



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA

DIRECTOR: ING. GUILLERMO P. SALAS

Boletín 84

TRABAJO REALIZADO CON LA APORTACION ECONOMICA
NSF-3420 DE LA NATIONAL SCIENCE FOUNDATION
DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

SEDIMENTOLOGIA DE LA LAGUNA MADRE, TAMAULIPAS

PARTE 1. COMPOSICIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS SEDIMENTOS RECIENTES DE LA
LAGUNA MADRE, TAMAULIPAS

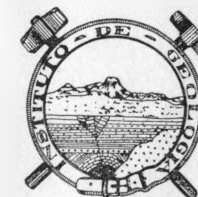
POR

AMADO YAÑEZ Y CARMEN J. SCHLAEPFER

PARTE 2. MINERALES PESADOS DE LOS SEDIMENTOS DE LA
LAGUNA MADRE, TAMAULIPAS

POR

CARMEN J. SCHLAEPFER



MEXICO, D. F.

1968

CLASIF.
ADQUIS. *1-7-58*
FECHA.
PROCED.

CONTENIDO

Parte 1. Composición y distribución de los sedimentos recientes de la Laguna Madre, Tamaulipas. Por <i>Amado Yáñez</i> y <i>Carmen J. Schlaepfer</i>	5
Parte 2. Minerales pesados de los sedimentos de la Laguna Madre, Tamaulipas. Por <i>Carmen J. Schlaepfer</i>	45

UNIV. NAL. AUTÓN. MÉXICO, INST. GEOLOGÍA, BOL. 84, pte. 1, p. 5-44.
6 lám., 11 fig., 2 tablas.

SEDIMENTOLOGIA DE LA LAGUNA MADRE, TAMAULIPAS

PORTE 1

COMPOSICION Y DISTRIBUCION DE LOS SEDIMENTOS RECIENTES
DE LA LAGUNA MADRE, TAMAULIPAS

POR

AMADO YAÑEZ Y CARMEN J. SCHLAEPFER

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	9
GENERALIDADES	3
GEOLOGÍA GENERAL	16
FISIOGRAFÍA	16
HIDROGRAFÍA	19
SEDIMENTOS	21
Granulometría	23
Composición de la fracción arenosa	26
Composición de la fracción fina	27
Estructuras internas de los sedimentos	28
ORIGEN Y DESARROLLO DE LA LAGUNA	30
COMPARACIÓN CON LA LAGUNA MADRE, TEXAS	31
CONCLUSIONES	32
TRABAJOS CITADOS	33

ILUSTRACIONES

FIGURA

1. Plano de ubicación de la Laguna Madre de Tamaulipas	10
2. Mapa de localización de las estaciones de muestreo	12
3. Geología generalizada de la costa septentrional de Tamaulipas	14
4. Fisiografía de la costa septentrional de Tamaulipas	16
5. Batimetría de la Laguna Madre en los meses de Abril y Mayo de 1963	18
6. Distribución de la salinidad en los meses de Abril y Mayo de 1963	20
7. Tipos texturales de sedimentos y su distribución	22
8. Distribución de los componentes de la fracción arenosa	24
9. Distribución de los grupos Río Bravo (RB) y Río Bravo Intemperizado (RBI) basada en la razón hornblendas/piroxenas (H/P)	25
10. Distribución de las distintas estructuras internas sedimentarias	29
11. Secciones de núcleos con estructura mixta	29-30

LÁMINAS

1.—Figs. 1 y 2. Bordes remanentes de antiguas lagunas interiores de la costa (proximidad de El Mezquital)	34-35
2.—Fig. 1. Escarpes de la orilla septentrional de la laguna, cortados en los aluviones recientes del Río Bravo.	34-35

	Pág.
Fig. 2. Playa de barlovento de la barrera meridional (aproximadamente 10 Km al N de La Pesca)	34-35
3.—Figs. 1 y 2. Limolitas compactas que afloran en la orilla de la laguna, a proximidad de El Mezquite, y quizás representan depósitos deltaicos antiguos	34-35
4.—Figs. 1 y 2. Islas formadas por la erosión de los aluviones del Río San Fernando	34-35
5.—Fig. 1. Roca de playa ("beach rock"), que aflora en las entradas de la Bahía del Catán	34-35
Fig. 2. Llanura situada detrás de la playa en la barrera septentrional donde es muy fuerte la acción eólica	34-35
6.—Figs. 1 y 2. Costras de sales que se forman en las zonas marginales de la laguna	34-35

TABLAS

1. Parámetros estadísticos de Laguna Madre, Tamps.	37
2. Componentes de la fracción de arena (>0.062 mm)	42

COMPOSICION Y DISTRIBUCION DE LOS SEDIMENTOS RECIENTES DE LA LAGUNA MADRE, TAMAULIPAS *

POR

AMADO YÁÑEZ Y CARMEN J. SCHLAEPFER

RESUMEN

La Laguna Madre, en Tamaulipas, situada en el litoral mexicano del Golfo de México, ocupa una cuenca poco profunda limitada del mar por una barrera litoral. El clima es árido, con fuerte predominio de la evaporación, y las aportaciones de agua de los ríos a la laguna son mínimas. En consecuencia la laguna está en proceso de desecación, incrementándose la salinidad de las aguas remanentes y la precipitación de sales en las zonas marginales.

Este trabajo presenta un estudio de los factores que caracterizan el ambiente de la cuenca y dominan la composición, distribución y depósito de los sedimentos que la rellenan. La distribución de los sedimentos ha sido influida principalmente por la entrada de agua marina en la laguna, la energía del oleaje interior y la acción eólica.

De acuerdo con su textura, composición y mineralogía, los sedimentos han sido delimitados en tres grupos, que parecen ser las unidades litológicas más notables en este ambiente de depósito. Las estructuras internas de los sedimentos de la laguna muestran cambios frecuentes y notables de litofacies, tanto vertical como horizontalmente, correspondientes a variaciones ecológicas en el desarrollo de ésta.

Para terminar, se hace brevemente una comparación entre la Laguna Madre, Tamaulipas, y la Laguna Madre, Texas, subrayando los aspectos en que difieren entre sí.

INTRODUCCION

Hace aproximadamente 15 años, se inició en la costa de los Estados Unidos el estudio sedimentológico de las lagunas marginales del Golfo de México, bajo el patrocinio del proyecto 51 del "American Petroleum Institute".

El fin perseguido era ampliar los conocimientos que se tenían sobre la ecología de este tipo particular de depósitos, y formar un criterio para reconocerlos en sedimentos antiguos, para facilitar la reconstrucción paleogeográfica de las facies, e indirectamente, la localización de ambientes favorables a la acumulación de hidrocarburos.

* Trabajo presentado en el II Congreso Nacional de Oceanografía, Ensenada, B. C., 15 a 18 de marzo de 1965.

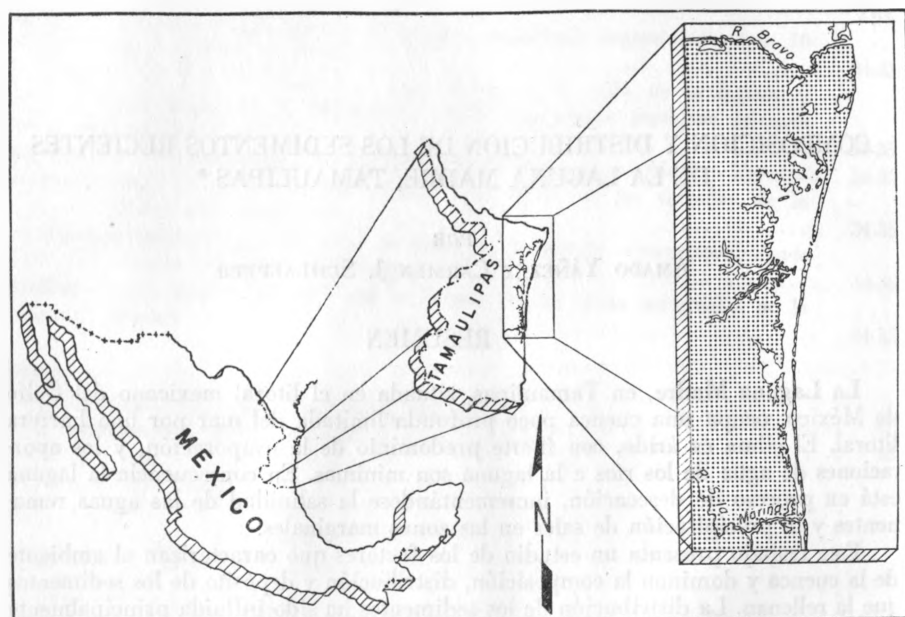


Figura 1. Plano de ubicación de la Laguna Madre, Tamaulipas.

Como consecuencia de este proyecto, en el curso de los últimos años se obtuvo abundante información, debida a los trabajos de Shepard y Moore (1955), Rusnak (1960) y otros.

En 1959, el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México inició con el mismo propósito el estudio de las lagunas marginales del litoral mexicano en el Golfo de México. Se estableció un programa de investigación que comprende la exploración de las tres principales lagunas de esa área: la Laguna de Términos, Campeche; la Laguna de Tamiahua, Veracruz; y la Laguna Madre, Tamaulipas (Fig. 1). En ese mismo año se iniciaron los trabajos en la Laguna de Términos, publicándose posteriormente los resultados. Como siguiente fase se planeó un estudio de los sedimentos recientes de la Laguna Madre y, en este trabajo, se presenta parte de los datos obtenidos.

Para completar el proyecto actual de investigación, se principió recientemente el estudio de la Laguna de Tamiahua de modo que, al publicarse sus resultados, se concluirá la primera fase de estudios generales, que será seguida por estudios más detallados de problemas particulares, algunos de los cuales ya se han iniciado en la Laguna de Términos.

El estudio de la Laguna Madre de Tamaulipas tiene particular interés ya que esta laguna representa el estado final de evolución de una cuenca, que se originó como laguna marginal, con la formación de una barrera litoral, y que actualmente se encuentra en proceso de desecación, con aguas hipersalinas en las partes todavía inundadas y extensas planicies de lodo en las partes expuestas.

Este trabajo comprende el estudio de los componentes inorgánicos de los sedimentos; trata además de conocer los procesos geológicos que condicionan su depósito y de evaluar su significado en el origen y evolución de la laguna.

Los trabajos de campo se realizaron entre marzo y mayo de 1962 y entre abril y mayo de 1963, por A. Yáñez y S. Leyva, efectuándose posteriormente dos breves reconocimientos, uno al final de 1964 y otro a principios de 1965 por ambos autores y B. d'Anglejan. Consistieron, en la laguna, en obtención de núcleos con un nucleador de Lankford y de muestras de sedimentos con una draga de tipo van Veen; en muestreo de playa, en mediciones de temperatura superficial y en colección de muestras de agua para determinaciones de salinidad. La posición de las estaciones de observación y muestreo dentro de la laguna (Fig. 2), al norte de los depósitos deltaicos del Río San Fernando, está apoyada en un levantamiento topográfico efectuado por Servicios Geofísicos, S. A., en tanto que, al sur del mismo río, se determinó con sextante. Sobre la playa se tomaron muestras cada 3 km desde la desembocadura del Río Bravo hacia el sur.

Los trabajos de laboratorio y gabinete, a cargo de A. Yáñez y C. Schlaepfer, con la colaboración de S. Leyva, se efectuaron en el curso de los años 1963 y 1964 en el Instituto de Geología de la UNAM, valiéndose del personal y laboratorios de dicho Instituto. Comprendieron análisis granulométricos, químicos, estudios mineralógicos, fotografías y radiografías de los núcleos.

Los datos hidrométricos y climáticos fueron proporcionados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos (Estación San Fernando, lat. $24^{\circ}51' N$, long. $98^{\circ}30' W$); los datos de mareas se tomaron de las Tablas de Predicción de Mareas, publicadas por el Departamento de Oceanografía del Instituto de Geofísica de la UNAM (1963); la frecuencia de los ciclones, de Rusnak (1960) y la información sobre los vientos, de datos inéditos del Observatorio Meteorológico Nacional, que abarcan un período de 1920 a 1940. La geología regional se resumió tomando como base los trabajos de Benavides (1956), Fisk (1959), Le Blanc y Hodgson (1959) y Murray (1960 y 1961).

Los autores agradecen a las siguientes Instituciones y personas su valiosa ayuda en el desarrollo del trabajo: National Science Foundation de los Estados Unidos, cuya aportación económica permitió la realización del mismo; Secretaría de Marina, con la cual el Instituto de Geología efectuó trabajos previos en la costa de Tamaulipas a consecuencia de un contrato estipulado entre ambas Instituciones; Gerencia de Exploración de Petróleos Mexicanos, por haber facilitado mapas base y asistencia en el trabajo de campo; Servicios Geofísicos, S. A., por haber proporcionado datos topográficos y alojamiento; Secretaría de Recursos Hidráulicos; B. F. d'Anglejan quien ayudó con consejos y orientación en la elaboración del trabajo; A. Ayala-Castañares por su intervención en la organización y revisión del mismo; S. Leyva por su colaboración en el trabajo de campo y en el de laboratorio; los meteorólogos P. Mosiño y E. Pérez Siliceo por haber proporcionado datos climáticos inéditos; R. M. de Schmitter por la corrección del manuscrito y, en general, al personal técnico del Instituto de Geología, donde se hicieron los análisis de las muestras, la preparación de los planos, etc.

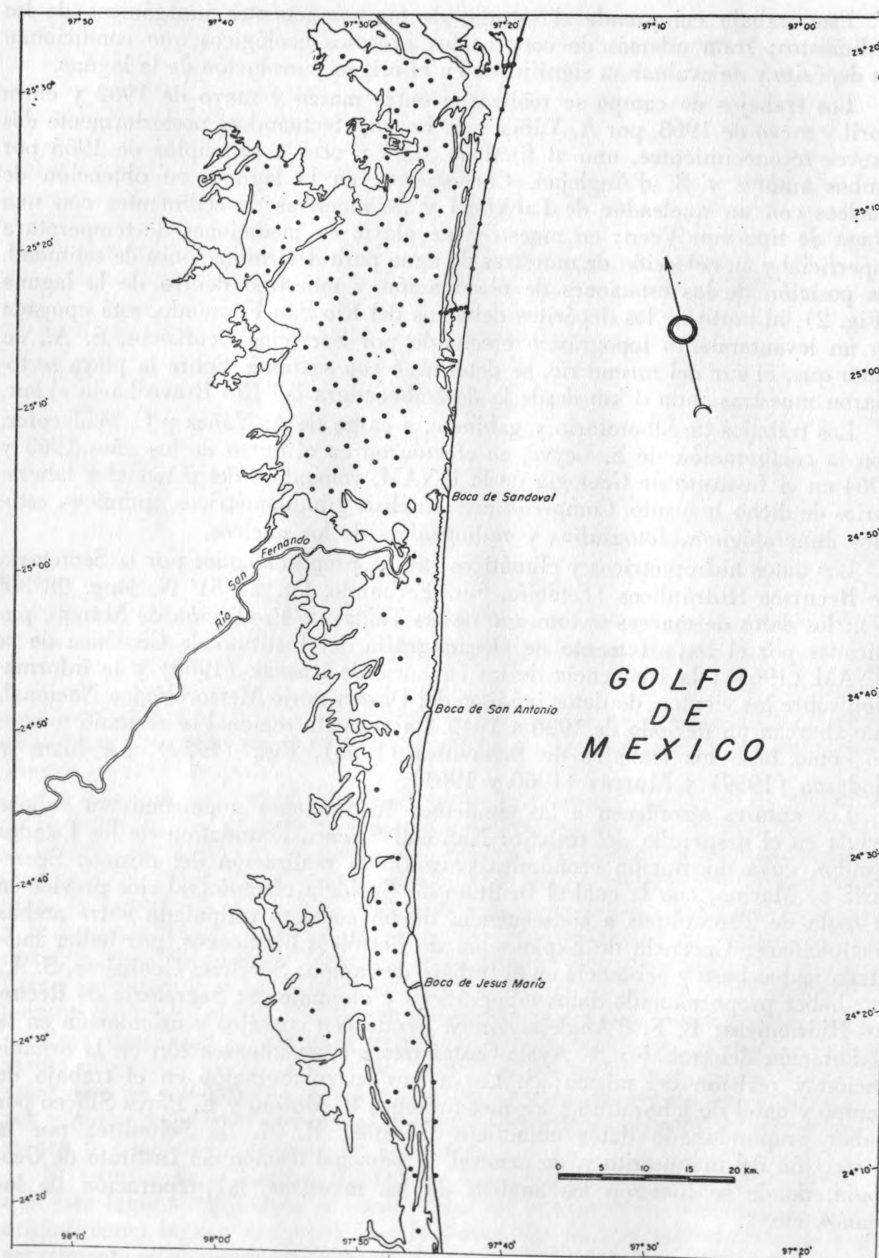


Figura 2. Mapa de localización de las estaciones de muestreo.

GENERALIDADES

La Laguna Madre se encuentra en el Estado de Tamaulipas (Fig. 1), entre el delta del Río Bravo al N y el Río Soto la Marina al S. Está comprendida entre las latitudes $23^{\circ}10'$ y $25^{\circ}30'$ N y se sitúa a la longitud aproximada de $97^{\circ}30'$ W.

El Río San Fernando, o Río Conchos, desemboca hacia su parte media y sus depósitos deltaicos separan virtualmente la laguna en dos cuencas, una septentrional y una meridional.

En el área limítrofe no se encuentran centros habitados importantes; sólo existen ranchos ganaderos y algunos cultivos de algodón y de sorgo que utilizan agua del Río San Fernando.

A continuación se hace un resumen de los datos geográficos y climáticos de la región.

Datos geográficos:

Cuenca septentrional:	
superficie	1100 km ²
longitud	65 km
ancho promedio	17 km
Cuenca meridional:	
superficie	900 km ²
longitud	125 km
ancho promedio	6.5 km
Superficie total:	2000 km ²

Datos climáticos:

Precipitación media anual (San Fernando, 30 años)	628 mm
Evaporación media anual (San Fernando, 30 años)	1896 mm
Temperatura media anual (San Fernando, 30 años)	$23^{\circ}7'$ C
Frecuencia de los ciclones	40/siglo
Vientos dominantes	SE

Clasificación (según Thornthwaite, 1948): semiárido.

La velocidad media de los vientos del SE (Matamoros, 20 años) varía de 2.7 m/seg en octubre a 4.1 m/seg en marzo. Las máximas velocidades se registran cuando soplan vientos de N y NE ("nortes").

Vegetación.

La vegetación de la zona costera adyacente a la laguna se compone esencialmente de halofitas, que soportan una alta concentración de sal del suelo (F.

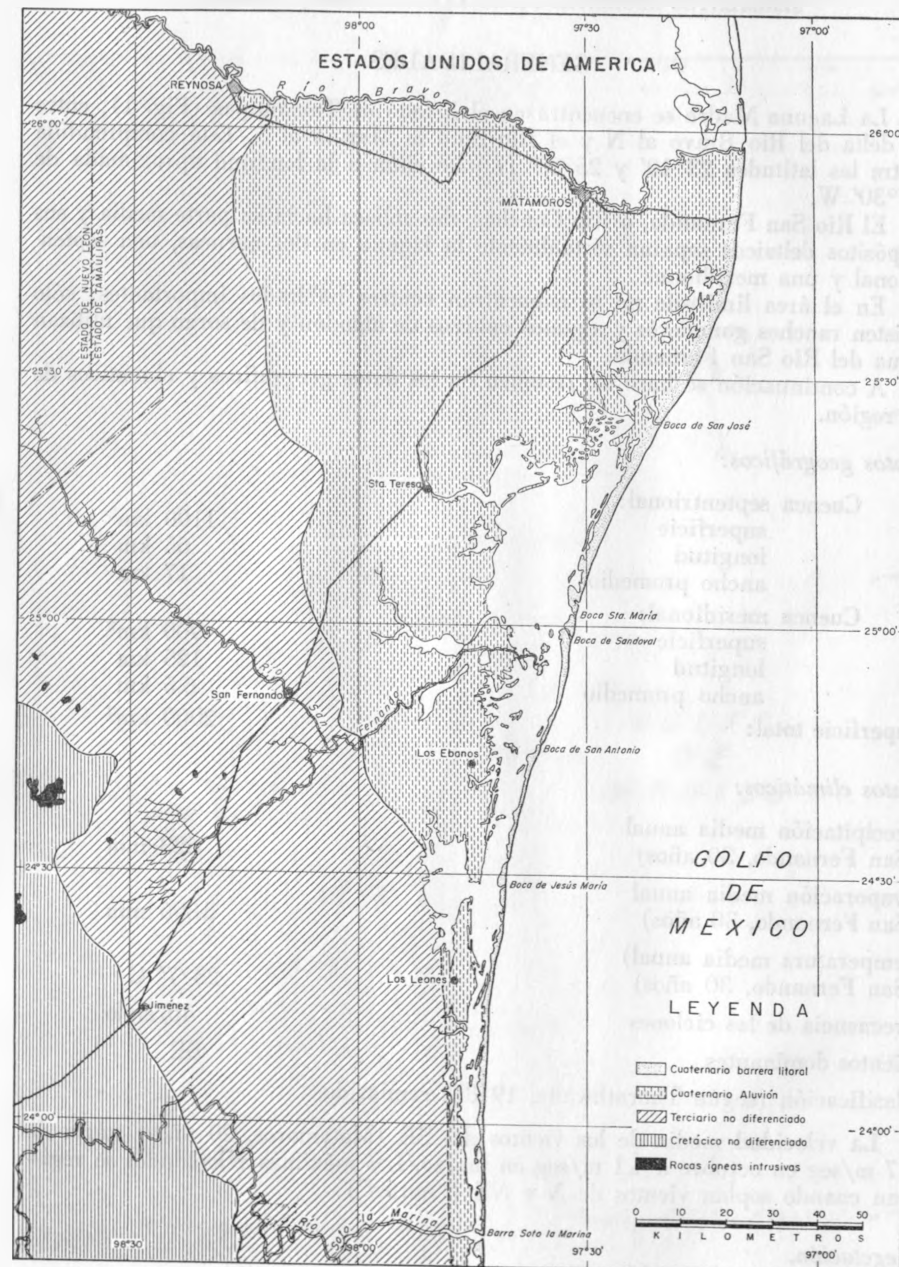


Figura 3. Geología generalizada de la costa septentrional de Tamaulipas (tomada de Benavides, 1956).

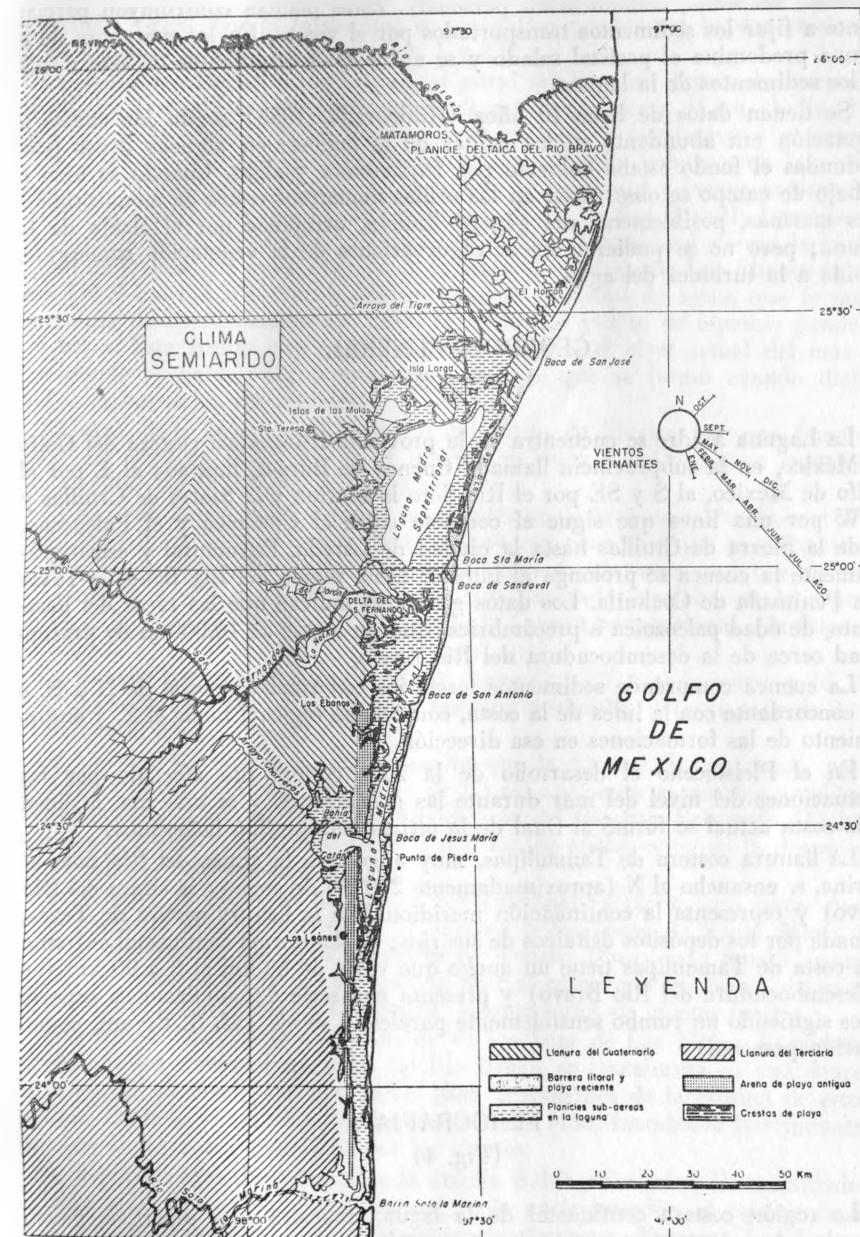


Figura 4. Fisiografía de la costa septentrional de Tamaulipas.

González Medrano, comunicación personal). Estas plantas contribuyen parcialmente a fijar los sedimentos transportados por el viento. En las márgenes de la laguna predomina el pastizal salado y se encuentran fragmentos de este último en los sedimentos de la laguna.

Se tienen datos de hace 10 años (Hildebrand, 1958) según los cuales la vegetación era abundante en las orillas de la laguna: en algunas áreas poco profundas el fondo estaba cubierto por *Diplanthera* y algas. Cuando se hizo el trabajo de campo se observaron en las orillas numerosos restos de monocotiledóneas marinas, posiblemente del género *Zostera*, arrojados por el oleaje de la laguna; pero no se pudieron hacer observaciones de la vegetación sumergida, debido a la turbidez del agua.

GEOLOGIA GENERAL

(Fig. 3)

La Laguna Madre se encuentra en la provincia fisiográfica costera del Golfo de México, en la subprovincia llamada Cuenca de Burgos, limitada al E por el Golfo de México, al S y SE por el Río Soto la Marina y la Sierra de Cruillas y al W por una línea que sigue el contacto entre el Cretácico y el Paleoceno, desde la Sierra de Cruillas hasta la ciudad de Laredo. Estructural y estratigráficamente la cuenca se prolonga al interior hasta región del Big Bend de Texas y la Península de Coahuila. Los datos geofísicos indican que las rocas del basamento, de edad paleozoica o precámbrica, quedan a más de 10,000 m de profundidad cerca de la desembocadura del Río Bravo.

La cuenca comprende sedimentos terciarios con rumbo general de N a S, o sea concordante con la línea de la costa, con echado regional hacia el E, y engrosamiento de las formaciones en esa dirección.

En el Pleistoceno el desarrollo de la zona costera fue afectado por las fluctuaciones del nivel del mar durante las glaciaciones, y se cree que la línea de la costa actual se formó al final de la última transgresión holocénica.

La llanura costera de Tamaulipas, muy angosta a la altura del Río Soto la Marina, se ensancha al N (aproximadamente 270 km de ancho a la altura del Río Bravo) y representa la continuación meridional de la llanura costera de Texas, formada por los depósitos deltaicos de sus ríos; la plataforma continental enfrente a la costa de Tamaulipas tiene un ancho que varía de 50 km al S a 90 km (en la desembocadura del Río Bravo) y presenta una serie de ondulaciones superficiales siguiendo un rumbo sensiblemente paralelo a su eje (W. R. Bryant, comunicación personal).

FISIOGRAFIA

(Fig. 4)

La región costera continental de la laguna muestra una superficie plana, alterada solamente por pequeños altos topográficos, algunos de los cuales posiblemente correspondan a lo que Price y Kornicker (1961) denominaron "dunas

de arcilla". Otros, por la forma que se presentan, pueden ser bordes erosionados de antiguas lagunas (Lám. 1, figs. 1 y 2).

La orilla continental de la laguna, al norte del Río San Fernando, presenta acantilados irregulares casi verticales de 2 a 8 m de altura (Lám. 2, fig. 1), resultado de la erosión de los aluviones del río por el destructivo y constante oleaje, generado por los vientos dominantes del SE. Sin embargo, en la proximidad de El Mezquite, el borde de la laguna es más bajo y menos escarpado; el material aflorante es una limolita compacta (Lám. 3, figs. 1 y 2). Los esteros interiores de Santa Teresa, La Loma y otros de menor magnitud alteran la continuidad de la línea de costa interior. A lo largo de ésta, desde Los Ebanos hasta unos 4 ó 5 km del Río Soto la Marina existen depósitos de arena que forman una franja de aproximadamente 1,000 m de ancho y 2 m de espesor, paralela a la costa. Esta franja está unos 5 m más alta que el nivel actual del mar y corresponde probablemente a una playa antigua que se formó cuando dicho nivel se mantuvo en esa posición.

El vaso de la laguna está separado del Golfo de México por una barrera litoral. La costa de barlovento de la barrera es recta y uniforme, en contraste con la orilla continental que es irregular.

El Río San Fernando desemboca en el interior de la laguna, donde ha construido un delta en forma de pata de gallo. Las pequeñas islas que se encuentran frente a su desembocadura actual son remanentes de aluviones antiguos de este río (Lám. 4, figs. 1 y 2). Esos depósitos han rellenado parcialmente la depresión de la laguna, separándola en dos partes, la Cuenca Septentrional y la Cuenca Meridional.

La Cuenca Septentrional es de mayor dimensión (20 km de ancho y 55 de largo, aproximadamente) y presenta la máxima profundidad (poco más de 3 m en relación al nivel del mar).

La Cuenca Meridional es menos ancha que la Cuenca Septentrional, pero más larga y menos profunda (alrededor de 1.3 m); presenta su máxima amplitud inmediatamente al sur de los depósitos deltaicos del Río San Fernando (17 km aproximadamente) y disminuye hasta 2 ó 3 km de ancho cerca de la desembocadura del Río Soto la Marina.

En general, el fondo de la Cuenca Septentrional es plano, con suave pendiente hacia su parte media (Fig. 5). Frente a las bocas de Santa María y Sandoval se observan abanicos interiores de deslave ("washover fans"), resultado del depósito de arena por el agua de mar al entrar por las bocas, especialmente durante los períodos de alta marea, acompañados de vientos fuertes.

Al norte de Isla Larga y al noroeste de las Islas de Las Mulas, la cuenca, limitada por los aluviones recientes del Río Bravo, se transforma en una depresión irregular, caracterizada por varias islas, remanentes de la erosión de estos depósitos. Entre las islas se extienden llanuras de lodo, inundadas intermitentemente por las mareas provocadas por los vientos.

En la Cuenca Meridional se abre la amplia Bahía del Catán; los acantilados en ambos lados de su abertura muestran, en la parte superior, el espesor de la franja de arena de playa depositada sobre los aluviones. Frente a Los Leones (Fig. 4), las antiguas bermas, cubiertas por vegetación, forman un saliente en la orilla continental de la laguna.

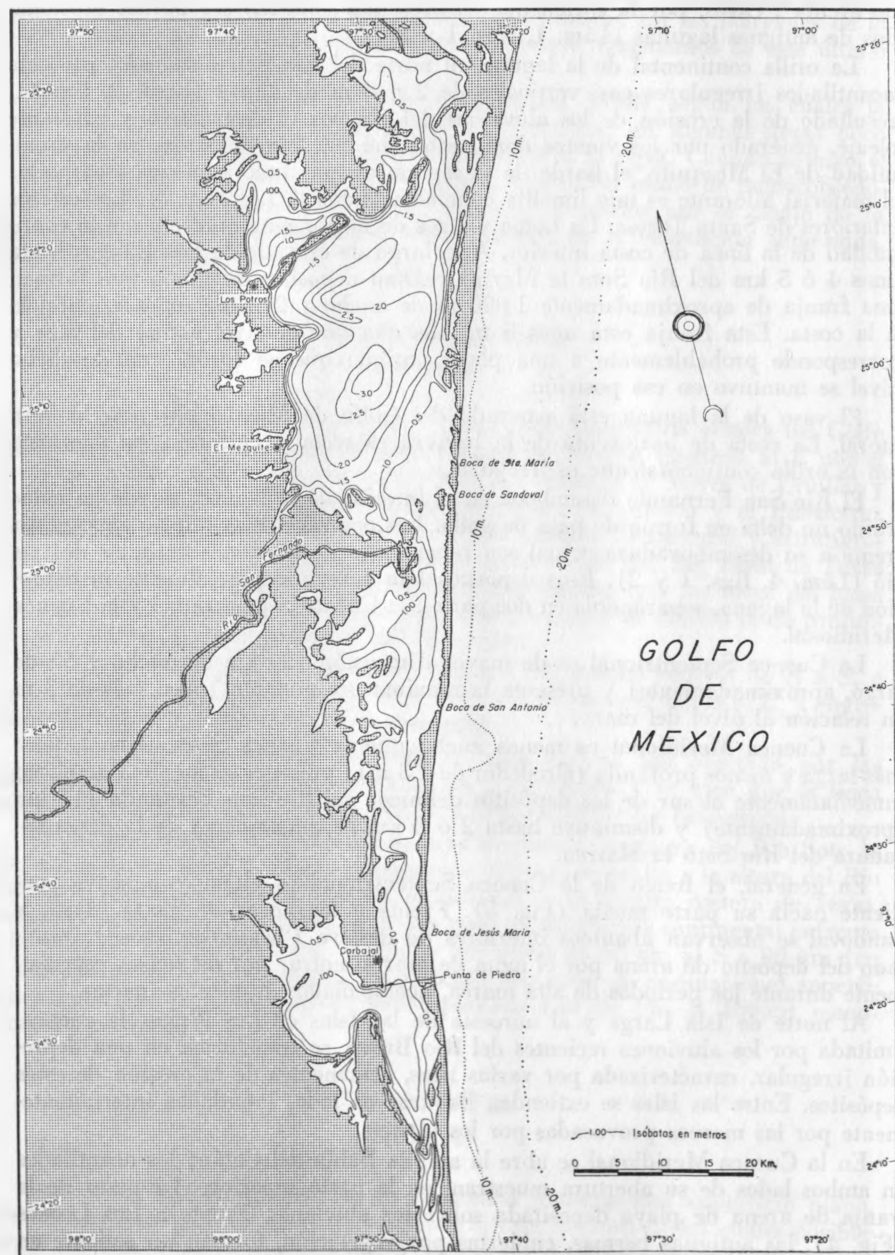


Figura 5. Batimetría de la Laguna Madre en los meses de abril y mayo de 1963.

La Bahía del Catán ocupa una depresión semicircular, excavada en sedimentos probablemente pleistocénicos y presenta una profundidad máxima de 1.35 m en su parte central. En la entrada de esta bahía existen afloramientos de roca de playa ("beach rock") en ambos márgenes (Lám. 5, fig. 1). El afloramiento de la margen norte forma un promontorio de aproximadamente 200 m de largo con un ancho máximo de 11 m y se encuentra a 1.5 m sobre el nivel actual del mar. Presenta capas con espesores de 30 a 50 cm, con echados de 30° a 40° hacia la costa.

Hacia el S, al acercarse a la desembocadura del Río Soto la Marina, la depresión de la laguna está cubierta con sedimentos limo-arcillosos acarreados por las avenidas de este río, formándose amplias llanuras subaéreas de lodo.

La barrera litoral actual se presenta uniforme desde la desembocadura del Río Bravo hasta las bocas de Santa María y Sandoval y se conoce actualmente como Isla de San José; tiene una anchura media de 2,500 m. Hacia el interior de la laguna la barrera está compuesta por una secuencia de dunas antiguas de 10 a 12 m de altura, estabilizadas y cubiertas por vegetación, con fuerte pendiente hacia la laguna. A continuación de éstas, hacia el lado del mar abierto, la barrera presenta una zona de dunas activas aproximadamente de 600 m de ancho y de 2 a 8 m de altura. Entre estas dunas y la playa, se ha desarrollado una llanura de 100 a 200 m de ancho, donde el transporte eólico es muy importante (Lám. 5, fig. 2).

Al sur de las bocas de Santa María y Sandoval la barrera litoral es más estrecha, con un ancho medio de 800 m y una altura máxima de 8 m; la vegetación que se ha desarrollado en las partes altas de las dunas no es tan abundante como en la barrera septentrional. La franja de dunas activas varía de 100 a 250 m de ancho y no existe, como al norte, una llanura entre la playa y las dunas. La playa es estrecha y tiene una pendiente de más de 5% (Lám. 2, fig. 2); en su parte superior se encuentran bermas de tormenta con acumulación de material grueso.

En las bocas de San Antonio y Jesús María, los abanicos interiores de deslave están bien desarrollados, de tal modo que ya no permiten la circulación de agua del mar hacia el interior de la laguna.

HIDROGRAFIA

La Laguna Madre comprende dos extensiones de agua aisladas que cubren aproximadamente la cuarta parte de su superficie original (Fig. 4). En los últimos años se ha estado secando y su nivel, prácticamente igual al nivel del mar en 1962, queda en la actualidad (1965) aproximadamente un metro más bajo.

Aunque la salinidad de las aguas de la laguna está sujeta a fuertes variaciones, debidas a las precipitaciones anuales, se ha notado que aumenta en forma directamente proporcional al proceso de desecación. Los datos de salinidad indicaban valores promedios alrededor de 75 por millar en 1962 y de 115 por millar en 1963 (Fig. 6). Sin embargo, al disminuir el volumen del agua, aumenta al mismo tiempo la importancia relativa de las aportaciones de agua dulce, y se cree que, con el tiempo, se llegará a un estado de equilibrio con una salinidad relativamente estables. Actualmente se nota que la concentración de las sales se

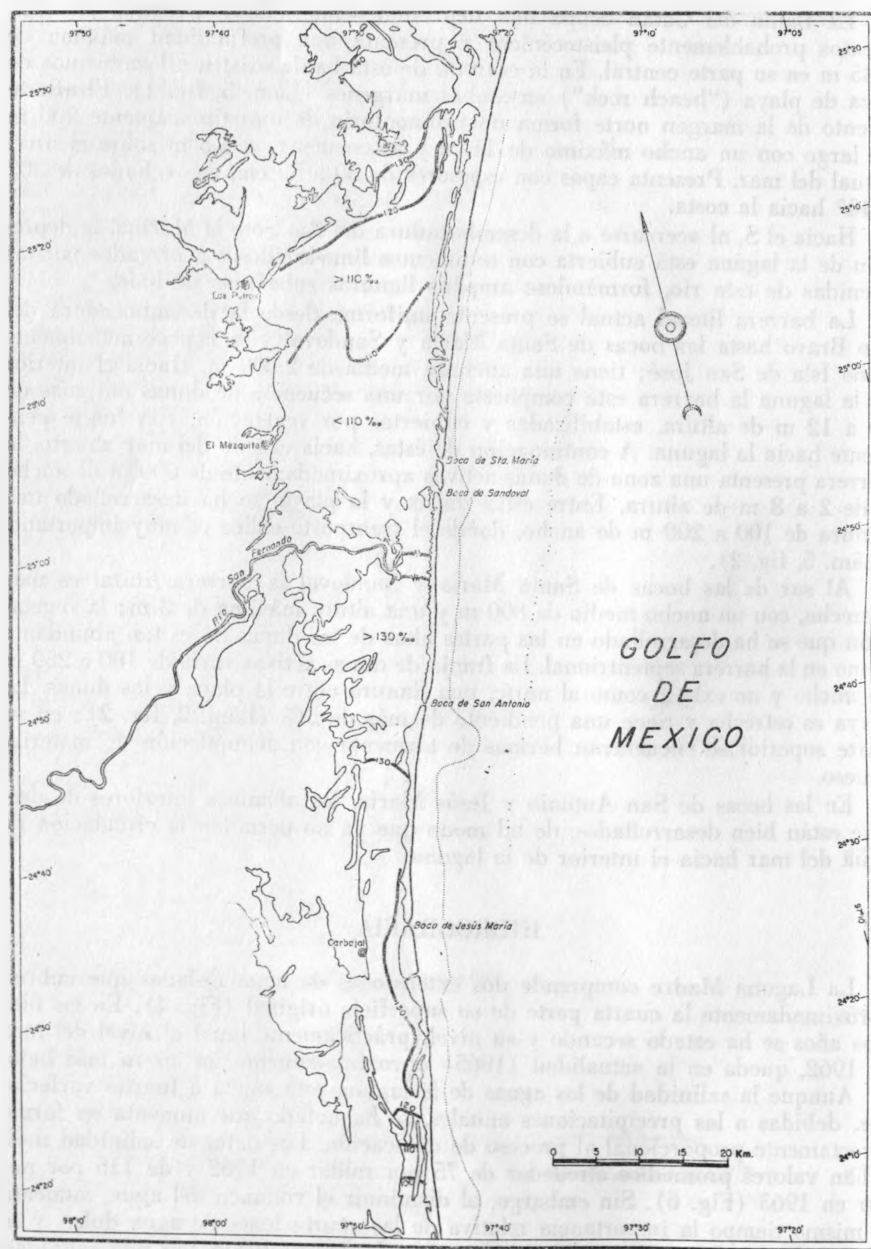


Figura 6. Distribución de la salinidad en los meses de abril y mayo de 1963.

está aproximando al valor crítico para la precipitación del sulfato de calcio. En ocasiones este valor se ha superado, pudiéndose encontrar, en las llanuras marginales de la Cuenca Meridional, costras constituidas por cristales de yeso (Lám. 6, figs. 1 y 2); en algunos lugares se ha alcanzado la concentración necesaria para la precipitación del cloruro sodio. Al N de Isla Larga, en la Cuenca Septentrional, existen salinas naturales, cuyas sales se disuelven parcialmente durante la época de lluvias.

La principal característica climática del área es que la evaporación predomina sobre la precipitación. Las aportaciones de agua a la laguna son insuficientes para compensar la fuerte evaporación; en la actualidad consisten de: la escasa precipitación, las aguas continentales llevadas por escurrimientos de tipo torrencial, no integrado, que drenan la costa, las aguas de infiltración provenientes de las cuencas de los ríos Bravo, San Fernando y Soto la Marina y de las áreas de riego de los primeros. Las aguas de los principales ríos, en particular las del San Fernando, son aprovechadas por los agricultores locales en pequeñas presas de irrigación y no llegan a la laguna.

La barrera muestra evidencias de que, en una época reciente, estuvieron abiertas varias bocas de acceso a la laguna (Fig. 4). En 1962 estaban abiertas, a consecuencia del ciclón Carla, las dos Bocas de Sandoval y la Boca de Jesús María; en 1963 sólo la Boca de Jesús María y, con intermitencia, la Boca Meridional de Sandoval. Actualmente (1965), no hay comunicación entre la laguna y el mar o es prácticamente nula.

La tendencia de las bocas a cerrarse se debe al azolve y a la poca velocidad de las corrientes de flujo y reflujo (corrientes de marea) en las bocas; éstas fueron insuficientes para transportar el material acumulado hacia el mar por el transporte litoral. Se tienen en efecto, amplitudes de marea muy pequeñas en la costa de Tamaulipas, según datos del Puerto de Tampico para 1964 (media: 0.35, máxima: 1.60 m). Sin embargo, se forman mareas de viento más altas al apilarse las aguas hacia la costa. Se ha observado que la orientación general de las bocas es aproximadamente de 340° , concordante con los vientos dominantes, que evidentemente, tendían a establecer una circulación en esta dirección hacia el interior de la laguna, cuando las bocas estaban abiertas. En años recientes, algunas de ellas se han abierto bajo la acción de huracanes que han provocado pleamares hasta de 5 m (Le Blanc y Hodgson, 1959).

Actualmente, el régimen de la laguna es el de una cuenca cerrada, donde la circulación depende de la dirección e intensidad de los vientos; éstos provocan elevaciones del nivel del agua en la costa NW, que es la más afectada por el oleaje, por ser dominantes los vientos del SE. En el norte de la laguna los vientos empujan las aguas sobre las llanuras marginales, originando las salinas ya mencionadas. Los vientos soplan normalmente durante todo el día, causando una constante turbidez de las aguas.

SEDIMENTOS

Al estudiarse la parte inorgánica de los sedimentos, se utilizaron varios criterios con el fin de llegar a una separación en grupos con características bien definidas, dentro de las múltiples facies presentes en un ambiente transicional, como lo es el de esta laguna costera.

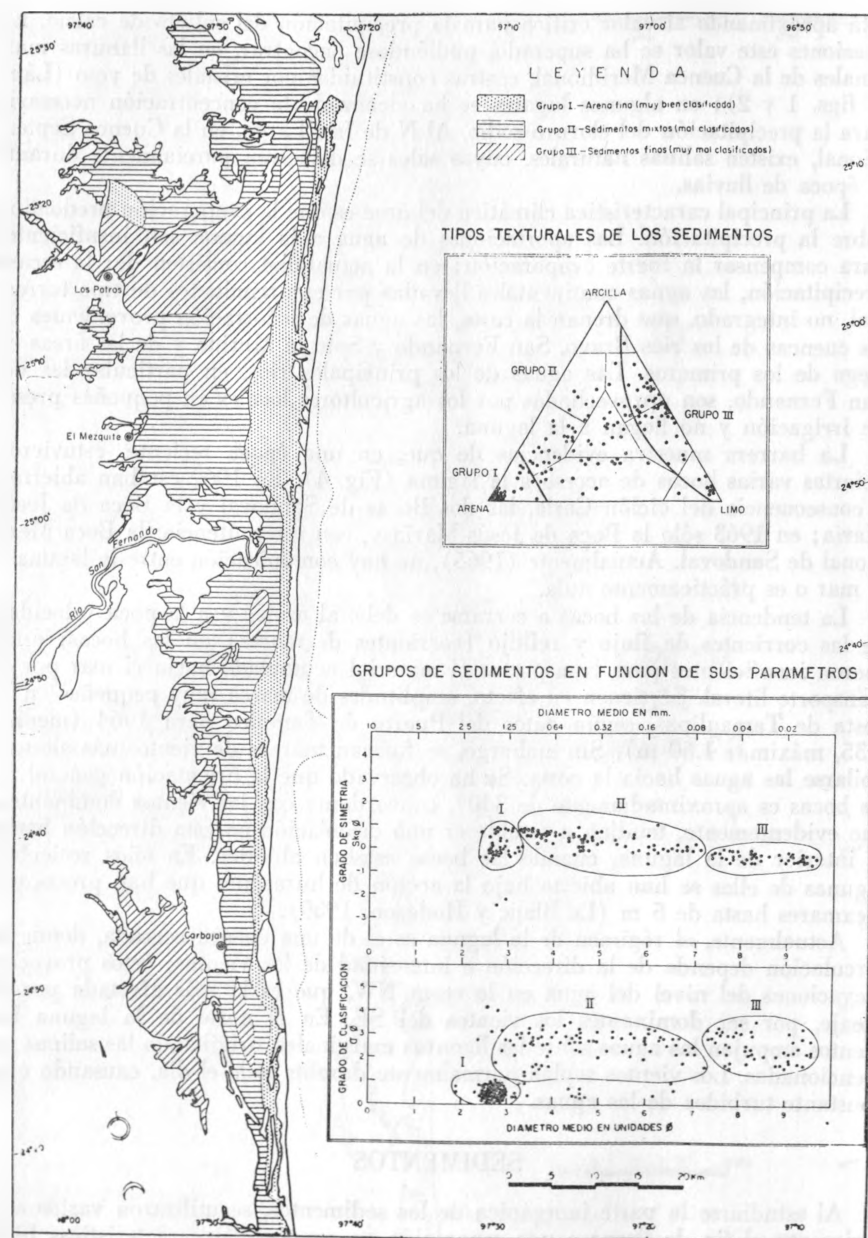


Figura 7. Tipos texturales de sedimentos y su distribución.

Los criterios seguidos fueron: la granulometría y la relación entre los principales parámetros granulométricos, el análisis de los constituyentes de la fracción gruesa (mayor que 0.062 mm), el estudio de los minerales pesados (Schlaepfer, 1968) y el análisis de las estructuras internas de los sedimentos.

Granulometría

De acuerdo con la granulometría y tomando en cuenta la posición de las muestras analizadas, tanto en el diagrama propuesto por Shepard (1954), como en el propuesto por Inman y Chamberlain (1955), se han delimitado tres grupos distintos de sedimentos.

En la figura 7 se puede observar en el diagrama correspondiente la relación entre los parámetros granulométricos y los grupos de sedimentos establecidos; además, la delimitación de estos mismos en el diagrama triangular "areno-limo-arcilla"; por último, su distribución geográfica en la laguna.

Conviene aclarar, basándose únicamente en la relación entre los principales parámetros granulométricos, que las arenas del primer grupo corresponden a una asociación característica bien definida, sobre todo, por el diámetro medio y el grado de clasificación (grupo I). Por el contrario, la separación entre el grupo II y III es poco significativa si se toman en cuenta estos mismos parámetros; sin embargo, el grado de simetría es mejor en el grupo de los finos (III), lo cual era de esperarse, ya que los sedimentos mixtos (II) se caracterizan por la variabilidad, tanto del grado de simetría como del grado de clasificación.

El primer grupo (I) consiste principalmente de arena fina muy bien clasificada, ($\sigma < 0.35 \phi$), resultado de la selección del tamaño de los granos durante el transporte por las corrientes y el oleaje hasta la costa, deslavada por el agua del mar al entrar a la laguna (sobre todo durante periodos de alta marea y/o bajo la acción de fuertes vientos o ciclones), o transportada por el viento desde la barrera hacia el interior.

La distribución geográfica de este grupo de sedimentos está, por lo tanto, restringida a una franja sensiblemente paralela a la barrera litoral y situada detrás de ella (Fig. 7). Su extensión dentro de la laguna refleja el alcance del transporte eólico y la distancia a la que han sido distribuidas las arenas por las corrientes inducidas por las mareas a través de las bocas. En consecuencia, la mayor extensión de este grupo de sedimentos dentro de la laguna se localiza donde ha existido una mayor y más prolongada entrada del agua del mar, por ejemplo, frente a las bocas de Santa María y Sandoval. En las primeras, la arena desplazada hacia el interior se ha venido mezclando progresivamente con clásticos finos aportados principalmente por el Río San Fernando.

El segundo grupo (II) corresponde a sedimentos mixtos limo-arcillosos mal clasificados (σ entre 1 y 2 ϕ). Este grupo de sedimentos forma los depósitos más importantes de la laguna, los que se extienden paralelamente a la orilla continental y su proceso de depósito parece haber estado directamente influido tanto por el drenaje superficial, como por la erosión de la costa. En la extremidad septentrional del área, este grupo se deriva directamente de los aluviones deltaicos del Río Bravo.

En la zona central, este grupo de sedimentos proviene de la erosión de la limolita que aflora en esa parte de la costa, bajo la acción de las olas producidas

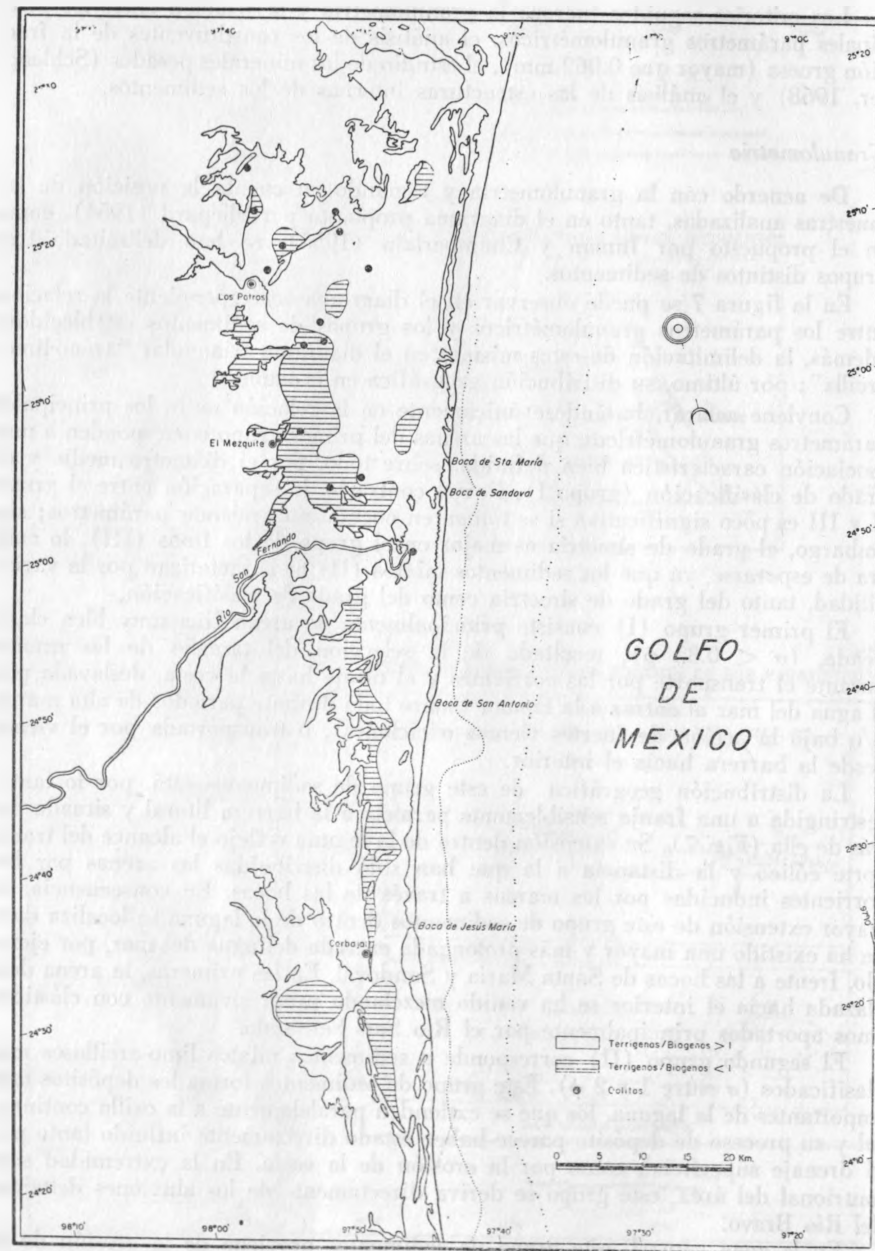


Figura 8. Distribución de los componentes de la fracción arenosa.

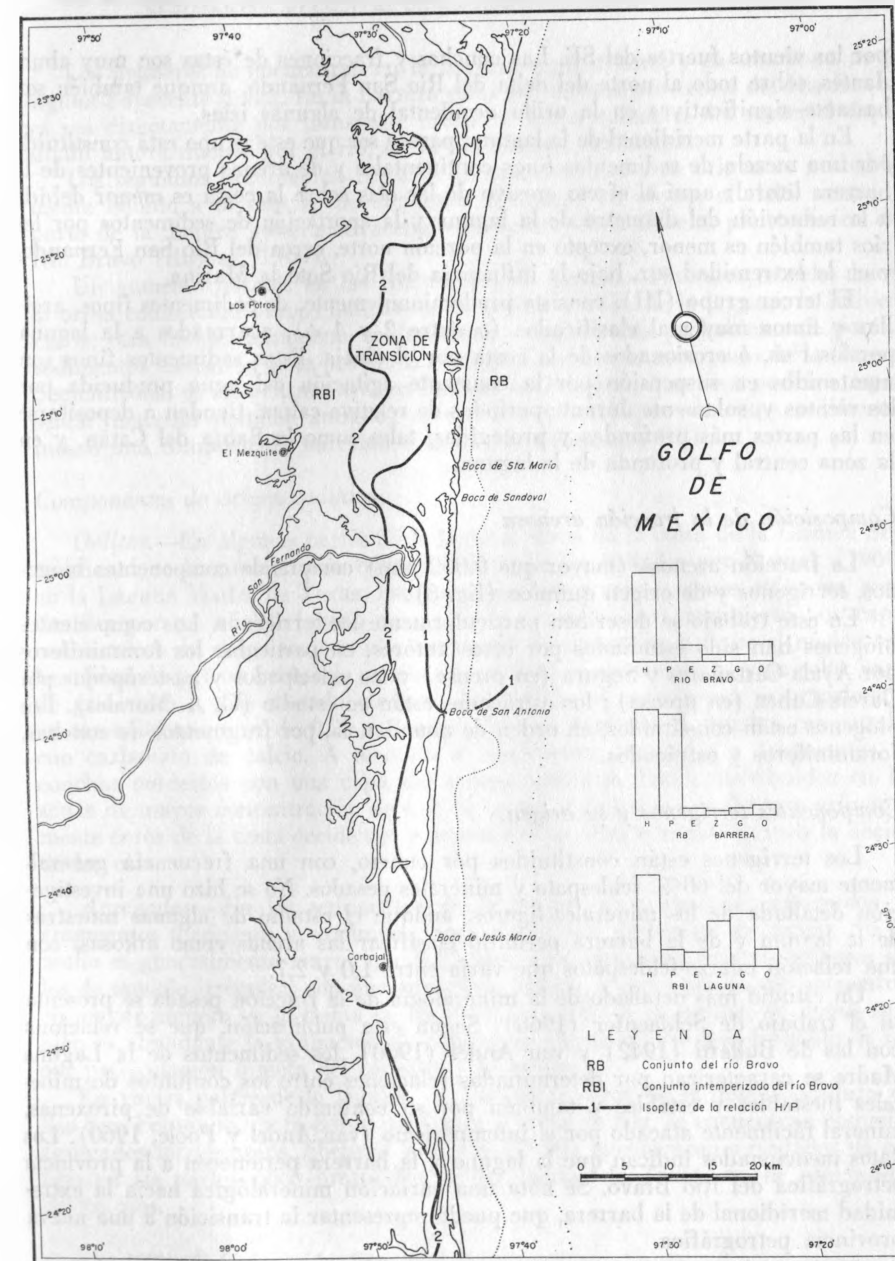


Figura 9. Distribución de los grupos Río Bravo (RB) y Río Bravo Intemperizado (RBI) basada en la razón hornblendas/piroxenas (H/P) (tomada de Schlaepfer, 1968).

por los vientos fuertes del SE. Las conchas y fracciones de éstas son muy abundantes, sobre todo al norte del delta del Río San Fernando, aunque también son bastante significativas en la orilla occidental de algunas islas.

En la parte meridional de la laguna, parece ser que este grupo está constituido por una mezcla de sedimentos finos continentales y de arenas provenientes de la barrera litoral; aquí el efecto erosivo de las olas sobre la costa es menor debido a la reducción del diámetro de la laguna y la aportación de sedimentos por los ríos también es menor, excepto en la porción norte, cerca del Río San Fernando, y en la extremidad sur, bajo la influencia del Río Soto la Marina.

El tercer grupo (III), consiste predominantemente, de sedimentos finos, arcillas y limos muy mal clasificados (σ entre 2 y 4 ϕ), acarreados a la laguna por los ríos, o erosionados de la costa por el oleaje. Estos sedimentos finos son mantenidos en suspensión por la constante agitación del agua producida por los vientos y, solamente durante períodos de relativa calma, tienden a depositarse en las partes más profundas y protegidas, tales como la Bahía del Catán, y en la zona central y profunda de la laguna.

Composición de la fracción arenosa

La fracción arenosa (mayor que 0.062 mm) comprende componentes biógenos, terrígenos y de origen químico (fig. 8).

En este trabajo se describen particularmente los terrígenos. Los componentes biógenos han sido estudiados por otros autores, en particular los foraminíferos por Ayala-Castañares y Segura (en prensa) y los pecípodos y gasterópodos por García-Cubas (en prensa); los ostrácodos están en estudio (G. A. Morales). Los biógenos están constituidos, en orden de abundancia, por fragmentos de conchas, foraminíferos y ostrácodos.

Componentes terrígenos y su origen.

Los terrígenos están constituidos por cuarzo, con una frecuencia generalmente mayor del 60%, feldespato y minerales pesados. No se hizo una investigación detallada de los minerales ligeros, aunque el estudio de algunas muestras de la laguna y de la barrera permitió clasificar las arenas como arkosas, con una relación cuarzo-feldespatos que varía entre 1,0 y 2,7.

Un estudio más detallado de la mineralogía de la fracción pesada se presenta en el trabajo de Schlaepfer (1968). Según esta publicación, que se relaciona con las de Bullard (1942) y van Andel (1960), los sedimentos de la Laguna Madre se caracterizan por determinadas relaciones entre los conjuntos de minerales inestables y estables y también por su contenido variable de piroxenas, mineral fácilmente atacado por el intemperismo (van Andel y Poole, 1960). Los datos mencionados indican que la laguna y la barrera pertenecen a la provincia petrográfica del Río Bravo. Se nota una variación mineralógica hacia la extremidad meridional de la barrera, que puede representar la transición a una nueva provincia petrográfica.

A su vez, la razón hornblendas/piroxenas (Fig. 9) establece una distinción entre los sedimentos que provienen del depósito reciente del Río Bravo (RB) y los que estuvieron expuestos al intemperismo (RBI) (van Andel y Poole, 1960).

Los primeros se encuentran en la barrera septentrional y en una zona de la laguna adyacente a ella. En la barrera estos sedimentos provienen del Río Bravo, ya sea directamente por transporte litoral o, indirectamente, del material depositado anteriormente por el río, en la plataforma continental.

Los segundos predominan cerca de la costa interior y su origen es probablemente debido a la erosión de aluviones antiguos; en efecto, el delta actual y parte de la llanura costera adyacente descansan sobre el delta pleistocénico del Río Bravo (Rusnak, 1960).

Un aumento notable en las frecuencias de algunos minerales estables hacia la orilla continental parece indicar, en la sedimentación de la laguna, la influencia de otra fuente, puramente sedimentaria, representada probablemente por los sedimentos terciarios de la provincia costera. En el borde escarpado de la Cuenca Septentrional se encuentran arcillas limosas café rojizas, que bien podrían representar material deltáico antiguo; el estudio mineralógico de estos sedimentos indicó una composición parecida a la de los sedimentos RBI.

Componentes de origen químico.

Oolitos.—En algunas partes de la laguna, cerca de la costa de la Cuenca Septentrional, se han encontrado oolitos similares a los hallados por Rusnak (1960) en la Laguna Madre de Texas. Estos son partículas más o menos esféricas, constituidas por un núcleo (grano de cuarzo o foraminífero) recubierto por capas concéntricas de aragonita con alto contenido de estroncio; a veces el núcleo estáemplazado por un cristal de calcita. Su aspecto es aporcelanado y su color varía de gris claro a gris morado oscuro. Los oolitos se encuentran principalmente en tamaños que van de 0.25 a 1 mm; forman también agregados cementados con carbonato de calcio. A menudo se encuentran asociados a fragmentos de conchas cubiertos con una capa del mismo material. Están distribuidos en las zonas de mayor concentración de CaCO_3 en los sedimentos; se forman principalmente cerca de la costa occidental y noroccidental, donde es más grande la acción de las olas.

Agregados.—En los sedimentos de la laguna se encuentran agregados de fragmentos terrígenos y orgánicos, cementados por carbonato de calcio. Su tamaño es generalmente mayor que 0.25 mm. Los agregados más abundantes son los de tamaño irregular, con una superficie blanca, a veces pulida. Se encuentran en mayor número en la Bahía de los Potros, al NW de la laguna, en donde también es abundante la formación de oolitos; se estima que se han formado *in situ* por precipitación directa del carbonato de calcio.

En varias partes de la laguna, en particular cerca de la desembocadura del Río San Fernando, en la Bahía del Catán y cerca de ella, se encuentran pequeños agregados ferruginosos. Shepard y Moore (1960) encontraron agregados de este tipo en las partes poco profundas de las bahías de Texas, en la proximidad de los ríos.

Composición de la fracción fina.

Esta fracción no se estudió con detalle, pues sólo se determinó en algunas de ellas el contenido de carbonatos. Los análisis se efectuaron por medición gaso-

métrica de CO_2 en las fracciones menores que 0.062 mm, de 39 muestras de la laguna. Los valores encontrados variaron generalmente entre 20 y 40%. Los valores más altos se encuentran en la proximidad de la costa, en particular donde abundan los agregados y los oolitos (Fig. 8).

Estructura interna de los sedimentos (Fig. 10).

Se estudiaron más de 200 núcleos superficiales, con un diámetro de 3.5 cm y una longitud aproximada de 35 cm. La técnica empleada consistió en cortarlos longitudinalmente en su parte media, describir su estructura y fotografiar su superficie. Se tomaron radiografías de algunos núcleos con un aparato de rayos X del tipo usado en la práctica de la medicina, para estudiar la estructura interna donde no era aparente, empleando el procedimiento descrito en Calvert y Veevers (1962).

En los sedimentos finos predominan las estructuras laminares. Los sedimentos arcillosos de la parte más profunda de la Cuenca Septentrional, de la Bahía del Catán y de la extremidad septentrional de la laguna, frente al Arroyo del Tigre, muestran este tipo de estructura, que se atribuye a la interstratificación de sedimentos arenosos transportados por el viento y de sedimentos finos en suspensión, depositados durante épocas en que las aguas, normalmente turbulentas, estuvieron relativamente tranquilas.

Las estructuras homogéneas se encuentran en extensas zonas de la laguna y en sedimentos de distinto tipo textural; son evidencias de una continuidad en los procesos sedimentarios.

Las estructuras homogéneas arcillosas se identificaron principalmente en los núcleos procedentes de la zona inmediata al sur del delta del Río San Fernando. Estos núcleos reflejan la influencia dominante de los sedimentos finos del río en la formación de los depósitos recientes de esta zona.

La estructura homogénea arenosa predomina en los núcleos obtenidos en los bajos adyacentes a la barrera litoral, donde la arena se acumula por el transporte eólico y por la acción erosiva de las olas en la barrera. Hacia la parte interna más profunda de la laguna se nota un cambio gradual hacia estructuras que muestran una alterna sucesión de horizontes arenosos con material arcilloso, y hacia sedimentos laminares de grano fino.

Las estructuras de aspecto moteado que resultan de la mezcla de conchas y fracciones de éstas con sedimentos limo-arcillosos, cubren una amplia zona desde la desembocadura del Río San Fernando hacia el norte, bordeando la orilla continental. Frente a la boca del Estero de La Loma, esta zona se extiende hacia la parte media de la laguna. Se encuentra también detrás de las Islas de Las Mulas, en algunos núcleos al sur de Isla Larga y en la parte media de la Cuenca Meridional. Este tipo de estructura es característico de zonas de alta productividad orgánica, acompañada por abundante aportación de terrígenos provenientes de la erosión de la costa.

Es de particular interés la frecuente alternancia de capas de sedimentos que contrastan notablemente en tamaño y textura (Fig. 11), como, por ejemplo, sedimentos finos de estructura laminar, asociados con estratos de conchas o sus fragmentos. Estos últimos son más abundantes en las partes medias e inferiores de los núcleos.

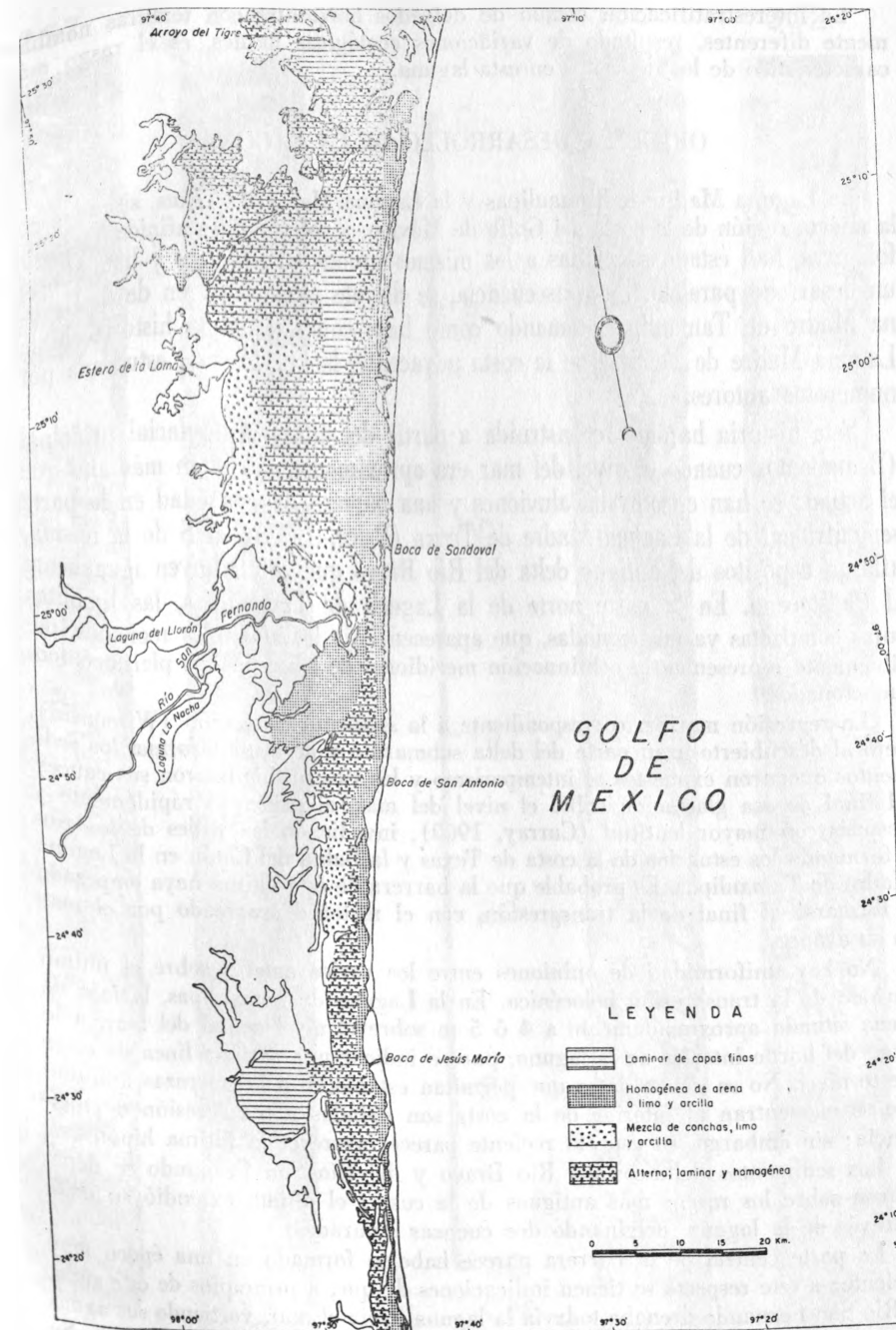


Figura 10. Distribución de las distintas estructuras internas sedimentarias.

La interestratificación común de delgados horizontes con texturas notablemente diferentes, resultado de variaciones ecológicas locales, es el rasgo más característico de los depósitos en esta laguna.

ORIGEN Y DESARROLLO DE LA LAGUNA

La Laguna Madre de Tamaulipas y la Laguna Madre de Texas, situadas en la misma región de la costa del Golfo de México, y con notables afinidades morfológicas, han estado sometidas a los mismos procesos geológicos y han tenido un desarrollo paralelo. En consecuencia, se discute aquí el origen de la Laguna Madre de Tamaulipas, tomando como base comparativa la historia de la Laguna Madre de Texas y de la costa adyacente, la que ha sido estudiada por numerosos autores.

Esta historia ha sido reconstruida a partir del último interglacial principal (Beaumont), cuando el nivel del mar era aproximadamente 8 m más alto que el actual; se han encontrado aluviones y una barrera de esta edad en la parte septentrional de la Laguna Madre de Texas (Price, 1933); al S de la misma, afloran depósitos del antiguo delta del Río Bravo que se atribuyen igualmente al Pleistoceno. En la parte norte de la Laguna de Tamaulipas, las limolitas rojas compactas ya mencionadas, que aparecen bajo los aluviones recientes, posiblemente representen la continuación meridional de los depósitos pleistocénicos mencionados.

La regresión marina, correspondiente a la siguiente glaciación (Wisconsin), dejó al descubierto gran parte del delta submarino y de la plataforma, los sedimentos quedaron expuestos al intemperismo y los ríos profundizaron sus cauces. Al final de esa glaciación subió el nivel del mar, al principio rápidamente y después con mayor lentitud (Curry, 1960), invadiendo los valles de los ríos y formando los estuarios de la costa de Texas y la Bahía del Catán en la Laguna Madre de Tamaulipas. Es probable que la barrera de ésta última haya empezado a formarse al final de la transgresión, con el material acarreado por el mar en su avance.

No hay uniformidad de opiniones entre los varios autores sobre el último período de la transgresión holocénica. En la Laguna de Tamaulipas, la faja de arena situada aproximadamente a 4 ó 5 m sobre el nivel actual del mar, a lo largo del borde interior de la laguna, parece indicar una antigua línea de costa a este nivel. No se tienen datos que permitan establecer si las terrazas antiguas que se encuentran al interior de la costa son debidas a transgresión o emergencia; sin embargo, su aspecto reciente parece favorecer la última hipótesis.

Los sedimentos deltáicos del Río Bravo y del Río San Fernando se depositaron sobre los rasgos más antiguos de la costa; el último extendió su delta a través de la laguna, originando dos cuencas separadas.

La parte central de la barrera parece haberse formado en una época muy reciente; a este respecto se tienen indicaciones de que, a principios de este siglo, el Río San Fernando drenaba todavía la laguna hacia el mar, vertiendo sus aguas por encima de una barra sumergida (U. S. Hydrographic Office, 1902). Se constata así que el cierre de la laguna se ha realizado prácticamente en los

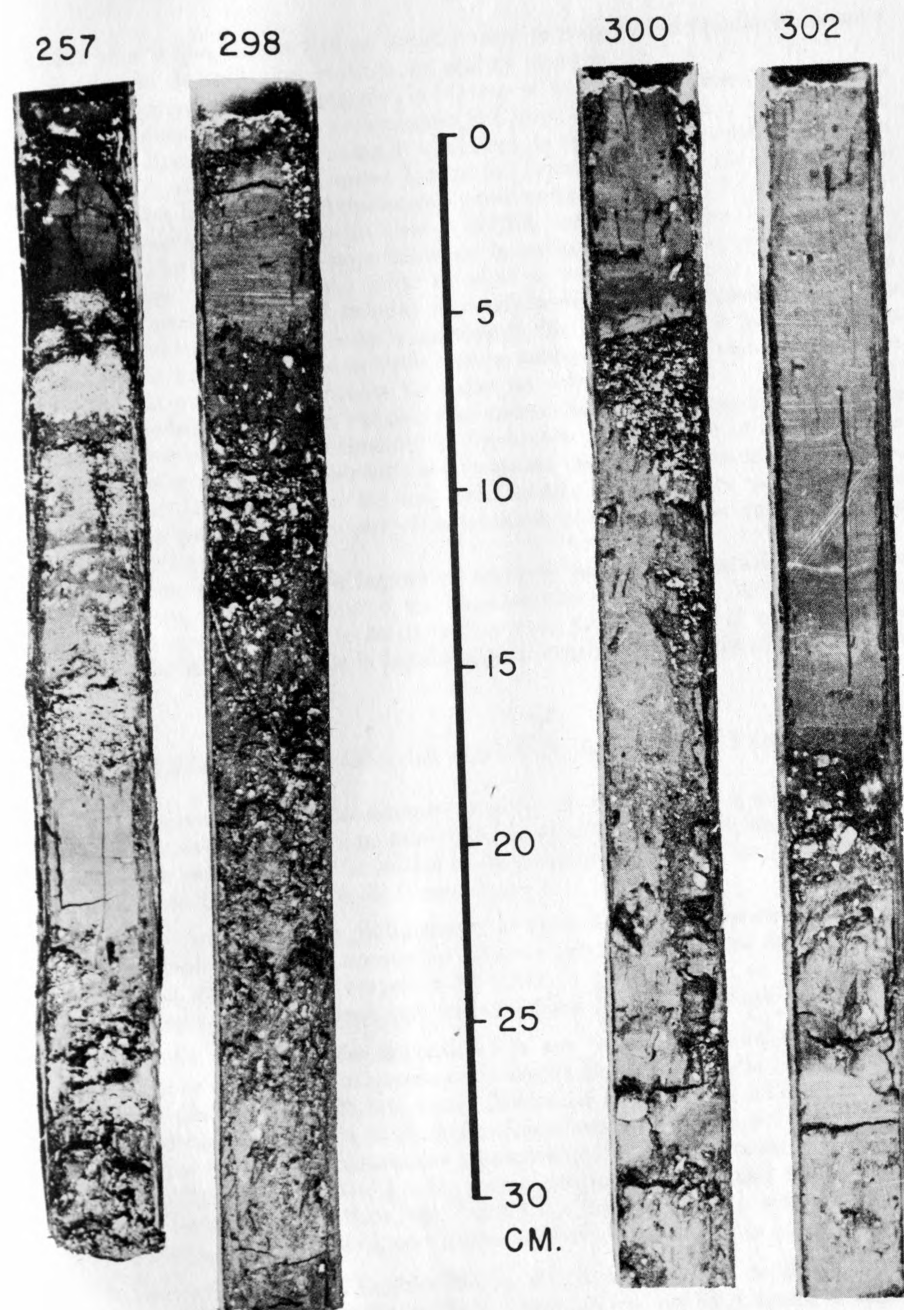


Fig. 11 Secciones de núcleos con estructura mixta.

últimos años y que, en un tiempo todavía muy reciente, se efectuaba libremente la circulación de las aguas marinas en ambas cuencas.

Desde el inicio de su formación, la laguna se ha estado rellinando con abundantes aluviones, sedimentos provenientes del mar, de la barrera y de la erosión continental. Rusnak (1960) estima la velocidad de sedimentación media en 12 cm por cada 100 años para la Laguna Madre de Texas, basándose en el espesor de los sedimentos holocénicos. Actualmente predomina el depósito de arenas transportadas desde la barrera por los vientos del SE. La precipitación de sales no ha sido, hasta ahora, un factor importante en la sedimentación, excepto en algunas áreas aisladas, donde la mayor parte de ellas se vuelve a disolver. Aun cuando existen fluctuaciones fuertes debidas a precipitaciones, la tendencia general es hacia un aumento progresivo de la salinidad. Sin embargo, por lo mencionado al discutir la hidrografía, no se cree que la salinidad alcance valores tales que provoquen la precipitación masiva de todas las sales disueltas.

Suponiendo que hubieran existido con anterioridad las mismas características climáticas que se tienen actualmente, la desecación acelerada de la laguna en los últimos años se debe principalmente a un cambio en las condiciones hidrológicas, causado por la disminución de las aportaciones continentales por obras de irrigación, y principalmente, por el aislamiento completo de la cuenca, debido al azolve de las bocas.

No se cree posible que la laguna se regenere por medios naturales, a no ser por un nuevo avance del mar o un hundimiento de la costa. Aún cuando un ciclón abriera temporalmente las bocas, es más probable que el agua tienda a estancarse en la depresión de la laguna que a restablecer una circulación normal con el mar.

COMPARACION CON LA LAGUNA MADRE DE TEXAS

Las observaciones hechas durante el curso de este estudio y en trabajos anteriores por otros autores, han mostrado las analogías que existen entre ambas lagunas. En esta comparación se tratan de poner en evidencia las características propias de la Laguna Madre de Tamaulipas:

Clima.—Ambas lagunas pertenecen a la zona semiárida. Sin embargo, según la información disponible, aunque no difieran mucho los valores de la precipitación media, el exceso de evaporación sobre la precipitación es mayor en la Laguna Madre de Tamaulipas que en la Laguna Madre de Texas.

Desarrollo reciente de las lagunas.—Los ríos y, en particular, el Río Bravo, parecen haber tenido más influencia en el desarrollo reciente de la Laguna Madre de Tamaulipas que en el de la Laguna Madre de Texas. Price (1958) encontró depósitos deltáicos antiguos al N de la desembocadura actual del Río Bravo y demostró que éste desplazó su curso y construyó tres deltas secundarios hacia el S en los últimos 4.000 años. En las partes central y meridional de la Laguna Madre de Tamaulipas, los Ríos San Fernando y Soto la Marina, respectivamente, contribuyeron, asimismo, de modo importante al desarrollo de la laguna.

Sedimentación.—En la Laguna Madre de Tamaulipas, los depósitos fluviales tuvieron un papel importante en la sedimentación. En la Laguna Madre de

Texas, exceptuando la extremidad septentrional, no existe influencia de escurrimientos de alguna importancia.

Origen de los sedimentos.—Van Andel y Poole (1960) encontraron en los sedimentos de la Laguna Madre de Texas dos provincias petrográficas distintas y limitaron la provincia del Río Bravo, por medio de su mineralogía, aproximadamente a 130 km al N del mismo. En la Laguna Madre de Tamaulipas, no se ha encontrado un límite definido a esta provincia, sus sedimentos se extienden más al S del límite fisiográfico del delta y modifican sus características gradualmente hacia la extremidad meridional de la laguna.

CONCLUSIONES

Durante los tres años en que se ha estado estudiando la Laguna Madre, se ha visto que la salinidad del agua ha aumentado aproximadamente al doble, alcanzando en algunas zonas concentraciones de más de 140 partes por millar.

Al mismo tiempo, el rápido desarrollo de la barrera litoral ha dado lugar a un completo aislamiento de las aguas interiores, lo que ha propiciado la transformación de la albufera en una depresión en proceso de relleno.

Los principales factores que han causado el asolve de la laguna han sido: a) el acarreo de los sedimentos terrígenos por las avenidas de los ríos y demás escurrimientos menores; b) la acción eólica sobre los materiales de la barrera litoral; c) las corrientes marinas que penetraron por los antiguos entrantes, depositando su carga en la laguna; d) la erosión de los espesos aluviones de la orilla continental por el oleaje; y e) La gran productividad orgánica que existió durante el pasado, demostrada por la abundancia de componentes biógenos que contribuyen en gran parte al volumen total de los sedimentos, sobre todo a cierta profundidad. Es muy común encontrar una alternación de estratos, con material y textura diferentes, lo que indica que las condiciones de depósito variaron frecuentemente en el pasado. De manera semejante, Rusnak (1960) encontró, como el rasgo más característico de los sedimentos de la Laguna Madre de Texas, pequeños cambios abruptos de facies, laterales y verticales; sin embargo, tres grupos de sedimentos con características bastante bien definidas por su textura, composición y mineralogía, parecen ser las unidades litológicas más notables en este ambiente de depósito transicional:

Grupo I, arena fina muy bien clasificada que muestra estructura homogénea y corresponde mineralógicamente al conjunto Río Bravo. Este grupo forma la barrera litoral y se extiende en una franja sensiblemente paralela detrás de ella.

Grupo II, compuesto de sedimentos limo-arcillosos mal clasificados, con abundantes constituyentes biógenos, que dan lugar a estructuras de aspecto moteado; en él predomina el conjunto Río Bravo intemperizado. Este grupo se extiende paralelamente a la orilla continental de la laguna.

Grupo III, compuesto predominante de arcillas muy pobremente clasificadas, que muestran estructuras con frecuente alternación de capas de sedimentos finos con estratos de conchas y fracciones de éstas; su mineralogía corresponde a la "zona de transición" entre los conjuntos Río Bravo y Río Bravo intemperizado. Este grupo se encuentra en las partes más profundas y protegidas de la laguna.

La existencia de playas antiguas y elevadas sobre la costa continental, así como los bordes de antiguas lagunas localizadas a un nivel más alto que el actual, evidencian la rápida evolución de la laguna mediante un proceso geológico de regresión marina o de emergencia de la costa durante los últimos tiempos. Por lo anterior, la laguna continuará secándose y azolvándose hasta convertirse en una verdadera planicie de lodo y depósito de sal, a no ser que haya un cambio radical de las condiciones sedimentológicas que existen en la actualidad.

TRABAJO CITADOS

- ANDEL, Tj. H. van (1960). *Sources and dispersion of Holocene sediments, Northern Gulf of Mexico*. In *Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico*. American Assoc. Petrol. Geol. Spec. Pub., p. 34-55, 14 figs., 4 tablas.
- ANDEL, Tj. H. van and POOLE, D. H. (1960). *Sources of Holocene sediments in the Northern Gulf of Mexico*. Jour. Sed. Petr., v. 30, n. 1, p. 91-122.
- BENAVIDES G., L. (1956). *Notas sobre la geología petrolera de México*. Symposium sobre yacimientos de petróleo y gas, Congr. Geol. Intern. XX Ses. México, p. 351-562, 31 figs., 11 tablas.
- BULLARD, F. M. (1942). *Source of beach and river sands on Gulf Coast of Texas*. Bull. Geol. Soc. America, v. 53, n. 7, p. 1021-1043, 7 figs., 3 tablas.
- CALVERT, S. E. and VEEVERS, J. J. (1962). *Minor structures of unconsolidated marine sediments revealed by X-radiography*. Sedimentology, v. 1, p. 287-295, 6 figs.
- CURRAY, J. R. (1960). *Sediments and history of Holocene transgression, continental shelf, Northwest Gulf of Mexico*. In *Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico*. American Assoc. Petrol. Geol. Spec. Pub., p. 221-226, 19 figs., 3 tablas.
- DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA (1963). *Tablas de predicción de mareas 1964*. An. Inst. Geofis. Univ. Nal. Autón. México, v. 9, apéndice 1, 144 p.
- FISK, H. N. (1959). *Padre Island and the Laguna Madre Flats*. 2d. Coastal Geogr. Conf. Louisiana State University, p. 103-151, 13 figs., 2 tablas.
- HILDEBRAND, H. H. (1958). *Estudios biológicos preliminares sobre la Laguna Madre de Tamaulipas*. Ciencia, México, v. 17, ns. 7-9, p. 151-173, 1 fig., 5 tablas.
- INMAN, D. L. and CHAMBERLAIN, T. K. (1955). *Particle-size distribution in nearshore sediments*. Soc. Econ. Paleont. and Mineral. Spec. Publ. 3.
- LEBLANC, R. J. and HODGSON, W. D. (1959). *Origin and development of the Texas shoreline*. 2d Coastal Geogr. Conf. Louisiana State University, p. 57-97, 23 figs.
- MURRAY, G. E. (1960). *Geologic framework of Gulf Coastal Province of United States*. In *Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico*. American Assoc. Petrol. Geol. Spec. Publ., p. 5-23, 21 figs.
- (1961). *Geology of the Atlantic and Gulf Coastal Province of North America*. Harper and Bros. Publ., New York, 692 p.
- PRICE, W. A. (1933). *Role of diastrophism in topography of Corpus Christi area*,

- South Texas*. Bull. American Assoc. Petrol. Geol., v. 17, n. 8, p. 907-962, 17 figs.
- PRICE, W. A. and KORNICKER, L. S. (1961). *Marine and lagoonal deposits in clay dunes, Gulf Coast, Texas*. Jour. Sed. Petr., v. 31, n. 2, p. 245-255, 6 figs.
- RUSNAK, G. A. (1960). *Sediments of Laguna Madre, Texas*. In *Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico*. American Assoc. Petrol. Geol. Spec. Publ., p. 153-196, 30 figs., 8 tablas.
- SHLAEPFER, C. J. (1968) *Sedimentología de la Laguna Madre, Tamaulipas*. 2ª Parte, *Minerales pesados de los sedimentos de la Laguna Madre, Tamaulipas*. Inst. Geol. U.N.A.M., México, Bol. 84, pp. 49-66.
- SHEPARD, F. P. (1954). *Nomenclature based on sand-silt-clay ratios*. Jour. Sed. Petr., v. 24, n. 3, p. 151-158.
- (1960). *Rise of sea level along Northwest Gulf of Mexico*. In *Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico*. American Assoc. Petrol. Geol. Spec. Publ., p. 338-344, 4 figs.
- SHEPARD, F. P. and MOORE, D. G. (1955). *Central Texas Coast sedimentation: characteristics of sedimentary environments, Recent history and diagenesis*. Bull. American Assoc. Petrol. Geol., v. 39, n. 3, p. 1463-1593, 75 figs.
- (1960). *Bays of Central Texas Coast*. In *Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico*. American Assoc. Petrol. Geol. Spec. Publ., p. 117-152, 27 figs.
- THORNTHWAITE, C. W. (1948). *An approach toward a rational classification of climates*. Geogr. Rev., v. 38, n. 1, p. 55-94.
- UNITED STATES HYDROGRAPHIC OFFICE (1902). *Gulf of Mexico and Caribbean Sea*. Bull. 64, v. 2, 4th ed.

L A M I N A S



1 Bordes remanentes de antiguas lagunas interiores de la costa (proximidad de El Mezquite).



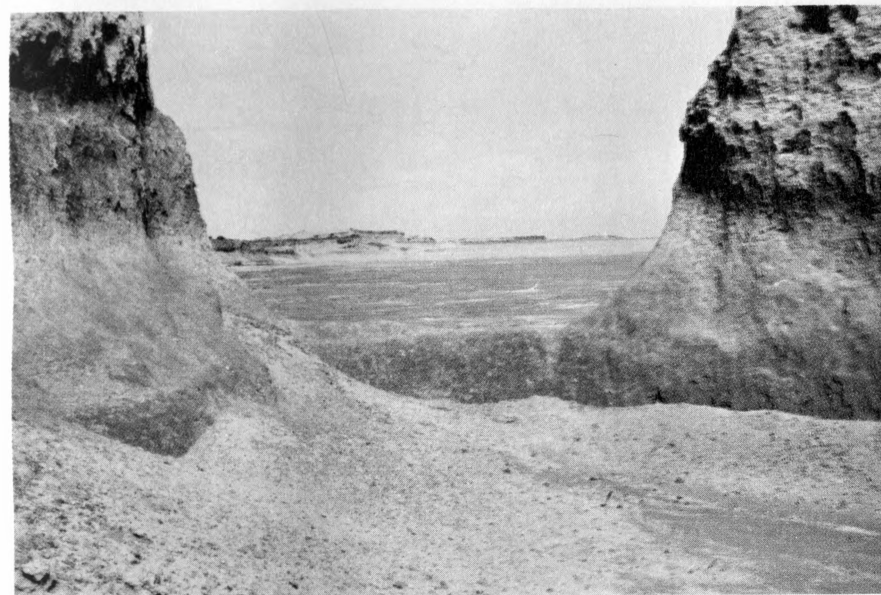
1 y 2 Bordes remanentes de antiguas lagunas interiores de la costa (proximidad de El Mezquite).



1 Escarpes de la orilla septentrional de la laguna, cortados en los aluviones recientes del Río Bravo.



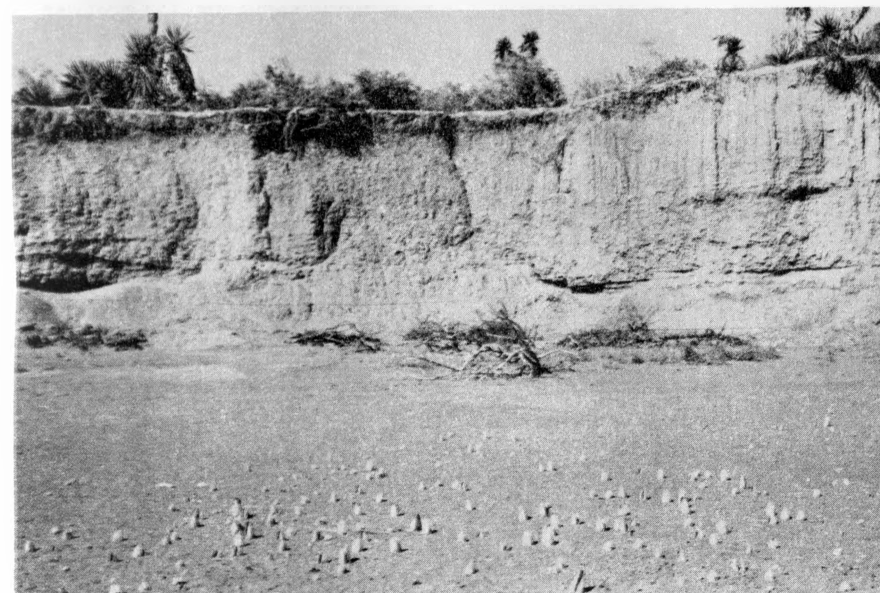
2 Playa de barlovento de la barrera meridional (aproximadamente 10 km al N de La Pesca).



1 Limolitas compactas que afloran en la orilla de la laguna, a proximidad de El Mezquite, y quizás representan depósitos deltaicos antiguos.



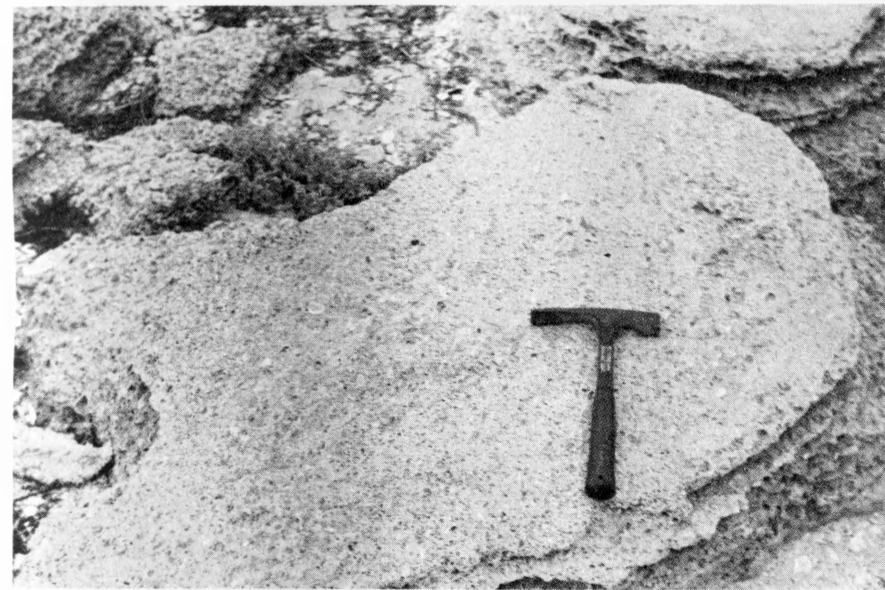
1 y 2 Limolitas compactas que afloran en la orilla de la laguna, a proximidad de El Mezquite, y quizás representan depósitos deltaicos antiguos.



1 Islas formadas por la erosión de los aluviones del Río de San Fernando.



1 y 2 Islas formadas por la erosión de los aluviones del Río de San Fernando.



1 Rocas de playa ("beach rock") que afloran en las entradas de la Bahía del Catán.



2 Llanura situada detrás de la playa en la barrera septentrional donde es muy fuerte la acción eólica.



1 Costras de sales que se forman en las zonas marginales de la laguna.



1 y 2 Costras de sales que se forman en las zonas marginales de la laguna.

TABLAS

TABLA 1. Parámetros estadísticos de Laguna Madre, Tamps.

Muestra	$\phi 16$	$\phi 50$	$\phi 84$	$\sigma \phi$
202	4.15	6.60	10.00	2.92
204	4.42	5.00	8.60	2.09
205	3.40	4.59	8.16	2.38
207	2.22	2.41	3.70	0.74
208	3.42	4.40	8.70	2.64
209	3.93	6.53	9.10	2.58
210	2.80	3.60	8.28	2.74
211	3.82	6.10	8.58	2.38
212	2.50	3.62	5.20	1.35
213	3.40	3.90	8.60	2.60
214	4.90	6.80	8.60	1.85
215	4.40	6.92	9.30	2.45
216	2.62	4.60	9.00	3.19
217	3.02	3.99	7.50	2.24
218	3.22	6.00	9.10	2.94
219	2.70	3.70	8.30	2.80
220	4.80	7.70	9.42	2.31
221	2.81	4.70	8.62	2.90
222	2.82	3.70	6.10	1.64
223	2.71	3.96	6.00	1.64
224	6.20	9.10	10.40	2.10
225	3.10	6.30	9.00	2.95
226	2.57	2.71	4.07	0.78
227	2.70	5.52	8.60	2.95
228	2.73	3.42	4.50	0.88
229	2.93	4.60	8.10	2.58
230	2.73	8.30	9.80	3.53
231	2.75	6.00	8.55	2.90
232	5.80	7.88	9.50	1.85
233	6.90	8.93	10.30	1.70
234	2.75	5.37	8.98	3.11
235	4.16	7.00	9.14	2.49
236	3.10	5.68	9.20	3.05
237	2.69	3.77	6.00	1.65
238	4.30	7.80	9.60	2.65
239	6.00	7.78	9.40	1.70
240	4.90	8.22	9.80	2.45
241	6.40	8.20	9.80	1.70
242	4.96	8.20	9.73	2.38
243	4.20	4.58	4.90	0.35
244	3.50	6.20	9.38	0.24

Muestra	$\phi 16$	$\phi 50$	$\phi 84$	$\sigma \phi$
245	4.90	7.10	9.20	2.15
247	3.80	6.60	9.10	2.65
248	5.80	8.60	10.12	2.16
249	4.77	5.50	9.48	2.35
250	4.78	6.80	9.20	2.21
251	4.10	7.50	9.80	2.85
252	4.73	5.70	9.00	2.13
253	7.00	9.30	10.52	1.76
254	4.50	4.60	4.90	0.20
255	6.82	9.10	10.40	1.79
256	4.90	9.20	10.48	2.79
257	2.75	4.00	8.70	2.97
258	5.10	7.75	10.20	2.55
259	5.47	8.23	9.80	2.16
260	0.00	2.80	8.00	4.00
261	2.20	4.30	9.10	3.45
262	2.40	2.80	3.50	0.55
263	2.75	3.18	3.53	0.39
264	2.50	4.30	8.40	2.95
265	2.61	4.60	8.93	3.16
266	2.62	5.00	9.00	3.19
267	4.00	7.40	9.81	2.90
268	3.40	7.36	9.31	2.95
269	2.40	2.62	3.30	0.45
270	7.30	9.41	10.61	1.65
271	4.80	9.40	10.61	2.90
272	6.43	9.10	10.40	1.98
273	6.75	8.80	10.20	1.72
274	3.90	9.38	10.60	3.35
275	5.63	9.30	10.58	2.47
276	5.80	9.21	10.43	2.31
277	2.38	2.62	2.90	0.26
278	2.41	2.80	3.30	0.44
279	5.80	6.58	7.60	0.90
280	6.07	6.58	7.20	0.56
281	7.24	9.40	10.60	1.68
282	5.70	8.40	9.90	2.10
283	6.20	7.81	9.40	1.60
284	3.48	6.72	9.40	2.96
285	3.41	3.90	7.50	2.04
286	2.76	3.15	3.40	0.32
287	3.30	7.60	9.57	3.13
288	3.90	7.75	8.53	2.31
289	4.00	4.60	8.30	2.15
290	5.70	8.30	10.10	2.20

Muestra	$\phi 16$	$\phi 50$	$\phi 84$	$\sigma \phi$
291	4.40	4.70	4.96	0.28
292	3.40	4.20	8.60	2.60
293	3.05	3.60	6.20	1.57
294	4.40	5.21	9.00	2.30
295	4.10	4.90	9.60	2.75
296	6.50	9.60	10.78	2.14
297	4.20	8.30	10.20	3.00
298	3.11	3.81	8.33	2.61
299	4.00	7.96	10.17	3.08
300	5.60	9.00	10.30	2.35
301	5.40	5.98	9.37	1.98
302	6.60	9.60	10.78	2.09
303	2.50	2.80	3.02	0.26
304	2.75	4.40	9.80	3.52
305	4.20	8.30	10.28	3.04
306	2.90	4.50	8.35	2.72
307	7.22	9.00	10.32	1.55
308	2.38	2.61	2.82	0.22
309	2.68	3.10	8.22	2.77
310	2.98	3.40	8.10	2.56
311	2.70	3.60	8.20	2.75
312	2.67	3.50	9.28	3.30
313	2.70	2.98	3.19	0.24
314	2.96	3.50	9.12	3.08
315	2.50	2.81	3.10	0.30
316	3.23	4.80	8.60	2.68
317	3.15	7.56	9.50	3.17
318	2.58	2.84	3.10	0.26
319	3.60	4.40	4.82	0.61
320	2.42	3.80	9.18	3.38
321	2.62	3.00	3.20	0.29
322	2.61	3.30	4.10	0.74
323	2.83	3.38	5.60	1.38
324	2.95	3.42	5.80	1.42
325	2.60	3.03	3.22	0.31
326	2.60	3.18	7.73	2.56
402	1.30	1.86	2.40	0.55
403	2.50	2.75	6.30	1.90
404	0.00	2.56	8.53	4.26
405	4.23	5.70	9.00	2.38
406	2.61	3.73	8.50	2.94
407	2.50	2.98	8.00	2.75
408	2.99	7.30	9.40	3.20
409	4.23	4.60	4.90	0.33
410	2.99	6.00	8.40	2.70

Muestra	$\phi 16$	$\phi 50$	$\phi 84$	$\sigma \phi$
411	2.60	3.60	8.00	2.70
413	2.70	3.30	8.70	3.00
414	4.27	4.60	4.90	0.31
415	3.00	7.63	9.54	3.27
416	2.50	2.90	8.90	3.20
417	2.63	3.82	9.10	3.23
418	3.10	4.80	8.95	2.92
419	2.98	6.10	9.26	3.14
420	2.98	3.30	8.10	2.56
421	2.90	4.10	9.10	3.10
422	3.30	6.40	9.21	2.95
423	2.98	4.60	9.10	3.06
424	2.60	8.06	9.60	3.50
425	2.82	8.40	10.20	3.69
426	3.20	8.00	9.60	3.20
427	5.30	9.52	10.70	2.20
428	4.20	9.12	10.40	3.10
429	4.16	4.50	4.86	0.35
430	3.57	8.10	9.70	3.06
431	3.40	7.80	9.50	3.05
432	2.62	6.20	9.20	3.29
433	2.50	2.78	3.01	0.25
434	2.89	3.30	8.70	2.90
435	3.23	5.80	9.17	2.97
436	2.83	3.22	7.10	2.13
437	4.60	8.20	9.73	2.56
438	2.81	3.20	3.58	0.38
440	2.63	7.60	9.60	3.48
441	2.43	2.70	8.73	3.15
443	2.70	6.10	9.20	3.25
444	2.20	2.58	2.78	0.29
446	2.99	2.42	8.60	2.80
447	3.40	5.30	9.20	2.90
448	2.50	2.88	7.10	2.30
449 (Río Bravo)	2.82	4.97	8.21	2.69
450	2.40	2.60	2.88	0.24
451	2.35	2.62	2.93	0.29
452	2.27	2.60	2.87	0.30
453	2.36	2.70	2.88	0.26
454	2.40	2.77	3.05	0.29
455	2.55	2.75	2.95	0.20
456	2.35	2.59	2.90	0.27
457	2.44	2.68	2.96	0.26
458	2.70	2.54	2.81	0.05
459	2.04	2.60	2.91	0.43

Muestra	$\phi 16$	$\phi 50$	$\phi 84$	$\sigma \phi$
460	2.68	2.96	3.25	0.28
461	2.70	2.95	3.17	0.23
462	2.30	2.70	2.92	0.31
463	1.63	2.35	2.67	0.52
464	2.07	2.50	2.70	0.31
465	2.20	2.58	2.77	0.28
466	2.34	2.72	3.00	0.33
467	2.23	2.58	2.86	0.31
468	2.38	2.78	3.07	0.34
469	2.48	2.83	3.08	0.30
470	2.35	2.80	3.04	0.34
471	2.41	2.75	3.05	0.32
472	2.46	2.78	3.02	0.28
473	2.41	2.45	2.86	0.27
473-A	2.00	2.60	2.84	0.42
473-F	2.64	2.95	3.12	0.24
473-G	2.67	2.80	3.06	0.19
473-H	1.26	1.90	2.74	0.74
474	2.54	2.85	3.05	0.25
475	2.54	2.90	3.07	0.26
476	2.46	2.85	3.25	0.39
477	2.41	2.90	3.05	0.32
478	2.40	2.78	3.00	0.30
479	2.57	2.92	3.26	0.39
480	2.68	3.00	3.20	0.26
481	2.44	2.81	3.05	0.30
482	2.59	2.85	2.96	0.18
484-A	2.70	2.86	3.15	0.22
484-B	2.55	2.82	3.00	0.22
484-F	2.43	2.64	2.78	0.17
485	2.45	2.77	3.03	0.29
486	1.67	2.41	2.60	0.46
488	2.20	2.50	2.74	0.27
489	2.10	2.40	2.62	0.26

TABLA 2. Componentes de la fracción de arena (> 0.062 mm)

Muestra	fracción de conchas	agregados	oolitos	terrígenos	fragmentos vegetales	forami- níferos
202	5	8	—	85	—	2
204	1	—	—	97	2	—
205	1	—	—	98	—	—
207	—	—	—	99	—	—
208	1	—	—	97	1	—
209	1	—	—	99	—	—
210	—	—	—	99	—	—
211	—	—	—	91	—	—
212	1	—	—	98	—	—
213	1	—	—	98	—	—
214	—	—	—	98	—	—
215	2	—	—	97	—	—
216	1	—	—	98	t	—
217	1	—	—	99	t	—
218	—	—	—	99	1	—
219	—	—	—	99	—	—
220	2	1	—	97	—	—
221	—	—	—	99	—	—
222	—	—	—	99	—	—
223	—	—	—	99	—	—
224	28	22	—	35	—	5
225	1	—	—	98	—	—
226	—	—	—	99	—	—
227	2	2	—	95	—	—
228	—	—	—	98	1	—
229	1	—	—	98	—	—
230	23	13	—	59	—	—
231	1	—	—	98	—	—
232	5	20	—	65	—	5
233	—	—	—	—	—	—
234	1	—	—	99	2	—
235	19	—	—	70	—	10
236	16	1	—	79	—	4
237	—	—	—	99	—	—
238	3	—	—	96	1	—
244	28	2	—	70	—	—
247	1	—	—	98	—	—
255	11	8	—	74	—	4
256	5	4	—	79	2	6

Muestra	fracción de conchas	agregados	oolitos	terrígenos	fragmentos vegetales	forami- níferos
257	7	1	—	77	—	14
258	40	7	4	37	1	7
259	30	—	—	57	—	12
260	34	4	—	53	—	8
261	23	5	—	59	—	11
262	17	6	35	39	—	8
263	17	1	—	72	—	4
264	22	5	—	67	—	5
265	8	—	—	87	—	4
266	18	7	—	70	—	3
267	6	4	—	81	—	8
268	4	—	—	78	—	16
269	5	1	—	87	—	5
270	29	2	—	62	—	7
271	2	1	—	79	3	20
272	36	—	—	39	—	25
277	—	—	—	99	—	—
278	6	—	—	91	—	1
279	24	—	1	66	—	9
280	12	—	—	78	4	6
281	5	—	—	76	—	19
282	15	—	—	72	—	11
283	38	1	—	53	—	7
284	27	—	3	61	—	4
285	7	—	—	88	—	4
286	29	—	45	26	—	—
287	30	1	—	57	—	4
288	5	—	—	91	3	—
296	15	1	—	74	—	7
300	31	—	—	60	—	7
302	31	1	—	61	—	3
305	31	3	—	63	—	1
309	21	1	—	71	—	6
310	40	—	12	40	—	8
312	40	—	—	52	—	8
314	22	2	—	70	—	6
317	32	2	—	56	—	10
319	17	2	—	76	—	5
321	33	32	—	23	—	10
322	74	1	1	17	—	4
324	54	—	—	44	—	2
326	17	2	—	75	—	5
403	11	3	—	75	7	2

Muestra	fracción de conchas	agregados	oolitos	terrígenos	fragmentos vegetales	forami- níferos
404	55	—	—	31	—	14
405	21	1	—	74	—	4
407	34	8	—	54	—	—
408	16	2	—	79	—	1
409	17	2	—	79	—	1
410	24	2	—	70	—	3
411	17	7	—	72	—	3
413	34	2	—	52	6	6
414	47	—	—	43	2	8
415	33	—	—	55	4	7
417	23	—	—	64	7	5
418	31	1	—	53	3	10
419	34	1	—	55	—	10
420	41	—	—	57	1	—
421	40	—	—	46	—	14
422	29	3	—	52	—	15
423	40	2	—	44	—	14
424	29	3	—	54	2	12
425	36	—	—	53	—	10
426	37	2	—	55	—	5
427	20	1	—	52	—	27
428	29	7	—	48	—	15
429	36	1	—	32	20	10
430	32	1	—	59	—	7
431	21	—	—	70	—	9
432	40	—	—	42	—	17
433	35	—	—	63	—	1
434	41	—	—	43	—	16
435	21	—	—	79	—	—
436	25	—	—	72	—	2
437	27	—	—	50	—	22
438	50	2	—	45	—	2
441	19	—	—	74	1	4
444	51	—	—	48	—	—
446	35	—	—	51	—	13
447	34	1	—	50	—	14
448	27	1	—	70	—	2

SEDIMENTOLOGIA DE LA LAGUNA MADRE, TAMAULIPAS

PARTE 2

MINERALES PESADOS DE LOS SEDIMENTOS DE LA LAGUNA MADRE, TAMAULIPAS

POR

CARMEN J. SCHLAEPFER