestas jóvenes, más cerca del océano están construidas más altas y juntas que las crestas antiguas, y la línea de costa fue reorientada antes de la formación de crestas jóvenes.

A

B

Figs. 2a, b.

Fig. 3.—Sección transversal diagramática a través de la llanura costera y parte interna de la plataforma continental. La formación de las crestas es por acreción sucesiva de barras sumergidas a lo largo de la costa. Durante periodos de olas bajas, la barra es construida hasta la superficie y se transforma en una nueva playa, aislando la playa anterior y formando una laguna angosta. La laguna está cubierta parcialmente por el agua que que pasa sobre la barra y posteriormente cubierta por aluvión moderno.

Experimentos de laboratorio sobre olas en tanques (McKee y Sterret, 1961) y estudios de playas y olas (Keulegan, 1948; Sheppard, 1950; e Inman, comunicación personal) han mostrado que, a lo largo de la costa, se forman inicialmente barras en el punto de sumergido de rompiente. Con una proporción suficientemente alta de arena y condiciones de baja acción de oleaje puede alcanzar la superficie una barra. Si esto sucede durante marea alta, y la condición de bajo oleaje persiste a través de la marea baja y varios ciclos posteriores, la barra a lo largo de la costa se transforma en una playa, y la playa anterior es aislada.

Este proceso parece haberse repetido cíclicamente desde que el nivel del mar alcanzó aproximadamente su posición actual, con la proporción de aporte de arena y condiciones de oleaje y marea permaneciendo aproximadamente uniformes. Después de la formación de cada nueva cresta de playa sucesiva, el proceso empezaría de nuevo, una vez que se tuviera un aporte suficiente de arena en el área, ya sea por transporte a lo largo de la costa, desde los ríos, o bien por depósito de sedimentos antiguos en la parte somera de la plataforma continental. La costa fue, por lo tanto, contruída hacia el mar hasta proveer la base para la formación de una nueva barra a lo largo de la costa (Fig. 3) y la nueva barra fue construida hasta sobrepasar el nivel del mar. Esto, sugiere, en efecto un proceso cíclico regulado por si mismo, independiente de la influencia periódica externa.

La edad de las playas abandonadas más antiguas y el desarrollo de la llanura costera no están aun bien conocidos. Los únicos datos de carbón radioactivo obtenidos sugieren que el nivel del mar alcanzó aproximadamente su posición actual hace 3,000 a 5,000 años. Han transcurrido períodos de cambio de condiciones e interrupciones de la secuencia regular, y toda la línea de costa ha sido reorientada hasta producir discordancia (Fig. 2B). En el presente puede estar sucediendo otra reorientación mayor en la línea de costa, porque ésta localmente erosiona o transgrede hacia tierra, con el consecuente mejor desarrollo de la presente cresta de la playa. El proble-

—————→

Fig. 4-A.—Registro de Sonoprobe procedente de la plataforma continental en su parte interna mostrando hacia el mar lentes delgadas de sedimentos de plataforma del Holoceno (1), sobreyaciendo a las arenas transgresivas del Holoceno (2) y a la superficie erosional del Pleistoceno (3). La localidad se muestra en la figura 1.

Fig. 4-B.—Registro Arcen de la parte externa de la plataforma continental, rompimiento de la plataforma y parte superior del talud continental, mostrando capas frontales con buzamiento del delta pleistocénico del Río Grande de Santiago (1). El trazo horizontal grueso (2) empezando a 0.16 seg. en el borde derecho del registro es un múltiplo de la reflexión del fondo y debe ser ignorado. El trazo con buzamiento fuerte hacia abajo del múltiplo, cerca del extremo derecho del registro (3) es la posición del talud continental antes de la progradación del delta del Pleistoceno.

ma de edades de las crestas, velocidad de formación, y posición del nivel del mar del Holoceno, en épocas relativamente recientes, en esta área, no podrá constatarde de manera definitiva sino hasta que se obtenga mayor información, para precisar topografía, coleccionar muestras adicionales y hacer mediciones de carbón radioactivo.

PLATAFORMA CONTINENTAL

Se efectuaron dos cruceros sobre la plataforma continental, durante los últimos dos años, con el objeto de coleccionar muestras de sedimentos, hacer un reconocimiento con ecosonda para batimetría detallada, y sistemas acústicos de reflexión penetrantes del fondo, para determinar espesores de unidades sedimentarias y el marco sedimentario por debajo de la plataforma continental y porción superior del talud. Para este último propósito, se utilizaron dos tipos de instrumentos, el "Sonoprobe" y el "Perfilador sónico Arcer".

El "Sonoprobe" (McClure *et al*, 1958) es un ecosonda de alto poder, de baja frecuencia y registro continuo, capaz de medir tanto la profundidad del agua bajo el barco, como la profundidad de reflexión acústica de horizontes por debajo del fondo, utilizando frecuencias entre 3,000 y 6,000 ciclos por segundo. Las reflexiones de la energía del sonido por debajo del fondo del océano, pueden ser producidas por cambios en litología, densidad o porosidad de los sedimentos o rocas. Este instrumento es muy útil para determinar el espesor de los sedimentos del Holoceno y detalles someros de la estructura interna a profundidades de 20 a 30 metros dentro de los sedimentos (Fig. 4a). El "Perfilador sónico Arcer" emplea un arco eléctrico de alto poder, descargado dentro del agua como una fuente de sonido. El proceso de las señales es esencialmente similar al del "Sonoprobe", pero las frecuencias fundamentales utilizadas son menores (200-1,000 ciclos por segundo), por lo cual el "Perfilador sónico Arcer" es adecuado para el estudio de estructuras, gruesas a grandes profundidades bajo el piso del mar. (Fig. 4b).

La sección de la plataforma continental estudiada fuera de la costa de Nayarit (Fig. 1) es mayor de 250 kilómetros de largo y cerca de 25 kilómetros de ancho (de la línea de costa a la ruptura de la plataforma) en sus extremos norte y sur. Está más claramente caracterizada por un pronunciado ensanchamiento en su porción central, que alcanza una anchura de 75 kilómetros en una protuberancia relativamente angosta que marca el máximo ancho. Los detalles batimétricos se muestran en la figura 1 y están basados principalmente en sondeos hechos durante este trabajo.

Los estudios detallados de los sedimentos colectados en esta área, están aún en proceso, pero ya se tienen suficientes datos para formular una descripción y distribución generalizadas de las facies principales y combinarlas con los datos tridimensionales del reconocimiento con "Sonoprobe". Los sedimentos en la porción interna de la plataforma continental son arenas neríticas del presente ciclo sedimentario. Esos sedimentos gradan, de manera abrupta, en la porción central interna de la plataforma a arcillas limosas y arcillas, que son los productos distribuidos en la carga suspendida actual del Río Grande de Santiago. Mar adentro de esos depósitos de plataforma del Holoceno, en la parte central ancha y en la porción externa de la plataforma se encuentra una zona de arenas transgresivas basales del Holoceno, reliquia de condiciones cercanas a la costa, durante el bajo nivel del mar del Pleistoceno.

Los registros de "Sonoprobe" a través de la ancha plataforma central (Figs. 1 y 4a) muestran esas mismas facies sedimentarias en sección. Los depósitos de plataforma del Holoceno, son gruesos en la plataforma continental interna, donde sobreyacen a una superficie que parece haber sido sujeta a erosión subaérea con irregularidades resultantes en el perfil. Inmediatamente arriba del horizonte erosional está la arena basal del Holoceno y superimpuestos sobre este delgado miembro, están hasta 10 metros de facies de plataforma abierta y arenas neríticas interdigitadas. El miembro arenoso basal pudo seguirse con el "Sonoprobe", hasta su afloramiento en la parte central de la plataforma continental, correspondiendo a depósitos delgados de plataforma hacia mar adentro, según se muestra en el registro ilustrado.

SEDIMENTOS DEL PLEISTOCENO Y ESTRUCTURA DELTAICA

El aluvión del Pleistoceno está expuesto al pie de los cerros volcánicos del Terciario y ha sido trazado hacia el oeste, a través de la llanura costera por debajo de las arenas regresivas del Holoceno. La superficie superior de este aluvión parece corresponder a la superficie de erosión identificada en los registros de "Sonoprobe", según se observa en la figura 4a.

Se utilizó penetración más profunda, en el piso del mar, empleando el "Perfilador sónico Arcer", que registró la estructura interna por debajo de la probable superficie del Pleistoceno, a profundidades mayores de 200 metros. Esos registros muestran una sección transversal de capas basales y frontales clásicas de delta, que han progradado a través de su cuenca ancestral (Fig. 4b) y ahora toman el aspecto del talud continental, en su parte superior. En detalle, los registros de secuencias individuales deltáicas muestran

una transición, desde un buzamiento gentil hacia mar adentro, estratificado descontinuamente, probables depósitos aluviales y de pantano, hasta capas marinas deltáicas frontales arqueadas y cóncavas hacia arriba, con fuertes buzamientos.

El exámen de los registros de el área estudiada revelan que la sedimentación deltáica no fue contemporánea a través de toda el área. Algunas secciones muestran una secuencia de capas deltáicas superimpuestas sobre otras. En la mayoría de los perfiles completos, a través de la parte central y externa de la plataforma continental así como parte superior del talud continental se notan rasgos morfológicos enterrados similares a lo registrado en el borde de la actual plataforma continental. Representando la localización de esos probables bordes de plataforma continental y sus secuencias correspondientes de depósitos deltáicos, puede notarse que en el cuerpo de la plataforma continental se han preservado al menos tres principales períodos de construcción deltáica. Cada uno de esos períodos ha sido separado por el tiempo y el nivel del mar contemporáneo. El más joven de los taludes de capas deltáicas frontales registrados está expuesto como el aspecto del talud continental actual. Se han hecho cuatro determinaciones de carbón radioactivo en el borde superior de este talud, utilizando conchas de moluscos marinos identificados por R. H. Parker, como habitantes intertidales, con edades de 16,500 a 19,300 años.

Aunque esas cifras no son aún conclusivas, concuerdan con otras evidencias de datos de carbón radioactivo del Golfo de México, en que el máximo nivel inferior del mar de Wisconsin Superior (Würm II) ocurrió hace aproximadamente 18,000 a 20,000 años (Curry, 1961). Con bases en estos datos, de la morfología actual de la plataforma y de las relaciones entre secuencias deltáicas, los autores de este trabajo han especulado que las dos secuencias deltáicas más jóvenes son del Wisconsin Superior (Würm II) y la secuencia más antigua es del Wisconsin Inferior (Würm I).

ESTRUCTURA COMPUESTA DE PLATAFORMA

Aunque los sedimentos deltáicos son una parte importante del cuerpo de la Costa de Nayarit, esto no significa que la cuña marginal sedimentaria es de origen totalmente deltáico (Fig. 5). Como en la plataforma actual, en el pasado se acumularon gruesas secuencias de sedimentos de plataforma, compuestos de facies de arenas neríticas y limos arcillosos de plataforma abierta, que pueden ser detectadas como componentes importantes dentro del marco sedimentario del cuerpo de la plataforma. Los depósitos aluviales son tam-

Fig. 5.—Sección compuesta a través tanto de la planicie costera y terraza continental de la Costa de Nayarit, mostrando la distribución de las facies sedimentarias.

bién importantes, particularmente en el arreglo de la cuña de sedimentos de la mitad hacia tierra.

La secuencia de desarrollo de esta compleja estructura requiere depósitos concurrentes de aluvión de llanura costera, facies deltáicas marinas frontales, arenas neríticas, limos y arcillas de plataforma abierta. Los limos y arcillas de plataforma abierta son esencialmente capas basales del complejo deltáico. Al acumularse esos sedimentos, el mar es estacionario o recesa lentamente desde la tierra, teniendo lugar la formación del delta. Cuando el nivel del mar sube otra vez, se forman arenas basales sobre los antiguos depósitos de pantano y aluviales, y aún con otra "arena inmovil", se estableció el estado para un nuevo ciclo de construcción deltáica y depósito marino, con la antigua masa deltáica formando la plataforma en la cual se construye.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- CURRAY, J. R. (1961). *Late Quaternary sea level: a discussion*. Bull. Geol. Soc. America, v. 72, p. 1707-1712.
- KEULEGAN, G. H. (1948). *An experimental study of submarine sand bars*. United States Beach Erosion Board Tech. Rept. 3, 40 p.
- MCCLURE, C. D., NELSON, H. F. and HUCKABAY, W. B. (1958). *The marine sonoprobe system, new tool for geologic mapping*. Bull. American Assoc. Petrol. Geol., v. 42, p. 701-716.
- McKEE, E. D. and STERRETT, T. S. (1961). *Laboratory experiments on form and structure of longshore bars beaches*, in *Geometry of Sandstone Bodies*. American Assoc. Petrol. Geol., Tulsa, p. 13-28.
- SHEPARD, F. P. (1950). *Longshore-bars and longshore-troughs*. United States Beach Erosion Board Tech. Mem. 15, 32 p.