

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA

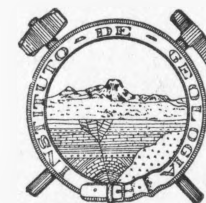
DIRECTOR: ING. GUILLERMO P. SALAS

BOLETIN NUMERO 67, PARTE 1.

BATIMETRIA, SALINIDAD, TEMPERATURA Y DISTRIBUCION
DE LOS SEDIMENTOS RECIENTES DE LA LAGUNA DE
TERMINOS, CAMPECHE, MEXICO

TRABAJO REALIZADO CON LA APORTACION ECONOMICA
NSF-19105 DE LA NATIONAL SCIENCE FOUNDATION
DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA.

POR
AMADO YAÑEZ C.



MEXICO, D. F.
1963

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

RECTOR:

Dr. Ignacio Chávez

SECRETARIO GENERAL:

Dr. Roberto L. Mantilla Molina

COORDINADOR DE LA
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA:

Dr. Ignacio González Guzmán

INSTITUTO DE GEOLOGIA

Ciudad Universitaria

México 20, D. F.

DIRECTOR:

Ing. Guillermo P. Salas

SECRETARIA:

Ma. Guadalupe Sáenz A.

NÚMERO EDITADO POR:

Agustín Ayala-Castañares

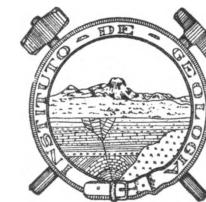
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA
DIRECTOR: ING. GUILLERMO P. SALAS

BOLETIN NUMERO 67, PARTE 1.

**BATIMETRIA, SALINIDAD, TEMPERATURA Y DISTRIBUCION
DE LOS SEDIMENTOS RECIENTES DE LA LAGUNA DE
TERMINOS, CAMPECHE, MEXICO**

TRABAJO REALIZADO CON LA APORTACION ECONOMICA
NSF-19105 DE LA NATIONAL SCIENCE FOUNDATION
DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA.

POR
AMADO YANEZ C.



MEXICO, D. F.

1963

INDICE GENERAL DEL
BOLETIN NUMERO 67

- PARTE 1.**—Batimetría, salinidad, temperatura y distribución de los sedimentos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Por Amado Yáñez C., 47 p., 17 figs.*
- PARTE 2.**—Sistemática y distribución de los géneros de diatomeas de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Por Angel Silva-Bárcenas, 31 p., 12 figs.*
- PARTE 3.**—Sistemática y distribución de los foraminíferos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Por Agustín Ayala-Castañares, 130 p., 60 figs., 11 láms.*
- PARTE 4.**—Sistemática y distribución de los micromoluscos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Por Antonio García-Cubas Jr., 55 p., 24 figs., 4 láms.*

CONTENIDO

	Pág.
PROLOGO	IX
RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA	4
Fisiografía General	5
Hidrografía	5
METODOS DE TRABAJO Y EQUIPO DE CAMPO	6
Batimetría de la Laguna	6
Localización de las estaciones de observación y muestreo	9
Rutina de trabajo en cada estación	9
METODOS DE ESTUDIO Y TRABAJOS DE LABORATORIO	13
Consideraciones generales	13
Análisis del tamaño de los granos	13
Teoría del tratamiento preliminar	15
Métodos usados en el tratamiento preliminar	16
Representación gráfica de los datos obtenidos en el análisis	16
Parámetros estadísticos usados	19
Nomenclatura de los sedimentos de acuerdo con el tamaño de las partículas	24
Análisis de la fracción gruesa bajo el microscopio	26
Análisis mineral	28
Análisis de la arcilla mineral	29
Análisis químico	29
LITOLOGIA GENERAL DE LAS UNIDADES DE LOS SEDIMENTOS RECIENTES	32
Sedimentos de los estuarios	33
Sedimentos de la isla o barra de arena	34
Fuentes de los sedimentos	34
Agentes de distribución de los sedimentos	35
Salinidad y temperatura del agua	39
DISTINCION DE LOS AMBIENTES SEDIMENTARIOS	39
CONCLUSIONES	44
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	46
ILUSTRACIONES	
Fig. 1. Mapa de localización de la Laguna de Términos, Campeche	4
Fig. 2. Secciones de eco-sonda y su localización	7
Fig. 3. Topografía del fondo, intervalo entre curvas, una braza	8
Fig. 4. Localización de las estaciones de observación y muestreo	10
Fig. 5. Diagrama del tubo nucleador de Lankford	12
Fig. 6. Distribución generalizada de la temperatura de agua en la superficie en grados centígrados. (marzo-abril de 1959)	14
Fig. 7. Curvas granulométricas de los sedimentos	18
Fig. 8. Relación de parámetros	24
Fig. 9. Distribución geográfica de los sedimentos tipo	25

	Pág.
Fig. 10. Triángulo de nomenclatura basado en el porcentaje arena-limo-arcilla	26
Fig. 11. Distribución geográfica de los sedimentos, basada en el contenido arena-limo-arcilla	27
Fig. 12. Curvas de análisis térmico diferencial	30
Fig. 13. Distribución del contenido en porcentaje de CaCO_3 de los sedimentos	31
Fig. 14. Ilustración de la acción de las corrientes de flujo y reflujo	36
Fig. 15. Distribución generalizada de la salinidad total del agua en la superficie, en partes por mil (marzo-abril de 1959)	37
Fig. 16. Distribución generalizada de la salinidad total del agua en el fondo, en partes por mil (marzo-abril de 1959)	38
Fig. 17. Distribución de los ambientes de depósito y áreas que presentan condiciones específicas de sedimentación	40

PROLOGO

Durante la vigésima sesión del Congreso Geológico Internacional, celebrada en la ciudad de México, en 1956, el suscrito fue invitado, en su calidad de Director del Instituto de Geología, a visitar un barco, propiedad de la Institución Scripps de Oceanografía, de la Universidad de California, que atracó en el puerto de Acapulco.

En esa visita estableció relaciones con varios científicos, cambiando impresiones con ellos, de donde le surgió un profundo interés por la Oceanografía y Geología Marina. Dicho interés se acrecentó con la lectura de publicaciones sobre estudios de esas especialidades, percatándose de la inminente necesidad de iniciar investigaciones en esas disciplinas, de primordial importancia para el desarrollo científico-técnico del país, abriéndose para la Dirección del Instituto nuevos horizontes de investigación científica original, que vinieron a llenar el hueco creado por la falta de estudios sedimentológicos, geoquímicos y oceanográficos dentro del Instituto.

En el mes de julio de 1958, el suscrito tuvo oportunidad de visitar la Institución Scripps de Oceanografía, invitado para hablar ante un grupo de sus investigadores, sobre los recursos naturales no renovables de México.

Con estos antecedentes y consciente de la necesidad de preparar debidamente a su personal en Oceanografía y Geología Marina, el Instituto de Geología celebró un convenio de asistencia mutua y cooperación, con el Dr. Roger Revelle, en esa época Director de la Institución Scripps. Mediante ese convenio fue posible que algunos de los científicos del Instituto visitaran la citada Institución, permaneciendo durante algún tiempo en íntimo contacto con sus investigadores, aprendiendo los métodos de trabajo más avanzados en esas ciencias. Con el mismo fin, se envió personal a cruceros oceanográficos y exploraciones en los litorales mexicanos o en el extranjero.

Se hicieron convenios similares con el Instituto de Ciencias Marinas de la Universidad de Texas y con el Colegio de Agricultura y Mecánica de Texas, para efectuar estudios oceanográficos en el Golfo de México. En ellos participó el Dr. F. Bonet, representando al Instituto de Geología. Los resultados de los estudios han sido publicados en parte por revistas extranjeras y en un futuro próximo se publicarán en esta serie el estudio del Dr. F. Bonet sobre un pozo perforado por el Instituto de Geología en la Isla Pérez del Arrecife Alacranes y el estudio de la Sistemática y distribución de los foraminíferos del mismo arrecife, por el Biól. A. Ayala-Castañares, en colaboración con la Biól. C. González.

El primer proyecto autónomo del Instituto de Geología, iniciado en el año de 1959, lo constituye el estudio geológico marino y terrestre de la Laguna de Términos en el Estado de Campeche. El trabajo de campo lo realizó el Ing.

**BATIMETRIA, SALINIDAD, TEMPERATURA Y DISTRIBUCION
DE LOS SEDIMENTOS RECIENTES DE LA LAGUNA
DE TERMINOS, CAMPECHE, MEXICO.***

AMADO YÁÑEZ**

RESUMEN

En este trabajo se presenta un estudio de sedimentos recientes bajo un punto de vista ambiental y aun cuando, un ambiente lagunar marginal o de albufera clásico como el de la Laguna de Términos, tiende hacia la formación de un tipo determinado de depósito, se ha encontrado que las características de los sedimentos varían localmente de acuerdo con las variaciones de las condiciones del medio.

Debido a la diversidad de condiciones ambientales que presenta la Laguna de Términos, el proceso sedimentario actual constituye una unidad muy compleja, a la cual es muy difícil analizar considerando por separado a cada uno de los distintos factores que toman parte, por lo que fue necesario obtener la mayor información posible acerca de los agentes geológicos, factores ecológicos y procesos orgánicos e inorgánicos y hacer una completa interrelación de éstos para poder analizar y conocer con mayor veracidad dicho proceso sedimentario.

Particularmente, parece ser que los principales factores que controlan el depósito de los sedimentos, son las corrientes producidas por las mareas que mueven grandes volúmenes de agua hacia adentro y hacia afuera por los canales o pasos, de mar abierto a la laguna, la descarga de agua de los ríos que producen un efecto selectivo sobre los materiales sedimentarios del fondo, la dirección e intensidad de los vientos predominantes que reclasifican los materiales sedimentarios al transportarlos de la barra de arena o Isla del Carmen al interior de la Laguna, la morfología y la situación geográfica del área que favorecen la interacción de un complejo sistema de agentes geológicos de transporte y sedimentación.

La fuente de los sedimentos que actualmente se están depositando, citados en orden de importancia cuantitativa decreciente, la constituyen los ríos (en el mismo orden, el Candelaria, el Palizada, el Chompín y el río del Este), el canal de Paso Real, el volumen resultante del proceso orgánico y finalmente el del proceso inorgánico. La intensidad e interacción de los factores seleccionando y controlando el proceso sedimentario en determinadas áreas de la Laguna, se manifiesta principalmente por la variación del tamaño de las partículas, su grado de clasificación, la variación en el contenido de CaCO_3 y en la abundancia relativa con que se distribuyen los principales constituyentes de los sedimentos.

Como resultado de este estudio, se propone una limitación del ambiente lagunar marginal clásico, en tres ambientes de depósito, también se hace la limitación de las áreas que presentan condiciones específicas de depósito dentro de la Laguna.

* Trabajo presentado en parte como tesis para optar al título profesional de Ingeniero Geólogo en la E.S.I.A., del Instituto Politécnico Nacional.

** Investigador Adjunto de Tiempo Completo. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México.

En el presente trabajo, se discuten únicamente las características de los sedimentos superficiales, dejando para un trabajo futuro la discusión de la fase tridimensional de la cual se espera obtener suficiente información para efectuar una veraz interpretación del resultado del proceso de sedimentación actual, mediante el estudio de la estratigrafía de los sedimentos parcialmente o no consolidados y buscar al mismo tiempo mayor información en que basar la discusión de la formación y desarrollo de la costa o historia geológica del área en estudio.

INTRODUCCION

Esta investigación forma parte de un programa que comprende además el estudio detallado de la fracción de origen orgánico de la cual se publican las diatomeas (Silva-Bárcenas, 1963), Foraminíferos (Ayala-Castañares, 1963) y micromoluscos (García-Cubas, 1963).

Es obvio que el conocimiento de los atributos físicos y biológicos del medio, es fundamental en la organización de los materiales sedimentarios. Además, al conocer la relación que existe entre la distribución tanto lateral como vertical de los sedimentos con los principales factores ecológicos del medio, podemos muchas veces correlacionar los factores ecológicos con las biofacies.

Este trabajo tiene varios objetivos, uno de ellos, describir con el mayor detalle posible el área que ocupa la laguna. Otro, conocer el comportamiento de los materiales sedimentarios en relación con los agentes geológicos de transporte y sedimentación.

Otro objeto, es tratar de obtener una clara idea acerca de las condiciones generales de los distintos ambientes, bajo las cuales se están depositando los sedimentos recientes de aguas marinas poco profundas y su relación con la ecología de la flora y la fauna que en ellos vive, crece y muere y cuyos restos al depositarse forman parte del sedimento.

Un objetivo más ambicioso, es tratar de conocer las distintas manifestaciones de los eventos geológicos en este medio, con interés de figurar el desarrollo histórico que dio lugar a la formación de las lagunas del Golfo de México.

Un objetivo tan ambicioso como el anterior, viene a serlo, el obtener mediante el estudio y conocimiento de los procesos de formación y depósito de los sedimentos en todos y cada uno de los diferentes ambientes de depósito actuales, un criterio más amplio para comprender mejor los eventos que dieron lugar a las formaciones sedimentarias depositadas en ambientes equivalentes.

Por otra parte, la información de esta naturaleza es fundamental en la limitación de cuencas sedimentarias, en la elaboración de mapas paleogeográficos y en el estudio de paleofacies, para tratar de figurar el ambiente bajo el cual se depositaron los sedimentos que constituyen las rocas sedimentarias, especialmente las formaciones productoras de hidrocarburos.

Estos estudios resuelven también, indirectamente, gran cantidad de problemas entre los cuales se pueden citar: los que interesan a la industria de la pesca, a la prevención de la erosión de las costas y a su saneamiento, a la navegación, a las construcciones marítimas, a las perforaciones de la plataforma continental en busca de petróleo, gas y minerales, al desarrollo de las ciencias

afines tales como la Física, Química, Biología, etc., y a muchas otras actividades.

Por los diferentes aspectos que presenta este trabajo, fue necesario conforme se fue desarrollando ir aprendiendo técnicas, métodos de estudio, diseñando aparatos y montando laboratorios; por lo que es difícil precisar el tiempo exacto de su duración, sin embargo particularizando, los trabajos de campo dentro de la laguna, tuvieron una duración de cuatro meses, comprendidos de febrero a mayo de 1959.

En la organización y preparación de los datos y materiales obtenidos se emplearon dos meses más.

Posteriormente el autor tuvo la oportunidad de trabajar en la Institución Scripps de Oceanografía, en La Jolla, California, aprendiendo objetivamente técnicas y métodos de estudio de sedimentos empleados en esa Institución durante el resto del año de 1959.

Durante los primeros tres meses de 1960 se montó el laboratorio de Sedimentología en el Instituto de Geología semejante al de la Institución Scripps, efectuándose durante el resto del año, los diferentes análisis (granulométricos, microscópicos y petrográficos), control estadístico y presentación gráfica de los resultados.

Agradecimientos.—Debido a que un trabajo como el presente es resultado de una gran colaboración, el autor desea expresar en estas líneas su gratitud a todas aquellas personas que en una forma u otra, han contribuido a su realización.

En primer término, se agradece al ingeniero Guillermo P. Salas, director del Instituto de Geología, su entusiasta y constante ayuda, facilitando el desarrollo de este trabajo.

A los investigadores de la Institución Scripps de Oceanografía: F. B. Phleger, quien hizo las gestiones necesarias para que la Universidad de California proporcionara al Instituto de Geología parte del equipo empleado en el trabajo de campo, además de impartir al autor muchos de sus conocimientos y experiencias. J. R. Curray por sus indicaciones, tanto en el trabajo de campo como en la organización de los materiales sedimentarios. K. Franklin y S. Hoffman por su amable ayuda en el aprendizaje de la rutina del laboratorio de sedimentología. T. J. H. Van Andel y R. L. Folk por sus indicaciones en petrología sedimentaria.

En la misma forma se agradece a los investigadores del Instituto de Geología: E. Schmitter, A. Ayala-Castañares y F. Bonet, que han contribuido a la revisión del texto, sugiriendo cambios y mejoras.

Al personal del Departamento de Dibujo, por su contribución en la elaboración de los planos. A E. Schroeder, encargada de hacer las "titulaciones" de las muestras de agua. A G. Velázquez, por su colaboración al efectuar los análisis del por ciento de CaCO_3 y granulométrico de las muestras.

No puede el autor dejar de mencionar la desinteresada ayuda de J. García Sánchez, Presidente Municipal de Ciudad del Carmen, Campeche, quien proporcionó toda clase de facilidades para llevar a feliz término los trabajos de campo, así como gasolina para la lancha. Finalmente, se agradece a la National

Science Foundation por su ayuda económica, sin la cual no hubiera podido realizarse esta investigación.

LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA

La Laguna de Términos es una clásica laguna marginal, separada del mar abierto por una barra de arena (Isla del Carmen) que a su vez está separada del continente por dos entradas o pasos de mar abierto a la laguna, los cuales son el canal del Carmen y el canal de Paso Real (Fig. 1).

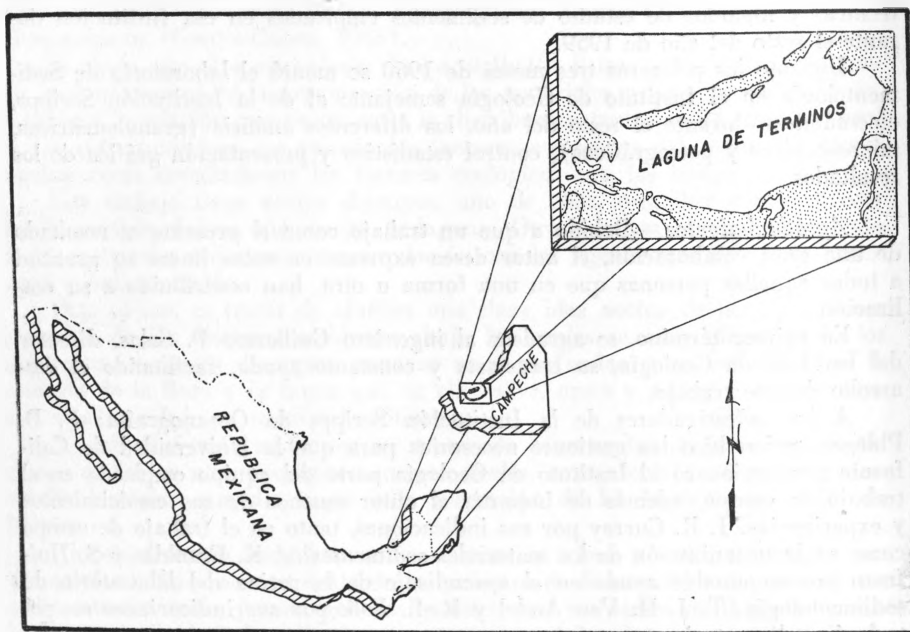


Fig. 1. Mapa de localización de la Laguna de Términos, Campeche.

Fue descubierta en 1518, por Antón de Alaminos, piloto de la expedición de Juan de Grijalva, a la que consideró una comunicación con el mar de las Antillas, creyendo consecuentemente que la orilla oriental de la laguna ponía término a las tierras de la península de Yucatán, de cuya idea se deriva el nombre actual.

El área comprendida en este estudio se encuentra localizada en la parte sur del Golfo de México y cubre una superficie de la planicie costera de más de 2,400 Km² en la parte suroeste del Estado de Campeche.

Geográficamente se localiza entre los meridianos 91°10' 92°00' de longitud oeste y entre los paralelos 18°20' 19°00' de latitud norte.

Fisiografía general.—El área que comprende la Laguna de Términos y sus alrededores, pertenece a la planicie costera del Golfo; es sumamente plana y casi no presenta elevaciones o lomeríos de importancia, por lo que de una manera general, esta zona se encuentra en estado de senectud en lo que se refiere a su desarrollo morfológico.

El clima de la zona que ocupa la Laguna de Términos es tropical húmedo; presenta dos temporadas de lluvia, una con precipitaciones menores que dura aproximadamente cuatro meses entre febrero y mayo y la temporada de lluvias fuertes que dura generalmente siete meses a partir de junio y llega en algunas ocasiones inclusive hasta enero.

La vegetación en la orilla de la laguna es muy exuberante, del tipo de selva tropical, con abundancia de manglares, debido al clima húmedo tropical, a las características del terreno arcilloso de abanicos aluviales, al agua salobre de pantanos y lagunas adyacentes.

La vegetación sumergida es también muy exuberante, predominando los llamados "ceibadales" formados por *Thalassia testudinum* y en menor escala por *Diplanthera wrightii* según Zarur (1961), quien hace una descripción generalizada de la flora y fauna subaérea y subacuosa en su trabajo titulado: "Estudio biológico preliminar de la Laguna de Términos".

Hidrografía.—La planicie costera del área de la Laguna de Términos, está drenada principalmente por cuatro ríos, aun cuando también se encuentran ríos y arroyos de menor magnitud en toda la orilla de la laguna (Fig. 4).

Con excepción del río Candelaria cuya cuenca se encuentra localizada dentro de la península de Yucatán, todos los demás ríos que vierten sus aguas a la Laguna de Términos, pertenecen al sistema fluvial tabasqueño que drena la planicie costera del Golfo de México.

El río Usumacinta según Tamayo (1946), aguas abajo del poblado de Zapata, se abre en dos ramas llamándose la de la izquierda río San Antonio y la de la derecha río del Este; a su vez, este río sirve de conducto para que parte de las aguas del río Usumacinta descarguen a la Laguna de Términos, dando lugar a la formación de las lagunas de Atasta, Pom, Corte, Puerto Rico y otras de menor magnitud. El río del Este fluye dentro de un valle aluvial de edad Pleistoceno a Reciente, en el cual se forman pantanos y manglares además de las grandes lagunas ya mencionadas. Su desembocadura a la Laguna de Términos recibe el nombre de Boca de Atasta.

El río Usumacinta sigue su cauce desarrollando otro brazo llamado San Pedro y San Pablo por el que envía sus aguas al Golfo de México.

El río San Pedro y San Pablo se aparta, y con rumbo NNW se dirige al mar, sirviendo en sus últimos 50 Km como límite entre los Estados de Tabasco y Campeche.

Esta aparente dispersión de las corrientes constituye la más importante riqueza actual de Tabasco, porque le permite la navegación fluvial a lo largo

de esa multitud de brazos que son mucho más numerosos que los descritos, ya que sólo se han mencionado los más importantes en relación con la Laguna de Términos.

El río Palizada (Fig. 4) representa el extremo oriental de la complicada red fluvial tabasqueña y debe su nombre a que las avenidas depositan troncos que obstruyen y bloquean el cauce con palizadas. Debido a esto, año tras año aumenta la extensión y espesor de los ricos aluviones cargados con materia orgánica que se depositan en los terrenos vecinos. Este río al desembocar en la Laguna de Términos, debido a que también fluye en un amplio valle aluvial, da lugar a la formación del estuario de Boca Chica.

El río Chompín se genera en la planicie costera por la unión de los ríos San Joaquín y Salsipuedes, tiene corto recorrido y reducido caudal; pertenece también a la serie de corrientes que descargan en la Laguna de Términos y al desembocar a ésta, da lugar a la formación del pequeño estuario de la Boca de Balchacah. El área de su cuenca es de 1,874 Km² y se le estima un volumen de escurrimiento anual de 1,368 millones de m³.

El río Candelaria (Fig. 4) es otro de los grandes alimentadores de la Laguna de Términos y su cuenca, como ya se dijo, se encuentra localizada dentro de la península de Yucatán, por lo que la limitación de ella en la parte norte y oriente se dificulta a tal grado que la línea que aparece en las cartas hidrológicas es aproximada y sólo se puede considerar más o menos precisa en la porción vecina de las cuencas de los ríos Chompín y Usumacinta. La superficie de su área de captación es de 23,040 Km². La mayor parte de la cuenca se encuentra en territorio nacional, pero de ella 1,720 Km² quedan en el Departamento de Petén de la República de Guatemala. Tiene un régimen torrencial y el escurrimiento medio anual se estima en 15,777 millones de m³. Entre la desembocadura del río Candelaria y la del río Champotón existen varias corrientes, una de ellas, el río Mamantel, que descarga en la Laguna de Términos, y las demás directamente en el Golfo de México.

MÉTODOS DE TRABAJO Y EQUIPO DE CAMPO

Para efectuar el trabajo de campo, se contó con una lancha "Chris Craft" de 18 pies de eslora y 2 pies de calado a la que se le hicieron las adaptaciones del equipo (ecosonda, brújula, etc.) impulsada por un motor (80 HP) de alta velocidad.

BATIMETRÍA DE LA LAGUNA

Para efectuar la topografía del fondo o batimetría de la laguna fue necesario hacer secciones completas, trabajando únicamente con un ecosonda (tipo Cadet de 6 volts), adaptado a la lancha, el cual hace un registro o sección del fondo, (Fig. 2) partiendo de puntos perfectamente conocidos a la orilla de la laguna, con rumbo fijo y a velocidad constante.

La fijación de los puntos de partida del terreno se hizo con la ayuda de un mosaico aéreo.

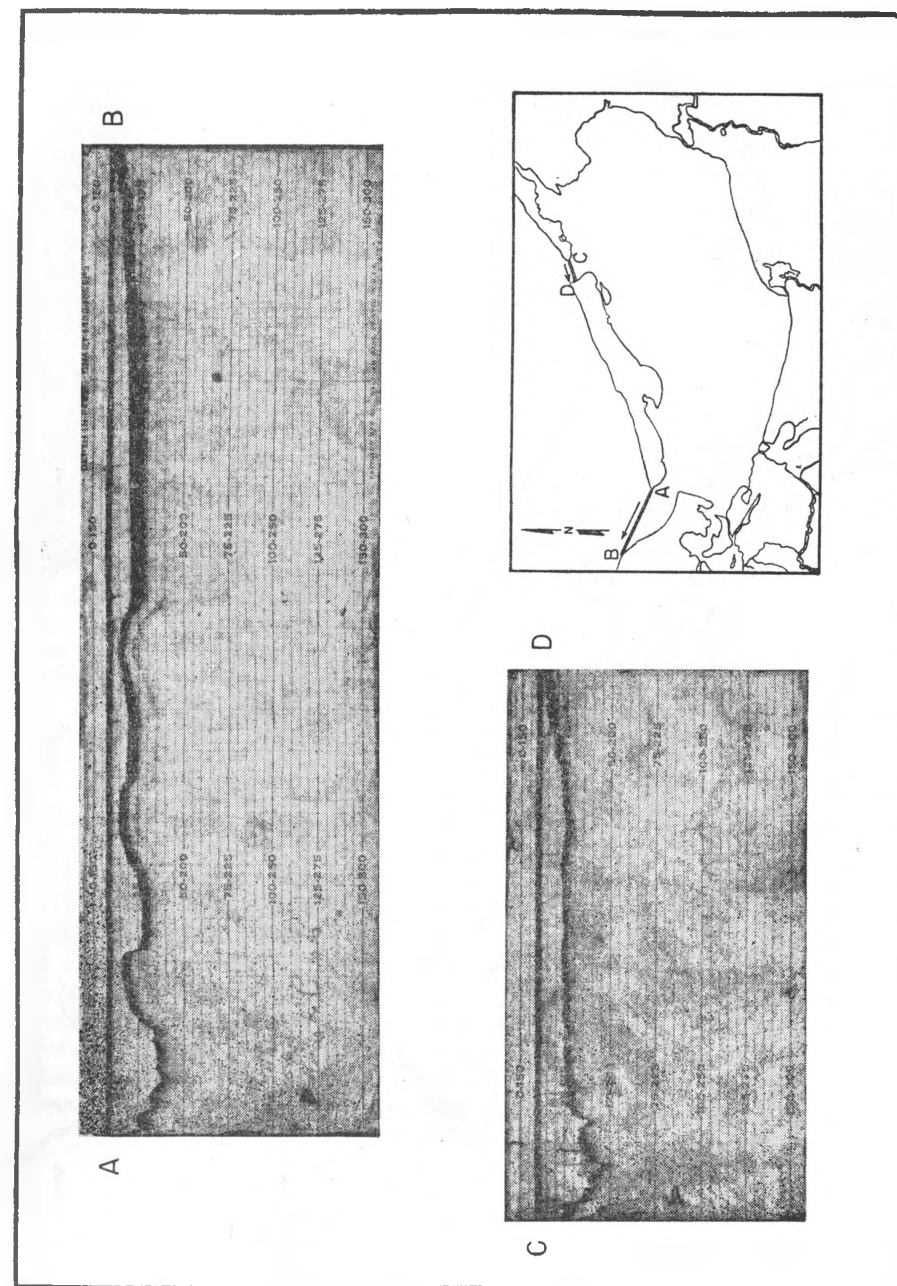


Fig. 2. Secciones de eco-sonda, y su localización.

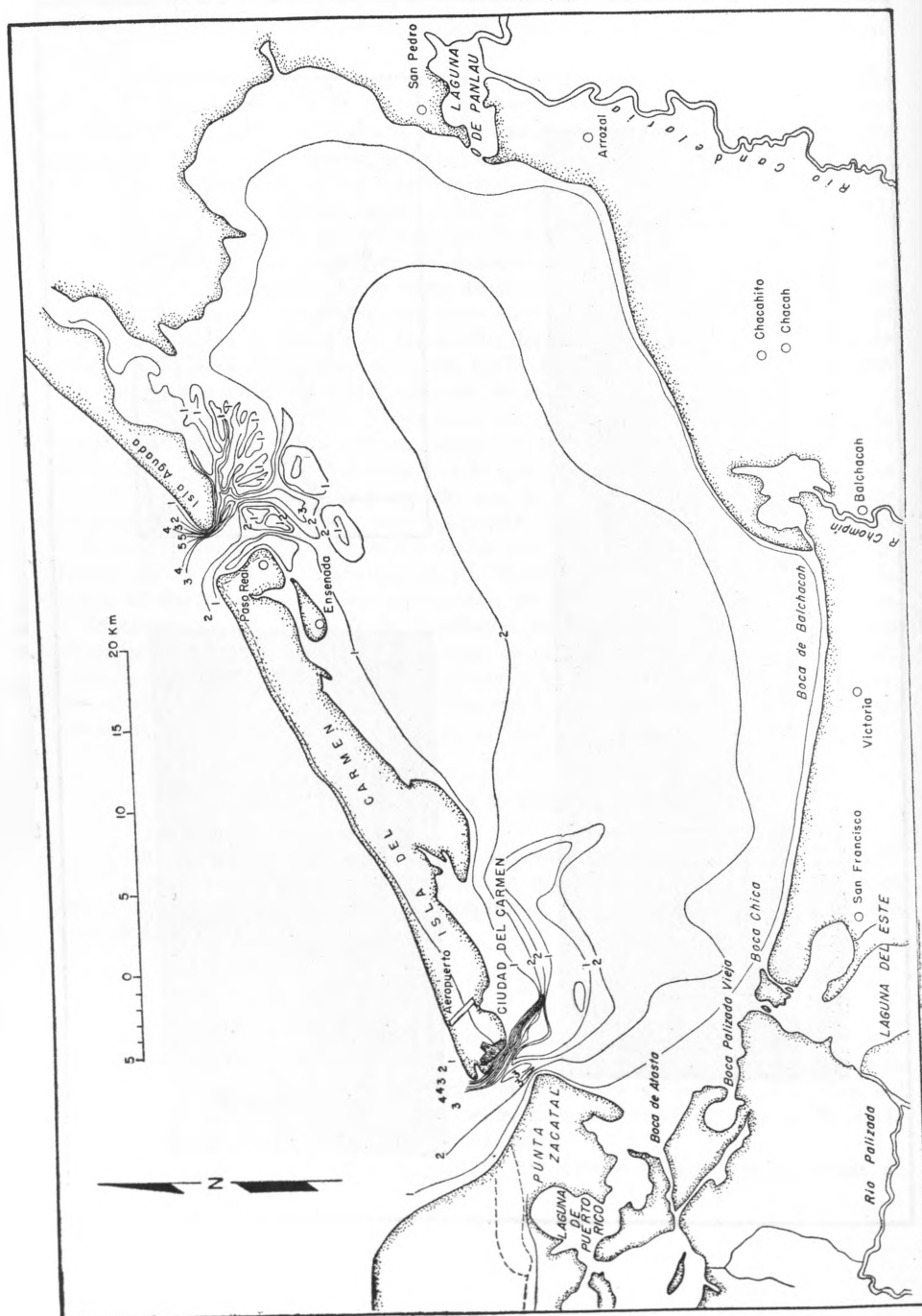


Fig. 3. Topografía del fondo de la laguna.

Para mantener una velocidad constante de la embarcación y al mismo tiempo obtener la menor desviación por corrientes y mareas, fue necesario trabajar únicamente en el espacio de tiempo comprendido entre el momento que cambian los vientos del SSE a vientos NNW, o sea cuando la superficie del agua de la laguna se encuentra prácticamente en completa calma por la ausencia de vientos.

Posteriormente, después de haber efectuado los registros del fondo de la laguna, se vaciaron los datos a un plano a escala, reduciendo las dimensiones de los registros del fondo efectuados por el ecosonda a las dimensiones de las secciones en el plano, haciendo posteriormente las correcciones por movimientos de mareas e interpolando las secciones con isóbatas, para obtener el plano de la figura 3.

LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE OBSERVACIONES Y MUESTREO

Para fijar la situación de las estaciones, fue necesario calcular el tiempo empleado en recorrer con la lancha 1 kilómetro y se llegó a la conclusión de que trabajando el motor de la lancha a 2,500 R.P.M., siempre y cuando la superficie del agua se encontrara relativamente en calma, se recorrería esta distancia en 3 minutos. Efectuado lo anterior, se procedió a hacer una red general de estaciones que consistió en 23 travesías de un lado a otro de la laguna. Cada una de las travesías, comprendió un determinado número de estaciones, de acuerdo con la distancia de una orilla a otra y de acuerdo también con la intensidad del muestreo deseado.

Se trató de hacer que en los pasos de mar abierto a la laguna, el espaciamiento entre cada estación fuera de 1 kilómetro y dentro de la laguna de 2 kilómetros (Fig. 4).

Por lo anteriormente expuesto se deduce que la fijación de las estaciones se hizo por rumbo y tiempo de travesía, habiendo calculado el tiempo en función de la velocidad de la embarcación.

Cada travesía tocó las dos orillas de la laguna en puntos fácilmente observables, tanto en el mosaico fotográfico como en los planos y en esta forma facilitó las correcciones de la deriva ocasionada por los vientos y mareas.

En algunos lugares, como en los canales de mar abierto a la laguna en que es posible ver puntos notables como faros o puntos conocidos de la orilla y perfectamente localizables en los planos, la fijación de las estaciones se efectuó con sextante, midiendo dos ángulos horizontales entre tres puntos notables de la costa fácilmente visibles desde la localización y controlables en el mosaico aéreo base, tal y como ha sido descrito por Shepard (1948).

RUTINA DE TRABAJO EN CADA ESTACIÓN

Se tomaron muestras de agua superficial y muestras de agua del fondo, empleando en la toma de esta última una botella de Nansen.

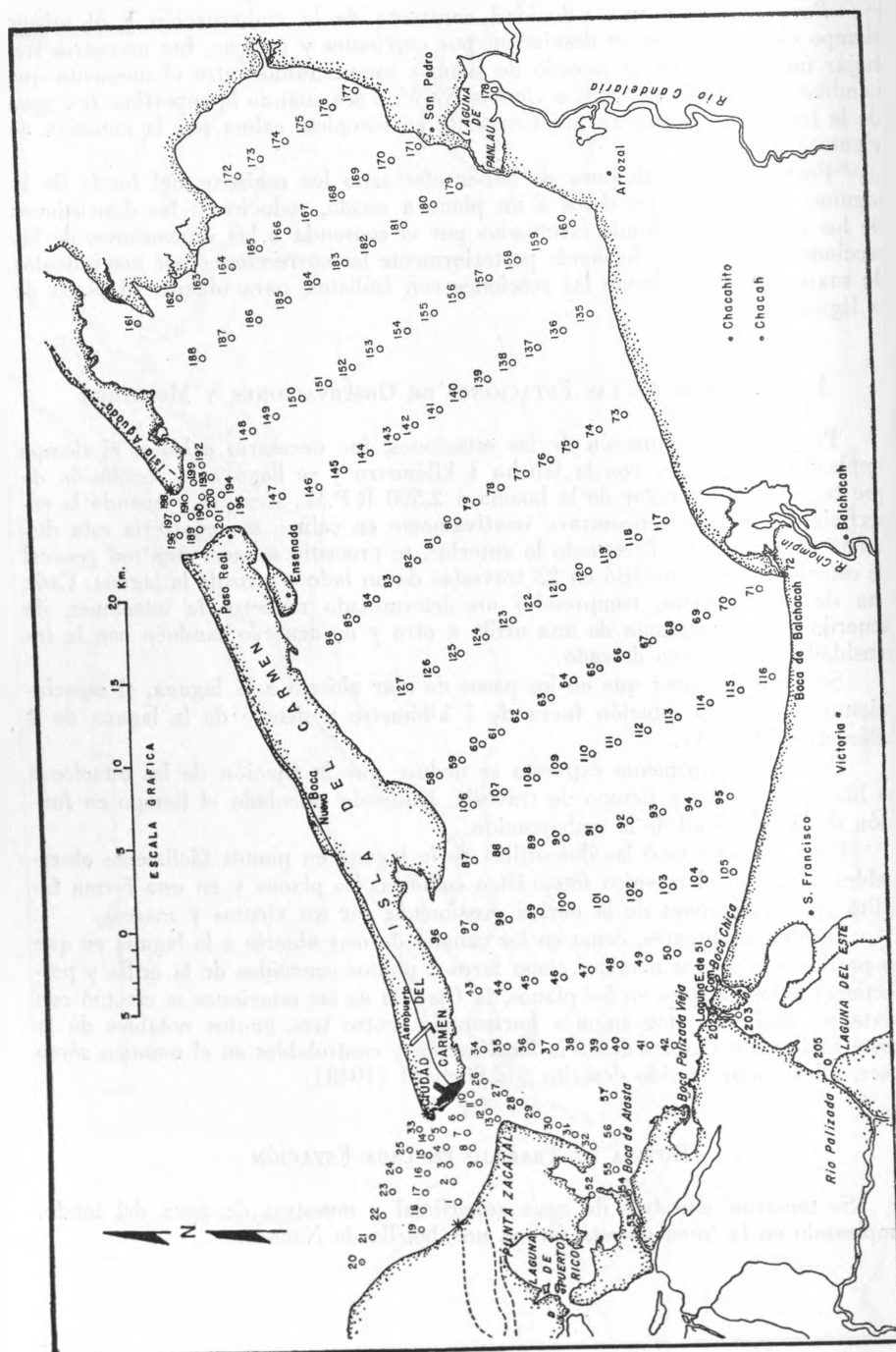


Fig. 4. Localización de las estaciones de observación y muestreo.

Estas dos muestras de agua destinadas para determinación de la salinidad, se almacenaban en botellas de polietileno especiales para este fin y enviándose inmediatamente a los laboratorios del Instituto de Geología para su análisis.

Se tomaron muestras de sedimentos del fondo con una draga de almeja tipo Van Veen. De la capa superficial de estos sedimentos se conservaron 10 cm³ para la determinación y estudio de los foraminíferos vivos y muertos, poniéndolos en frascos de vidrio y fijándolos con formol neutro al 5%.

El resto de los sedimentos obtenidos con el muestrero Van Veen, se conservó en otros frascos para estudio sedimentológico. En los casos en que no era posible la extracción de los sedimentos con la draga de almeja, se sacaron con un tubo de arrastre, suprimiéndose entonces el fraccionamiento de los sedimentos de la zona superficial para el estudio de los foraminíferos.

En las estaciones en que la profundidad no era mayor de 3 metros, se tomaron muestras de fondo con el "Tubo de Lankford", donado por la Scripps, colocando la parte inferior del núcleo en un frasco y fijándola con formol neutralizado.

El "Tubo de Lankford" es un nucleador mediante el cual se obtienen sedimentos recientes en aguas poco profundas. Está diseñado de tal manera que cortando el primer centímetro del núcleo, se obtienen 10 cm³ de sedimentos.

Consiste en varias partes intercambiables y cuya válvula de cierre es una pelota de hule, colocada en la parte superior, de tal forma que cuando el tubo es encajado en los sedimentos del fondo y posteriormente es jalado hacia arriba para extraer la muestra, la pelota cierra, por la presión de la columna de agua ejercida sobre ella, un orificio interior causando un vacío en el interior del tubo de plástico, que sujeta los sedimentos. El tubo de plástico queda fijo a la parte inferior del nucleador, mediante una uña que sirve para atornillar el tubo de plástico. (véase figura 5).

Se tomaron muestras de fauna bentónica con una red de arrastre especial; los ejemplares obtenidos se conservaron en frascos con agua de mar y formol neutralizado, con objeto de hacer posteriormente un estudio semicuantitativo.

Se tomaron muestras de plancton, con una red especial para este fin. En realidad las muestras de plancton se tomaron al final de la extracción de todas las demás, al empezar la travesía entre una y otra estación consecutiva. Se trató de que la velocidad de la lancha no fuera superior a tres nudos y además que fuera constante en todas y cada una de las muestras, también se le puso contrapeso a la red para que ésta permaneciera sumergida cuando menos 30 centímetros de la superficie del agua durante el arrastre. Se trató también de que el tiempo que permaneció la red funcionando dentro del agua, fuera exactamente de dos minutos desde el momento que entrara la red hasta el momento de sacarla.

Estas muestras también se almacenaron en frascos especiales y se fijaron con formol neutralizado.

Se tomaron muestras de fauna con redes de arrastre (chinchorro) tanto de dentro de la laguna como en las playas.

Se hicieron mediciones de la temperatura del agua superficial en cada una de las estaciones, obteniéndose con los valores determinados el plano de la dis-

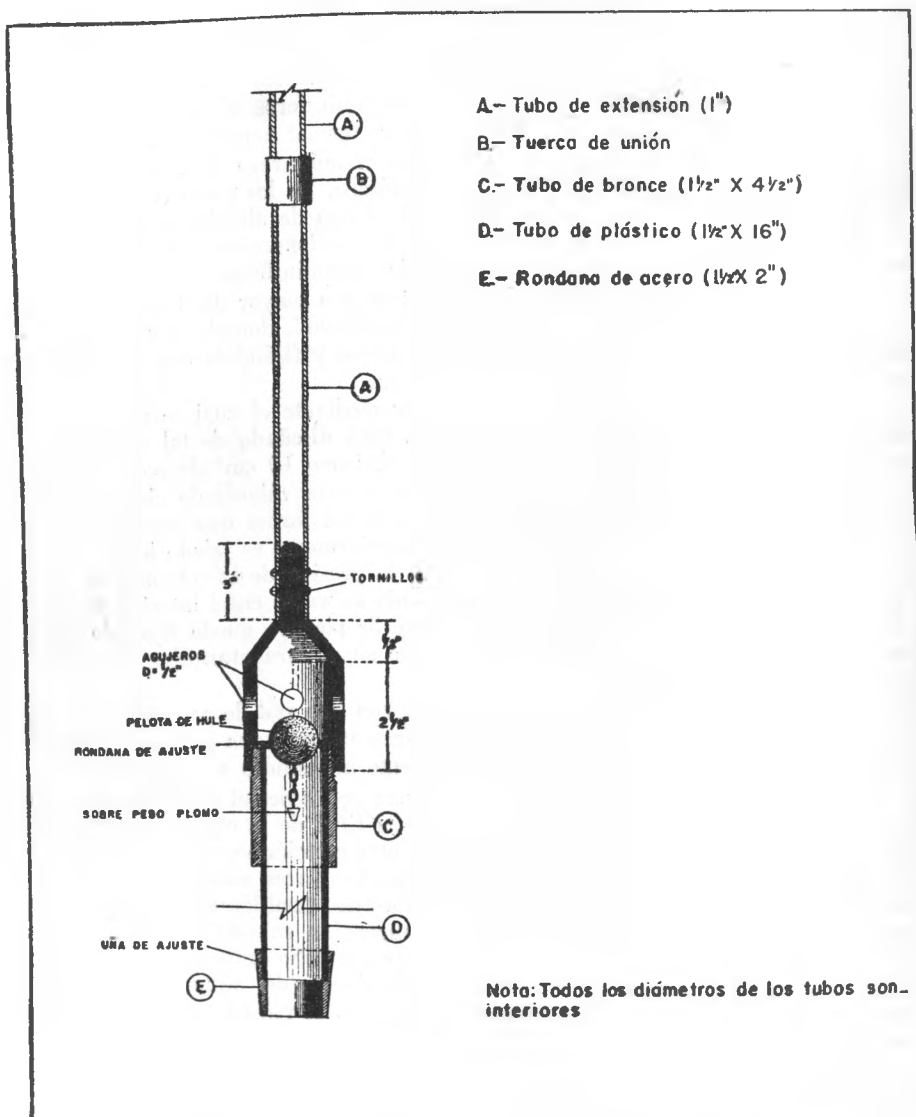


Fig. Diagrama del Tubo Nucleador de Lankford.

tribución generalizada de la temperatura del agua superficial en grados centígrados durante marzo-abril de 1959 (Fig. 6).

Se anotó la hora exacta de la toma de muestras en cada estación y también se hicieron algunas anotaciones de las observaciones del tiempo atmosférico.

Se trabajó también en la colecta de especies faunísticas y florísticas, tal como lo describe Zarur (1961).

El grupo de toma de muestras consistió de cuatro personas:

El biólogo A, Zarur comisionado por el Instituto Tecnológico de Veracruz; dos ayudantes, uno encargado de la navegación y otro que cooperó en la toma de muestras y el suscrito, comisionado por el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México para llevar a cabo este estudio.

MÉTODOS DE ESTUDIO Y TRABAJOS DE LABORATORIO

CONSIDERACIONES GENERALES

Debido a que en este estudio se ha pretendido obtener la mayor información posible para tratar de conocer las principales características que definen el ambiente de depósito de los sedimentos, el autor se ha visto en la necesidad de emplear varios métodos de estudio de sedimentos, basándose en sus principales características físicas y químicas.

ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE LOS GRANOS

Se han sugerido muchos métodos para representar en forma gráfica el tamaño de las partículas (Krumbein, 1936; Inman, 1952; etc.). De todos estos, el mapeo con isopletras (curvas basadas en el valor del diámetro medio), es muy conocido y en algunos estudios de sedimentos recientes ha sido el método principalmente usado, siendo de importancia en donde los sedimentos son bien clasificados. En este trabajo no se ha empleado por considerarlo de poco valor, debido a que las partículas son de tamaño muy diferente y provienen de fuentes muy distintas; por lo que se prefirió emplear el método usado por Inman y Chamberlain (1955), que al representar los sedimentos, tiene la ventaja de basarse en 3 datos obtenidos de las curvas de por ciento acumulativo.

Sin embargo, independientemente de la técnica seguida y debido a que el análisis granulométrico parte de la separación de los granos de arena del resto de la muestra y a que dicha fracción que ha sido separada, va a ser estudiada bajo el microscopio, para que cada grano pueda ser identificado individualmente, casi siempre se presentan errores cuando no se identifican los granos del sedimento original junto con aquellos que en una forma u otra han sido separados de la muestra estudiada.

Las posibles diferencias pueden ser causadas no sólo por el error de muestreo, sino también por el hecho de que en un sedimento natural, las partículas son más o menos agregadas. Por lo tanto, sólo en el caso de que el análisis sea de una arena, los resultados se pueden obtener con mayor seguridad, debido a que los granos de arena en estado natural no se adhieren a ningún otro.

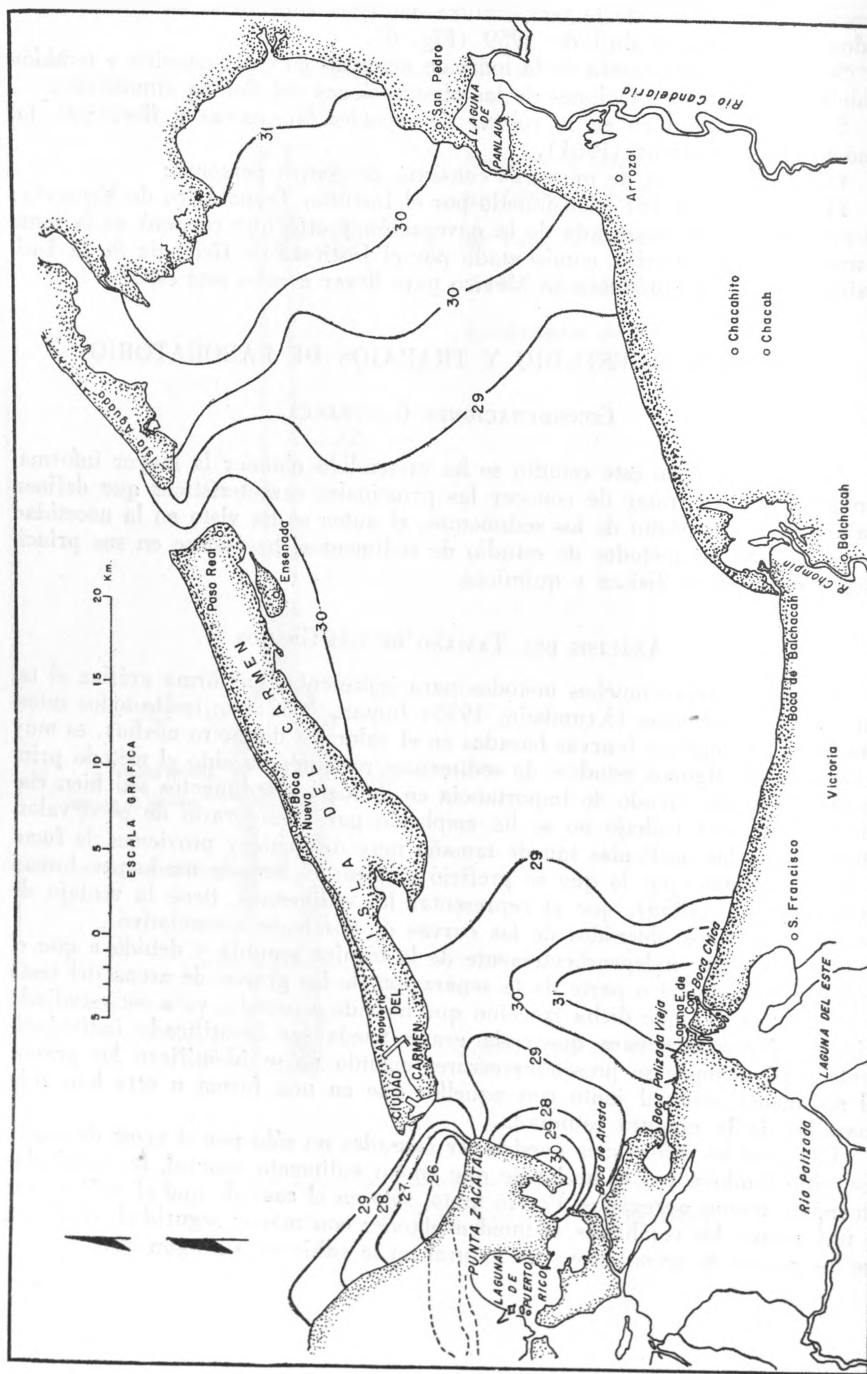


Fig. 6. Distribución generalizada de la temperatura de agua de la superficie en grados centígrados (marzo-abril de 1959).

Debe hacerse notar que todos los métodos de análisis, excepto el tamizado en seco, parten del material en suspensión, por lo que la exactitud del resultado final depende íntegramente del método de dispersión empleado en el análisis.

Por lo anterior al efectuarse el análisis granulométrico, debe tenerse siempre presente las siguientes consideraciones:

En la preparación de la suspensión, se destruye la estructura del sedimento y se rompe el agregado granular; sin embargo, las partículas finas de todos los sedimentos se "coagulan" a determinado grado y es teóricamente imposible preparar un sedimento para su análisis sin cambiar su estado de coagulación. Debido a esto, el análisis no puede decirnos el tamaño del agregado del cual el sedimento fue originalmente formado, ya que es prácticamente imposible reproducir en una suspensión el estado natural de un sedimento.

Ahora bien, si partimos del punto de que un sedimento es un conjunto de granos minerales tales como: fragmentos de roca, cristales minerales y probablemente también de minerales autigénicos, estos granos minerales variarán en tamaño de granos de arena a coloides. Es por esto que el análisis granulométrico combinado (tamiz y pipeta) se funda en la suposición de que es posible por medio de un tratamiento apropiado, que la dispersión de la muestra sea tan completa, que en el análisis subsecuente cada partícula responda individualmente, sin ser influenciada por las partículas vecinas.

En teoría, el objeto del tratamiento preliminar es dispersar la muestra en partículas simples o llegar a obtener una completa dispersión.

En la práctica, casi siempre hay un límite al que se puede llegar a este respecto y debemos darnos por satisfechos con aspirar a una máxima dispersión.

Debe hacerse hincapié en que se estudia los sedimentos bajo condiciones que probablemente nunca prevalecieron en la naturaleza, por lo que el análisis da dentro de lo posible la última composición del sedimento; por lo tanto el tamaño de las partículas nunca puede aparecer tal como en la naturaleza. Es claro que el conocimiento de la última composición es importante para propósitos de clasificación y que aporta valiosa información acerca de las condiciones bajo las cuales se formó el sedimento.

TEORÍA DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR

La tarea de dispersión de un sedimento se facilita si se considera que está constituido únicamente de material del tamaño de los granos de arena, debido a que éstos están bien definidos y no están sujetos a procesos de coagulación, por lo que se asentarían a través de una suspensión sin tener en cuenta a los demás granos presentes (Gripenberg, 1938).

Sin embargo, las partículas más pequeñas llegan a hacer muy difícil dicha tarea. Por ejemplo, si un grano de arena es subdividido en granos más pequeños por desintegración mecánica o por intemperismo, en las partes individuales del grano original se producen nuevos y graduales cambios de propiedades conforme se hacen más pequeños.

Por otra parte, se conoce perfectamente que el comportamiento de las suspensiones finamente granulares, se asemejan muchísimo al de las soluciones

coloidales. Además, en la mayoría de los sedimentos recientes siempre se tiene una mayor o menor cantidad de material coloidal, por lo que el éxito del tratamiento preliminar depende de como se trate ese material.

Se sabe también que las partículas finas en suspensión llevan carga eléctrica (comúnmente carga negativa) y se cree que tienen un comportamiento similar a la de las partículas coloidales, por lo que cada partícula es rodeada por una doble capa de iones, una interior de iones negativos firmemente adherida a la superficie por la acción de la valencia residual y la correspondiente capa exterior adherida por atracción electrostática.

Una partícula incluye además de la capa interior y exterior de iones, el agua que forma la hidratación. Es por esto que hoy se reconoce de una manera general que el estado de coagulación de una suspensión depende de la naturaleza de iones absorbidos y de la interacción de esos iones con aquellos del agente dispersante.

MÉTODO USADO EN EL TRATAMIENTO PRELIMINAR

Debido a que en el tratamiento preliminar no sólo se debe considerar la fuerza de coagulación de los electrolitos (Gripenberg, 1938), sino que también debe tomarse en cuenta el efecto cementante de los coloides orgánicos y de los carbonatos, además de la cohesión mecánica entre las partículas, en el proceso de laboratorio se emplearon los 5 tipos de tratamiento siguientes:

- 1.—Tratamiento químico con agentes oxidantes, con el fin de destruir los compuestos orgánicos.
- 2.—Tratamiento químico con ácidos para llevar a cabo la solución de carbonatos.
- 3.—Extracción de los electrolitos mediante el lavado.
- 4.—Adición de "Peptizadores" tales como carbonato de sodio, oxalato de sodio, etc.
- 5.—Tratamiento mecánico tal como agitar, mover, resolver, etc.

Efectuado el tratamiento preliminar, las muestras se separaron tamizándolas en húmedo a través de una malla 230 (4.0ϕ), usándose un cilindro graduado de 1000 cc para almacenar la fracción fina (todas las partículas menores de 62 micras o 4ϕ) para ser analizada por pipeta y secando la fracción gruesa (todas las partículas mayores de 62 micras o 4ϕ) para ser analizada a través de un conjunto de tamices.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL ANÁLISIS

Para obtener representaciones gráficas que facilitaran la comparación y el estudio de los datos obtenidos en el análisis del tamaño de las partículas de los sedimentos, se obtuvieron curvas granulométricas de por ciento acumulativo, co-

locando los valores de los distintos grados límites de los tamaños de las partículas en papel milimétrico; poniendo en el eje de las abscisas las unidades ϕ y en el eje de las ordenadas, la escala de 0 a 100% (Fig. 7).

Escala empleada.—La escala más comúnmente usada para determinar el tamaño de las partículas de un sedimento, es la escala de Wentworth, (primeramente propuesta por Udden). Esta escala forma una serie geométrica en la que cada grado límite es sucesivamente la mitad del tamaño subsecuente o el doble del tamaño anterior.

Se puede expresar como: $E = 2^{-\phi}$

En la que E es el diámetro en mm y ϕ es un exponente tal, que para cualquier valor de E , tiene un correspondiente valor negativo. El signo negativo se adoptó por conveniencia, para que los valores de E menores de la unidad sean positivos.

Ahora bien, si se toma el logaritmo de la base 2 de la expresión anterior, tenemos que:

$$\phi = -\log_2 E$$

Que es la ecuación fundamental de la escala ϕ .

Esta escala ϕ , fue ideada por Krumbein y es mucho más conveniente para representar los datos cuando están expresados en mm. Por esto, en el desarrollo de este trabajo, se ha empleado únicamente la escala ϕ tanto en la representación gráfica de los datos como en la obtención de los parámetros estadísticos.

El límite de tamaño de las partículas expresados en unidades ϕ , se colocan en el eje de las abscisas con las partículas más gruesas a la izquierda, y las más finas a la derecha (se acostumbra colocarlos en esta forma).

Los puntos por los que debe pasar la curva de la frecuencia acumulativa se determinan de la siguiente manera: Si por ejemplo 32% del material es más grueso de 2ϕ , se toma la línea del 32%, en el eje de las ordenadas y la línea de 2ϕ en el eje de las abscisas. En el lugar en donde se cortan estas dos líneas, se obtiene el punto por el que debe pasar la gráfica.

La muestra analizada normalmente forma una curva en forma de "S". Las ventajas que presentan estas curvas son: que todos los parámetros estadísticos pueden leerse exactamente de dicha gráfica. Además, se pueden comparar las muestras cuantitativamente con la determinación de los parámetros estadísticos. Otra ventaja es que la forma de la curva es independiente de los tamices usados: Además, es el método más comúnmente usado actualmente en la representación gráfica de los datos obtenidos en el análisis de sedimentos recientes.

La única desventaja que presenta es que la gráfica no es expresiva para las personas que no están familiarizadas con esa clase de curvas.

A continuación se muestra la relación de la escala ϕ con las diferentes escalas comúnmente usadas.

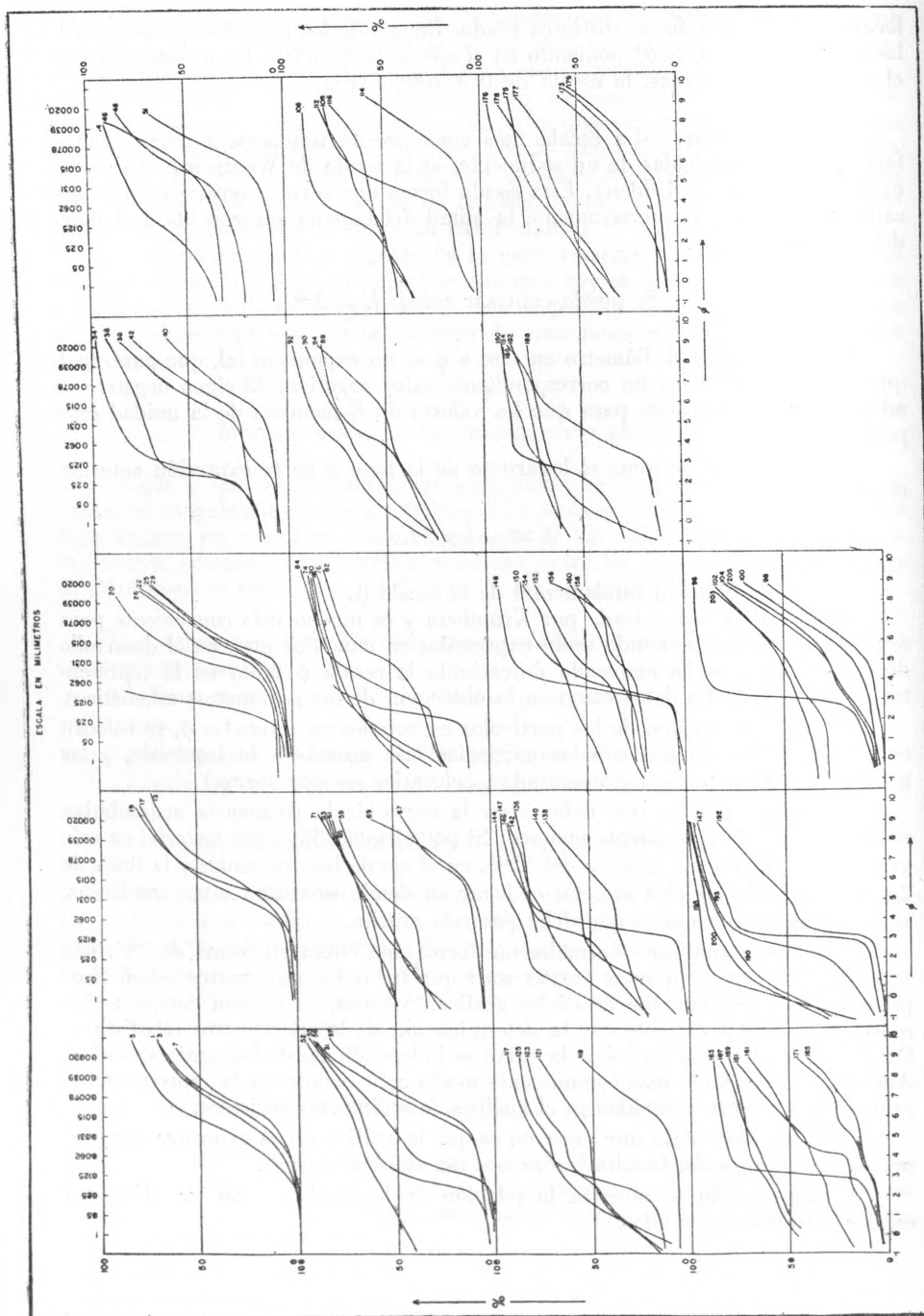


Fig. 7.—Curvas granulométricas de los sedimentos.

ϕ	mm	micras μ	Wentworth (1922) después de Udden, (1898)	
-8	256	100	G	canto rodado
-7	128		R	Guijarro
-6	64		A	Matatena
-5	6	10	V	
-4	5		A	
-3	4	1	A	Gránulo
-2	3			
-1	2			
0	1	1000	A	Muy gruesa
+1	$\frac{1}{2}$	500	R	Gruesa
+2	$\frac{1}{4}$	250	E	Media
+3	$\frac{1}{8}$	125	N	Fina
+4	$\frac{1}{16}$	62.5	A	Muy fina
+5	$\frac{1}{32}$	31.3	L	Grueso
+6	$\frac{1}{64}$	15.6		Medio
+7	$\frac{1}{128}$	7.6		Fino
+8	$\frac{1}{256}$	3.2	O	Muy fino
+9	$\frac{1}{1024}$	1.95	A	Gruesa
+10		0.98		Media
+11		0.49		Fina
+12	$\frac{1}{4096}$	0.24	L	Muy fina
			A	COLOIDES

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS USADOS

Los sedimentos han sido clasificados de acuerdo con los valores obtenidos de los siguientes parámetros estadísticos tomados directamente de Inman and Chamberlain (1955):

- (M_o) o medición del diámetro modal.
- (M_d) o medición del diámetro medio.
- ($\sigma\phi$) o medición del grado de clasificación.
- ($Sk\phi$) o medición del grado de simetría.

Diámetro modal (M_o).—Corresponde al valor del punto de inflexión de la curva, es de gran valor en el estudio de la génesis y transporte de los sedimentos, especialmente cuando dos o más fuentes contribuyen a la formación de aquellos. El diámetro modal cambia muy poco en determinadas áreas de condiciones específicas, mientras que en otras cuyas condiciones son muy variables, sus valores tienden a ser muy erráticos.

Diámetro medio (M_d).—Es el diámetro de las partículas correspondiente a la marca del 50% de la curva granulométrica y su valor puede ser expresado en mm o en unidades ϕ . Es el parámetro estadístico más comúnmente usado y el más fácil de determinar. El valor del diámetro medio no es afectado por los extremos de la curva, por lo cual, no expresa todos los tamaños del sedimento; sin embargo, es un dato de gran valor al obtener el grado de simetría y algunas propiedades físicas de un sedimento, tales como esfericidad, redondez, etc.

Grado de clasificación ($\sigma\phi$) conocido también como *desviación gráfica standard* (Folk, 1959).—Se obtiene a partir de dos valores de la curva granulométrica, abarcando la porción medida el 68% de la parte central de la curva comprendida entre los diámetros percentiles 84 y 16, determinándose su valor de la siguiente relación:

$$\sigma\phi = 1/2 (\phi_{84} - \phi_{16})$$

Nótese que esta relación nos da una medida, de la uniforme distribución en unidades ϕ del tamaño de las partículas, por lo que, el signo ϕ debe estar siempre sumado a los valores del grado de clasificación del sedimento.

Para un gran número de muestras, Folk (1959) ha sugerido la siguiente clasificación práctica:

Sedimentos muy bien clasificados para valores menores de 0.35 ϕ .

Sedimentos bien clasificados de 0.35 ϕ a 0.50 ϕ .

Sedimentos moderadamente bien clasificados de 0.50 ϕ a 0.71 ϕ .

Sedimentos moderadamente clasificados de 0.71 ϕ a 1.00 ϕ .

Sedimentos pobremente clasificados de 1.00 ϕ a 2.00 ϕ .

Sedimentos muy pobremente clasificados de 2.00 ϕ a 4.00 ϕ .

Y sedimentos extremadamente mal clasificados, para valores mayores de 4.00 ϕ .

La mejor clasificación obtenida por un sedimento natural es entre 0.20 ϕ a 0.25 ϕ .

Mediciones de simetría o Skewness (Sk_q).—Las curvas pueden ser similares en el promedio de los tamaños y en clasificación, pero una puede ser simétrica y otra asimétrica. El cuartil Skewness ($Sk_q \phi$) nos da el grado de simetría de la curva así como el signo positivo o negativo, para saber cuando una curva tiene una cola simétrica a la izquierda o a la derecha. El signo positivo indica que el sedimento tiene exceso de material fino ($< 62 \mu$) (la curva de porcentaje acumulativo mostrará una cola a la derecha); el signo negativo indica un exceso de material grueso (la curva deberá mostrar una cola a la izquierda).

Este cuartil es calculado a partir de la expresión:

$$Sk_q = \frac{M\phi - Md\phi}{\sigma\phi}$$

En donde $M\phi = \frac{1}{2} (\phi_{84} + \phi_{16})$, es un valor del diámetro intermedio de los granos.

En la tabla 2, se presentan los valores de los parámetros estadísticos, pudiendo observarse en el diagrama de la figura 8, a los tres grupos principales de sedimentos tipo resultantes de la relación de esos parámetros.

La distribución geográfica de los tres grupos de sedimentos tipo se muestran en la figura 9.

RELACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS O VALORES DESCRIPTIVOS DE LOS SEDIMENTOS DE LA LAGUNA DE TERMINOS, CAMPECHE.

Muestra No.	$M_d \phi$	$\sigma \phi$	$Sk_q \phi$
1	7.5	3.25	0.38
3	7.3	3.75	0.38
5	5.9	2.85	0.33
7	8.0	3.50	0.43
13	7.25	3.90	0.47
17	6.3	3.15	0.49
19	6.5	2.57	0.55
20	5.25	1.72	0.36
22	6.95	2.17	0.12
24	3.0	0.55	-0.27

Muestra No.	Md ϕ	$\sigma \phi$	Skq ϕ
26	6.1	2.20	0.12
27	7.1	4.62	0.10
28	7.25	2.30	0.26
34	2.8	1.85	0.01
36	2.5	3.57	0.47
38	6.5	4.17	-0.37
40	8.4	3.30	0.24
42	7.2	3.35	-0.19
44	2.05		
46	6.05		
49	5.85	5.87	-0.54
51	7.7	2.25	0.06
31	7.1	1.87	0.06
52	0.9	5.27	0.36
53	3.25	3.2	0.70
56	5.15	2.92	0.30
57	7.45	2.20	0.16
59	4.9	6.8	-0.01
61	3.25	5.92	0.11
63	2.75	4.95	0.33
65	0		
67	10	6.45	-0.07
69	8.65	2.07	-0.11
71	0		
74	2.65	2.00	0.68
76	0.6	5.30	0.06
78	1.05	4.30	0.52
80	1.35	3.72	0.42
82	5.1	5.02	0.03
84	3.6	3.70	-0.26
88	3.85	6.35	0.10
90	1.60	4.37	0.35
92	0.60	3.30	0.35
94	5.45	5.32	-0.33
96	3.15	0.62	-0.22
98	8.30	2.60	0.02
100	7.60	2.55	-0.02
102	4.65		
104	6.90	3.12	-0.28
106	2.10	4.55	0.41
108	5.20	3.65	0.59
112	4.40	6.00	-1.50
114	9.05	2.55	0.02

Muestra No.	Md ϕ	$\sigma \phi$	Skq ϕ
116	2.50	6.15	0.19
117	2.85	2.75	0.15
119	8.45	3.22	0.18
121	2.75	5.57	0.30
123	2.55	5.15	0.33
125	1.50	3.60	0.50
136	3.00	4.75	0.13
138	6.5	6.55	-0.27
140	2.60	5.25	0.53
142	0.85	4.3	0.50
144	-0.10	2.67	0.44
146	3.70	1.40	0.71
148	3.70	0.80	0.25
150	4.10	3.65	0.75
152	4.75	6.05	-0.05
154	1.5	8.00	-0.31
156	8.05	6.37	-0.74
158	8.25	6.00	-0.64
160	7.65	6.90	-0.40
161	5.50	5.35	-0.21
163	3.15	1.50	0.73
165	9.75	3.50	-0.14
167	0.90	5.40	0.48
169	0.40	6.25	0.53
171	9.25	3.90	-0.24
173	9.15	3.80	-0.17
175	1.40	5.97	0.31
176	-0.85	4.35	0.52
177	1.80	5.27	0.45
178	2.30	5.45	0.08
179	9.40	3.02	-0.21
180	-2.25		
182	-1.75		
184	2.20	3.25	-0.45
186	0.80	4.65	0.66
188	4.65	5.37	0.56
147	3.2	1.47	0.80
190	0.25	2.95	0.34
192	5.2	2.40	0.37
193	2.6	1.92	-0.05
195	-0.05	1.10	0.00
200	-0.05	2.37	0.28
203	5.2		
205	7.2	3.25	-0.36

NOMENCLATURA DE LOS SEDIMENTOS DE ACUERDO CON EL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS

A partir de los análisis granulométricos, se calcularon también los porcentajes de arena, limo y arcilla, con objeto de determinar la nomenclatura de los sedimentos de acuerdo con el tamaño de sus partículas, siendo la base de clasificación un diagrama ternario al que Shepard (1956) le asignó una nomenclatura textural colocando las proporciones de arena, limo y arcilla, como se muestra en el diagrama de la figura 10. Definiéndose su nomenclatura de acuerdo con las proporciones relativas, de esos tres constituyentes, por ejemplo: arena limosa, limo arcilloso, arcilla arenosa, etc.

La proporción de arena y limo-arcilla es la propiedad que debe ser determinada, debido a que refleja el aumento e intensidad de los vientos dominantes en el lugar del depósito.

La mayor o menor proporción de material grueso ($>62\mu$) es en parte también una función de la velocidad de las corrientes en el momento del depósito.

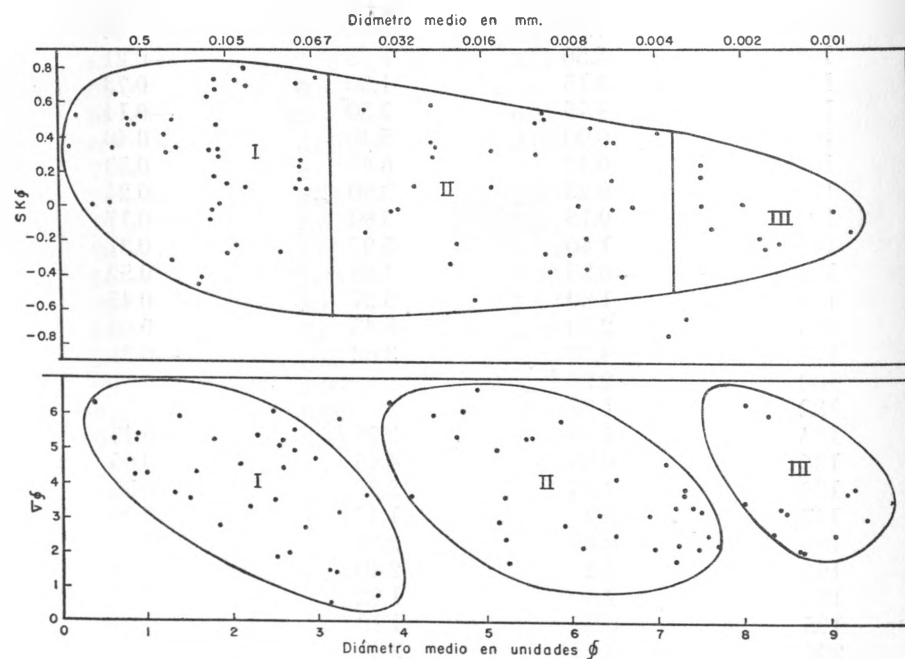


Fig. 8. Relación de parámetros.

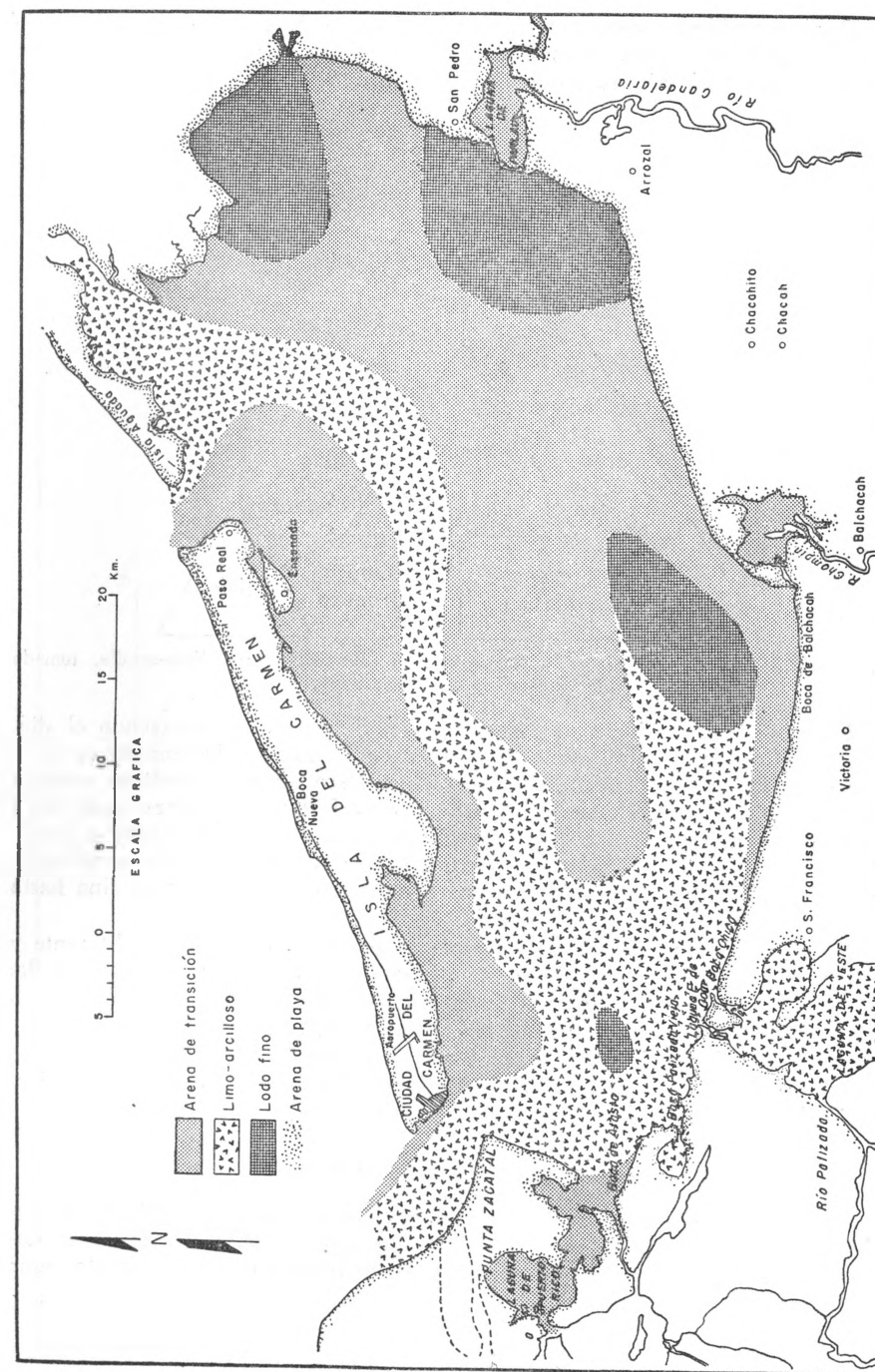


Fig. 9. Distribución geográfica de los sedimentos tipo.

Estas dos simples determinaciones (porcentaje de arena y porcentaje de limo) son suficientes para situar la posición de las muestras en uno de los diez grandes grupos texturales mostrados en la figura 10.

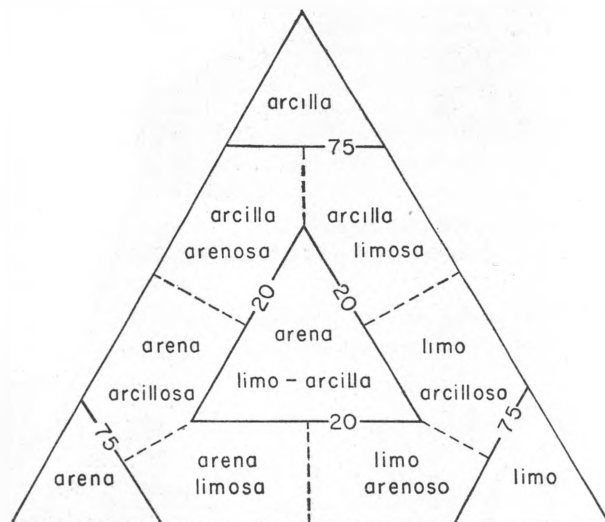


Fig. 10. Triángulo de nomenclatura basado en el porcentaje arena-limo-arcilla, tomado de Shepard y Moore (1955).

Esta fina subdivisión puede ser también determinada conociendo el diámetro medio de la fracción arenosa considerándola independientemente de cualquier otra fracción que pueda estar presente. Para algunas muestras, esto no es posible, pero para la mayoría, puede ser perfectamente determinado para propósitos de trabajo en el campo; específicamente cuando el material es bimodal, por ejemplo, cuando se usa la escala de Wentworth para granos estándar que varían de: arena muy gruesa, arena gruesa, arena media, arena fina hasta arena muy fina.

Para los limos y arcillas casi siempre se usa un procedimiento diferente y el nombre del sedimento depende de la proporción relativa entre limo y arcilla. Esta proporción es muy difícil de determinar y el único procedimiento realmente satisfactorio es el uso del análisis granulométrico con la pipeta.

De acuerdo con el grupo textural que le correspondió a cada una de las muestras analizadas en el diagrama ternario se hizo su distribución geográfica, obteniéndose la figura 11.

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN GRUESA BAJO EL MICROSCOPIO

El método para caracterizar el tamaño de los granos en relación a su contenido arena-limo-arcilla, ha sido de valor muy especial para el área de la Laguna de Términos, debido a que las dos grandes fuentes de los sedimentos son:

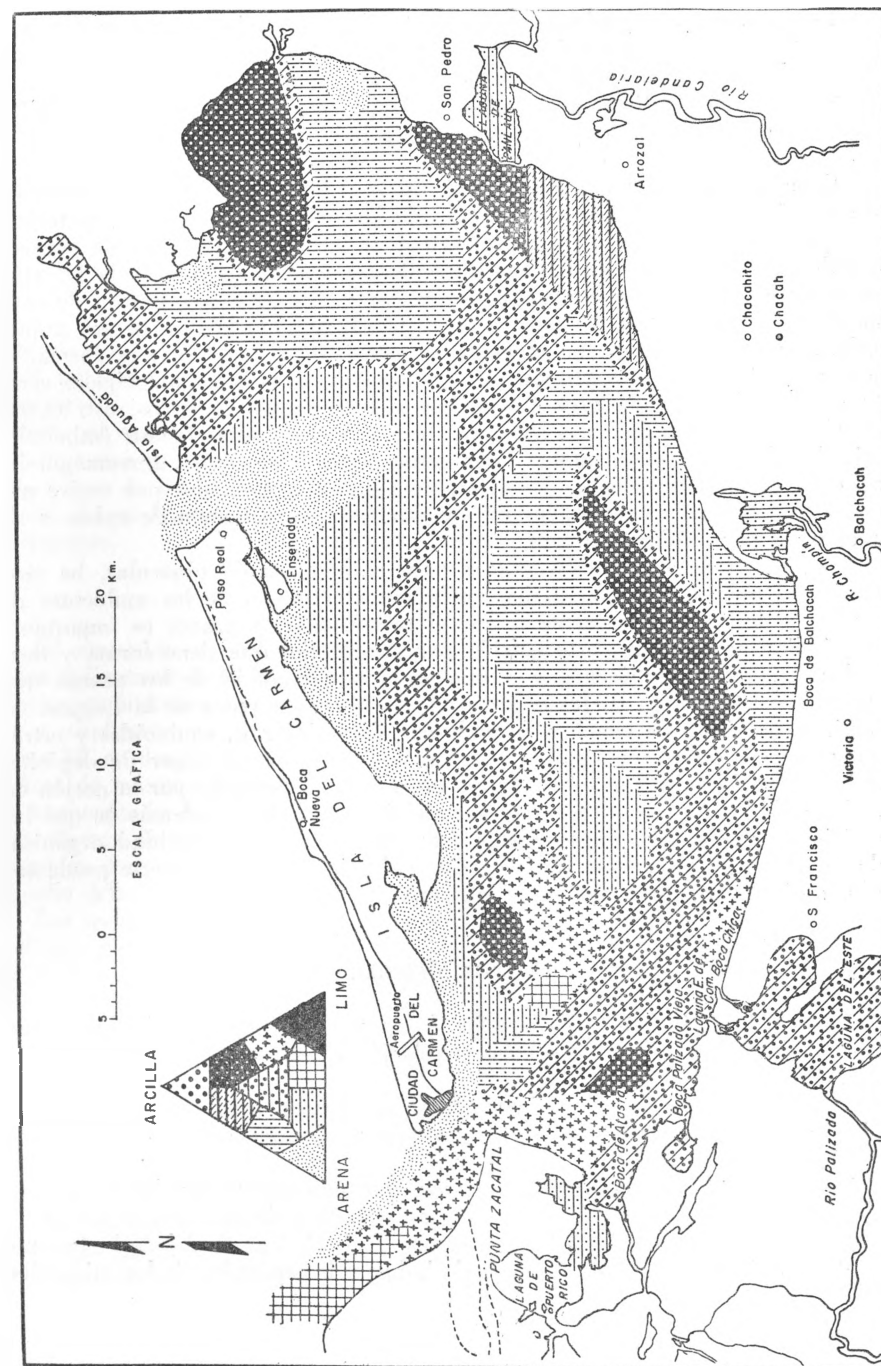


Fig. 6. Mapa de distribución granulométrica de los sedimentos, según el Triángulo de Shepard y Moore (1955). Tornado de Yáñez (1963)

- 1.—La arena acarreada de mar abierto por las corrientes que corren a lo largo de la costa e introducida por las corrientes de mareas a través de los canales (principalmente por Paso Real) y
- 2.—La arcilla y limos acarreados del continente por los ríos e introducida por la boca de los estuarios, cuando baja la marea.

El método llamado por Shepard y Moore (1955) análisis de la fracción gruesa bajo el microscopio, ha sido uno de los más valiosos para caracterizar los medios ambientes del área de la Laguna de Términos. Este método consiste en estimar el porcentaje de los constituyentes más significativos de la fracción gruesa de los sedimentos, contando generalmente de 100 a 500 granos de cada una de las fracciones de la parte gruesa y colocando cada uno de los granos conforme se van contando en el grupo que le corresponde. En esta forma, se encontraron los siguientes grupos, que se consideran como los principales constituyentes de la fracción gruesa: conchas y fracción de moluscos, ostrácodos, etc., glauconita, foraminíferos, espículas de esponja, mica, terrígenos (minerales derivados de áreas continentales, tales como cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, etc.) además también se han incluido agregados formados por varios minerales que han sido cementados principalmente por carbonato de calcio y algunos otros por óxidos de hierro.

El análisis de la fracción gruesa bajo el microscopio binocular, ha sido superior al análisis granulométrico en la caracterización de los ambientes de depósito, debido principalmente a que el tamaño de los granos es importante como indicador del transporte sufrido por el material que tiene forma y densidad relativamente uniforme, y a que un alto porcentaje de los granos que forman la parte gruesa de los sedimentos, en la mayor parte de la Laguna de Términos, consisten de conchas de moluscos, foraminíferos, equinoides y ostrácodos; muchos de los cuales, han crecido en, o casi en su lugar de depósito, por lo que su forma y tamaño han sido poco o nada afectados por la acción de las olas o de las corrientes. Como resultado de lo anterior y además de que las condiciones ecológicas se manifiestan favorables a la productividad orgánica, debe considerarse al proceso orgánico como el principal y más fuerte productor de los sedimentos depositados en la laguna.

ANÁLISIS MINERAL

Los granos minerales del tamaño de arena consisten principalmente de cuarzo y una cantidad muy pequeña en relación a ésta, de feldespatos y ferromagnesianos.

Debe hacerse notar que únicamente se analizaron unas cuantas muestras en las que se encontraron los más altos porcentajes de minerales terrígenos (60%).

Los minerales pesados son tan escasos, que únicamente con las fracciones gruesas de las muestras 3 y 5 juntas, forman el 0.05% de su fracción gruesa.

La identificación de éstos fue hecha por T. J. H. Van Andel de la Institución Scripps de Oceanografía, después de haber sido separados de los minerales

ligeros en tetrabrometano y montados en platinas de vidrio con bálsamo de Canadá, habiendo encontrado: biotita, granate, rutilo, olivino, zircón y, como más abundante, la hornblenda. Debido a lo escaso de los minerales pesados en los sedimentos de la Laguna de Términos, han sido poco significativos en la caracterización de los ambientes de depósito.

ANÁLISIS DE LA ARCILLA MINERAL

Grim (1962) afirmó que el uso del análisis térmico diferencial sirve para mostrar la naturaleza de las arcillas minerales, basándose en eso, en el laboratorio de Mineralogía y Petrografía del Instituto de Geología, a cargo del ingeniero Eduardo Schmitter, se obtuvieron curvas del análisis térmico diferencial de 5 muestras seleccionadas indicando que el material contiene abundantes impurezas de carbonato de calcio, pero no indican la presencia de arcillas caoliníticas ni bentoníticas (Fig. 12).

Por otra parte, las curvas muestran sólo pequeñas variaciones, que hacen pensar que de ser arcillas minerales, son relativamente estables por lo que de ser así, no pueden ser usadas como ayuda en la diferenciación de los ambientes de depósito.

ANÁLISIS QUÍMICO

El contenido de carbonato de calcio de un grupo seleccionado de muestras de los sedimentos de la Laguna de Términos, fue determinado mediante análisis químico cuantitativo siguiendo el método por pérdida de peso de CO_2 a través de un alcalímetro de Schroetter. Los resultados del análisis se muestran en la figura 13, en donde se definen ciertas áreas de máximos y mínimos porcentajes. El área de máximo porcentaje parece ser el resultado del gran aporte de material carbonatado de origen marino, acarreado por las fuertes corrientes rectilíneas clásicas de mareas a través del canal de Paso Real hacia el interior de la laguna en donde es distribuido y depositado, dando lugar a la formación de un pequeño delta interior.

Los sedimentos acarreados por el río Candelaria, cuyo contenido de CaCO_3 es el más alto en relación al de los demás sedimentos aportados por los demás ríos a la laguna, regulan el carácter químico de los sedimentos de la parte oriental de la laguna, observándose en la estructura interna de los sedimentos bandeamientos o laminaciones con intercalaciones de pequeños estratos presentando colores claros fuertemente carbonatados con pequeños estratos también de colores oscuros que reflejan la potencialidad de la productividad orgánica.

A partir del área de máximo porcentaje, la distribución se hace bandeada y casi paralela a sus límites, observándose una constante disminución en el contenido de CaCO_3 conforme más alejada se encuentra la localidad de la muestra analizada.

La distribución muestra también que las áreas con abundancia de 40-50 y 50-60 en % de CaCO_3 , reflejan indirectamente la intensidad y alcance de la transportación eólica sufrida por los sedimentos carbonatados (principalmente

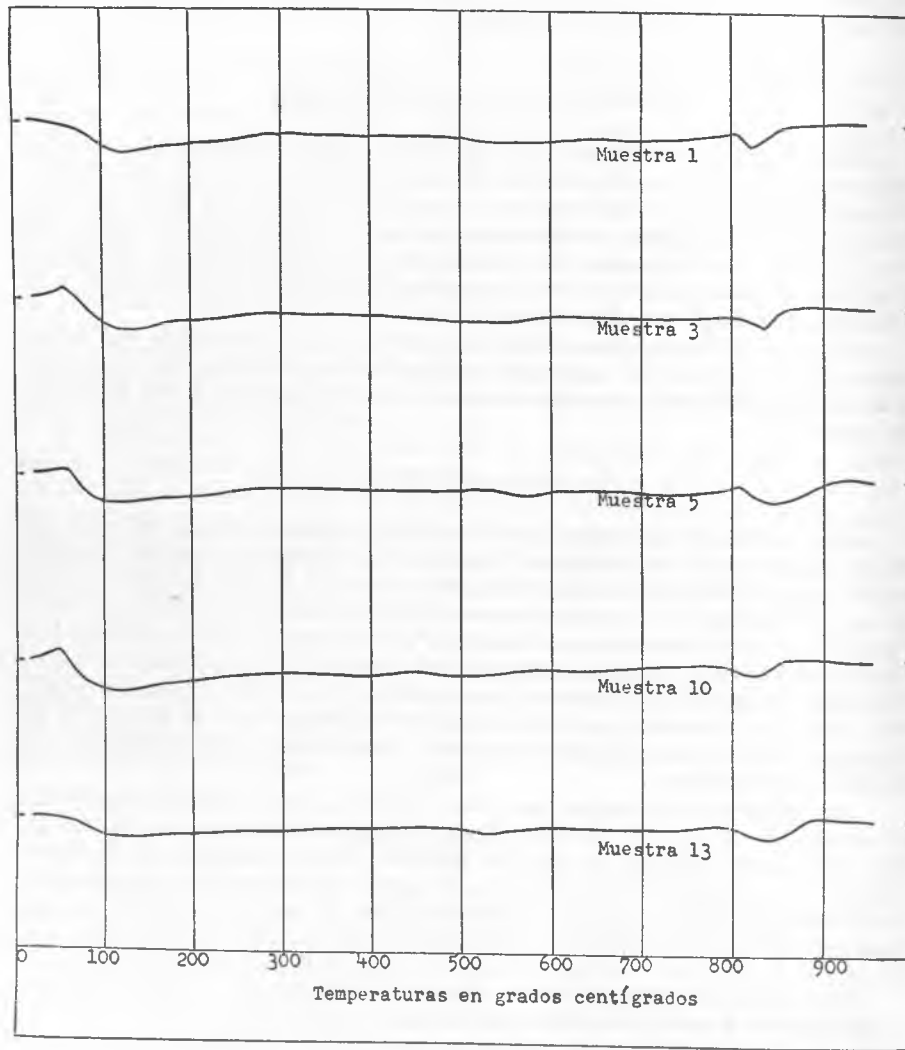
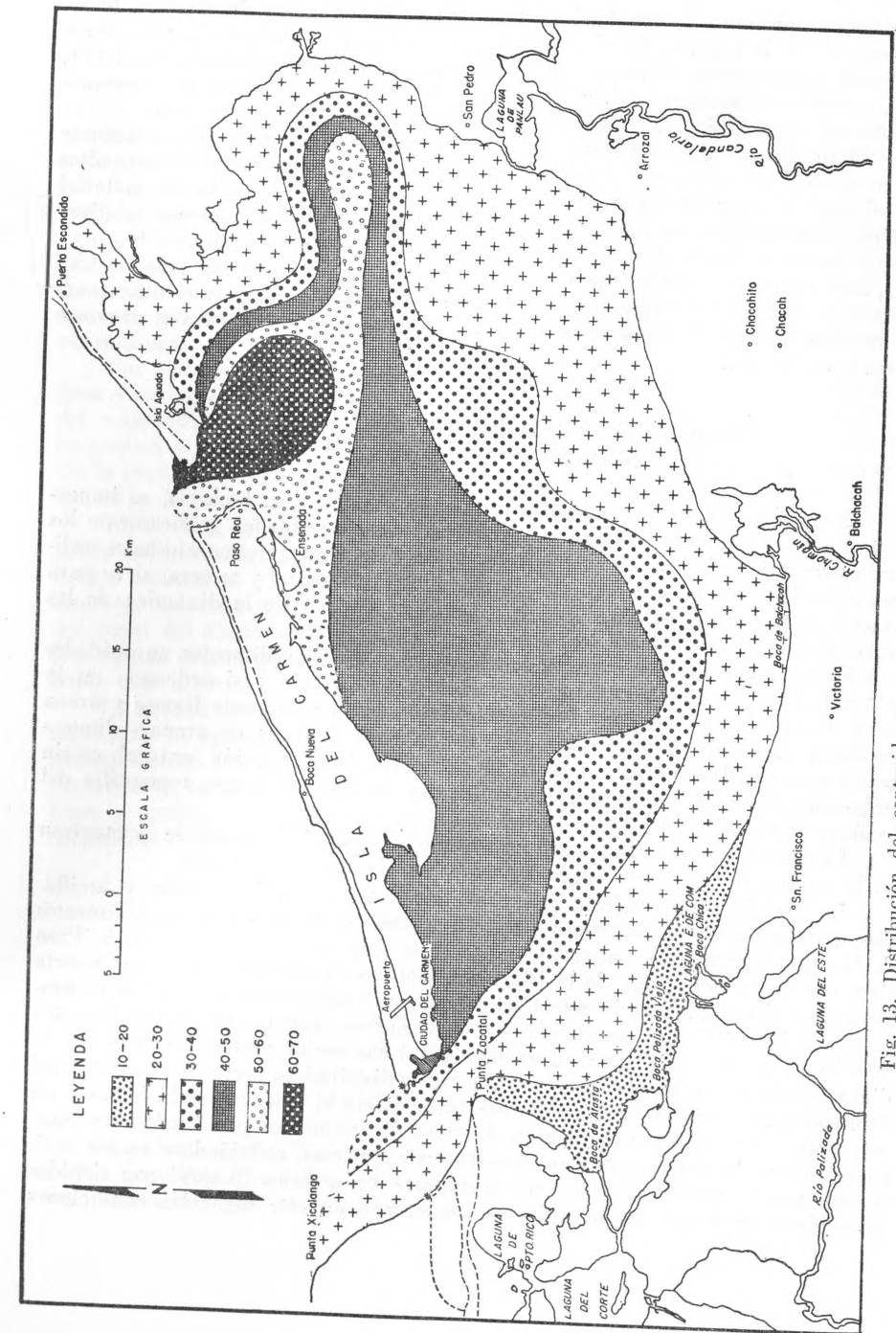


Fig. 12. Curvas de análisis térmico diferencial.

Fig. 13. Distribución del contenido en porcentaje de CaCO_3 de los sedimentos.

conchas y fracciones de conchas) de la barra de arena o isla del Carmen hacia el interior de la laguna. En el área comprendida por la Boca de Atasta, Boca Palizada Vieja y Boca Chica se observa que los valores del contenido de CaCO_3 casi siempre son menores del 20%, debido a que en esa área, existe constantemente una apreciable intensidad de las corrientes derivadas de los ríos.

El significado de los valores del carbonato de calcio no es completamente claro como debía esperarse, sin embargo, los valores son considerablemente altos en el área cercana al canal de Paso Real en donde el depósito de material carbonatado alcanza su mayor capacidad, mientras que hay valores relativamente bajos en donde los depósitos clásticos son más abundantes.

Los valores del carbonato de calcio no están necesariamente relacionados al tamaño de las partículas, debido a que se encuentran algunos muy altos tanto en arcillas limosas de la parte media de la laguna como en las áreas arenosas cercanas a la isla.

LITOLOGIA GENERAL DE LAS UNIDADES DE LOS SEDIMENTOS RECIENTES

La descripción de las unidades de los sedimentos y su litología, es importante por tres razones: primera, es la única forma de obtener gráficamente los límites sedimentarios del área. Segunda, sirve para ilustrar estas unidades sedimentarias basándose únicamente en la terminología textural y tercera, sirve para conocer a partir de su distribución geográfica, mucho de la dinámica de las corrientes en el momento del depósito.

En la figura 11, que muestra la distribución de los sedimentos en unidades texturales, se puede observar que tienden a un arreglo casi ordenado en la parte central de la laguna, consistiendo principalmente de arena limosa y arena arcillosa, mezclándose gradualmente con una zona estrecha de arena —limo— arcilla que casi las rodea. Este arreglo casi ideal de graduación textural, es sin embargo fuertemente alterado por las fuentes de los sedimentos, topografía del fondo y circulación del agua.

Las áreas que no presentan este arreglo general, únicamente se encuentran en la parte noreste y oeste de la laguna y en el canal del Carmen.

La amplia zona cubierta por arena-arcillosa, arena-limo-arcilla y arcilla-limosa de la parte noroeste, parece ser el resultado de la mezcla de los sedimentos de las dos fuentes que tenemos: la corriente que entra por el canal de Paso Real que introduce arena de la isla o del Golfo y el río Candelaria que aporta limo y arcilla. Esta mezcla selectiva parece ser aparentemente también controlada por las corrientes producidas por las mareas, por lo que, los sedimentos más finos, los encontramos confinados a las áreas mejor protegidas al efecto de dichas corrientes y los sedimentos más gruesos distribuidos tanto dentro del canal de Paso Real como en el área de este canal hacia el interior de la laguna; en este lugar hay una gran formación de "bajos" producidos por verdaderos biostromas de moluscos y acumulaciones de sus esqueletos, reflejándose en los sedimentos por la abundancia de su contraparte viva. Estos "bajos" son debidos probablemente a que los organismos encuentran en este lugar las condiciones

medio-ambientales más favorables para su desarrollo por el constante reemplazamiento de la materia que los nutre.

En el área oeste de la laguna, comprendida entre el canal del Carmen y la desembocadura del río Palizada, se puede observar una mayor variación textural de los sedimentos, distribuidos en áreas pequeñas, resultado de la mezcla gradual de los materiales arcillo-limosos, aportados tanto por el río Candelaria como por el río del Este, con la arena de la barra o Isla del Carmen.

La distribución en áreas pequeñas está perfectamente controlada por las corrientes producidas por las aguas de los ríos del Este y Palizada y por las aguas el interior de la laguna cuando baja la marea, en dirección a mar abierto por el canal del Carmen, por lo que las unidades de sedimentos más finos las tenemos a los lados de dichas corrientes cuya dirección está casi perfectamente marcada por la forma en que se distribuyen las unidades arena-limo-arcilla y arena-limosa.

Las bandas de distribución de las unidades arena-limo-arcilla, arena-arcillosa y arena-limosa se agudizan al llegar al canal del Carmen, como resultado del aumento de la velocidad de las corrientes, al unirse y reducirse su área hidráulica al entrar a dicho canal. Este mismo fenómeno tiene como consecuencia la excavación del profundo tajo que alcanza profundidades hasta de 13.5 m (ver Fig. 3).

En el área del canal del Carmen encontramos la única mezcla de las unidades sedimentológicas que no es gradual, pasando directamente de limo arcilloso a sedimentos con más de 70% de arena. El límite entre estas dos unidades está casi marcado por la orilla superior del profundo tajo que tenemos dentro del canal del Carmen; las conchas de moluscos y fracciones de éstas, son los principales constituyentes de la unidad arenosa, aumentando su abundancia hacia mar abierto.

La unidad limo-arcilloso pasa gradualmente a limo-arenoso hacia mar abierto, debido al aporte de arena del mar, conchas y pedazos de éstas, producido principalmente por las olas al actuar sobre los "bajos" o biostromas de moluscos formados en la parte de mar abierto del canal del Carmen y al precipitarse los limos y arcillas acarreadas en suspensión de las aguas de los ríos por el efecto coagulante de las sales disueltas en el agua de mar.

SEDIMENTOS DE LOS ESTUARIOS

El contenido orgánico y restos de plantas, son muy significativos en los sedimentos depositados en los estuarios que encontramos formados en la desembocadura de los ríos a la Laguna de Términos.

Litológicamente, se caracterizan por su abundancia de material fino ($< 4 \phi$ ó $< 62 \mu$), formado por partículas arcillosas acarreadas en suspensión de las aguas de los ríos y precipitados por el efecto coagulante de las sales disueltas en el agua de mar.

Este efecto es facilitado por el movimiento de las mareas, y por los biostromas de ostras que forman diques irregulares en las desembocaduras de los ríos, permitiendo que los estuarios actúen como verdaderos vasos de decantación.

La parte gruesa ($> 4 \phi$) menos abundante de estos sedimentos, está formada casi exclusivamente por fragmentos de ostreas y granos de material terrígeno, compuestos principalmente por minerales de cuarzo, feldespato y ferromagnesianos.

SEDIMENTOS DE LA ISLA O BARRA DE ARENA

Los sedimentos de la isla del Carmen consisten predominantemente de arena, siendo mucho más abundante hacia la costa de mar abierto, en donde da lugar a la formación de una playa muy amplia. Esta misma arena forma, por la acción del viento, pequeños montículos o "dunas" que se encuentran distribuidas a través de la isla.

Tanto las arenas de playa como las que forman las "dunas" son bien clasificadas con valores de 0.25ϕ a 0.30ϕ y están constituidas principalmente por fracciones de conchas de moluscos.

En la parte media de la isla se puede ver en algunos lugares en que se ha excavado la cubierta de arena suelta, la formación de "coquinas" muy fácilmente deleznales.

De la parte media hacia la costa que da a la laguna, se nota un aumento en el contenido limo-arcilloso de los sedimentos, observándose en la mayor parte de esta costa, la formación de grandes abanicos de intermareas y pantanos. En estas áreas los sedimentos contienen el más alto porcentaje de arcillas, sobre todo en las partes bajas que dan lugar a que las aguas de la laguna, bajo el efecto de las mareas, laven intermitentemente dichas áreas; sin embargo, el contenido de arena es cuando menos del 50%. En las partes más altas de esta costa, es notorio encontrar "coquinas" constituidas en su mayor parte de *Balanus* formando capas gruesas y más coherentes que las encontradas en la parte media de la isla.

FUENTES DE LOS SEDIMENTOS

Directa o indirectamente el drenaje combinado de los ríos del Este, Palizada, Chompín y Candelaria, puede ser considerado como la fuente principal de los sedimentos de origen inorgánico, proporcionando principalmente los componentes finos de los sedimentos, además de una cantidad significativa de materia orgánica, fragmentos vegetales, y algunos terrígenos que se encuentran más abundantemente en los sedimentos estuarinos de los ríos del Este y Palizada.

La fuente realmente indirecta de los sedimentos viene a ser el área de mar abierto cercana a la costa, que proporciona sedimentos al interior de la laguna por la fuerte corriente rectilínea clásica de marea, al cruzar el canal de Paso Real.

La fuente orgánica de los sedimentos tiene particular importancia en esta laguna, debido a que los "biostromas" de ostreas, desarrollan una gran actividad en los estuarios formados en la desembocadura de los ríos a la laguna. Otros pequeños "biostromas" de gasterópodos y pecicípodos, que encontramos formando los "bajos" del área hacia el interior de la laguna del canal de Paso Real, forman el porcentaje más significativo de los constituyentes de

la fracción gruesa de las muestras en ese lugar, apreciándose bajo el microscopio binocular, que las conchas o fracciones de conchas de estos organismos, forman más del 90%.

Las conchas de foraminíferos constituyen generalmente el 10% de la fracción gruesa de casi todas las muestras.

Otra pequeña cantidad de los sedimentos, es formada a través de procesos autigénicos, siendo la glauconita el constituyente más visible de dichos minerales bajo el microscopio binocular, llegando a constituir en algunas ocasiones hasta el 6% de la fracción gruesa de la muestra.

Las espículas de esponja y las fracciones de briozoarios son otros de los constituyentes biológicos de los sedimentos de la Laguna de Términos. Todo esto y las condiciones ecológicas favorables a la productividad biológica hacen del proceso orgánico la principal y más significativa fuente de los sedimentos de la Laguna de Términos.

Los vientos del NW al soplar sobre las pequeñas dunas de arena que encontramos sobre la Isla del Carmen, contribuyen significativamente en la formación de los sedimentos arenosos a lo largo de su costa que da al interior de la laguna.

AGENTES DE DISTRIBUCIÓN DE LOS SEDIMENTOS

Las olas producidas por los vientos del SE y NW, que son los que más comúnmente soplan sobre la superficie del agua de la Laguna de Términos, determinan ciertas corrientes superficiales que esparcen los sedimentos del fondo, haciendo que el agua llegue a ser bastante turbia en la mayor parte de la laguna.

Las corrientes superficiales producidas gradualmente por los vientos son clásicas en la Laguna de Términos y están generalmente acompañados por un flujo de retorno por debajo de la superficie de las aguas (Fig. 14) cuando éstas son poco profundas y cercanas a la costa. El mecanismo del desarrollo de este tipo de corrientes ha sido tema de diferentes opiniones, unas favoreciéndolo y otras poniéndolo en duda citándose por ejemplo a Gilbert (1914) y Guilcher (1954) quienes atribuyen a este tipo de corrientes el papel principal en la evolución litoral, otros autores, por el contrario, asumen varios testimonios desfavorables entre ellos, Shepard e Inman (1950), quienes afirman que el retorno de las aguas se produce por lo menos en ciertos casos (rip. currents) predominando en áreas cercanas a la costa.

Debido a que los vientos del SE se producen durante el amanecer y soplan en la misma dirección en que entra el agua de los ríos, por la boca de los estuarios a la laguna, incrementan tanto las corrientes del tipo rectilíneo en los canales de mar abierto a la laguna como a las de flujo y reflujo producidas por los vientos y favorecidas también por los movimientos de las mareas (en este caso por la baja marea).

Los vientos del SE y NW son más fuertes durante el invierno, por lo que desarrollan dichas corrientes más efectivamente durante esos meses.

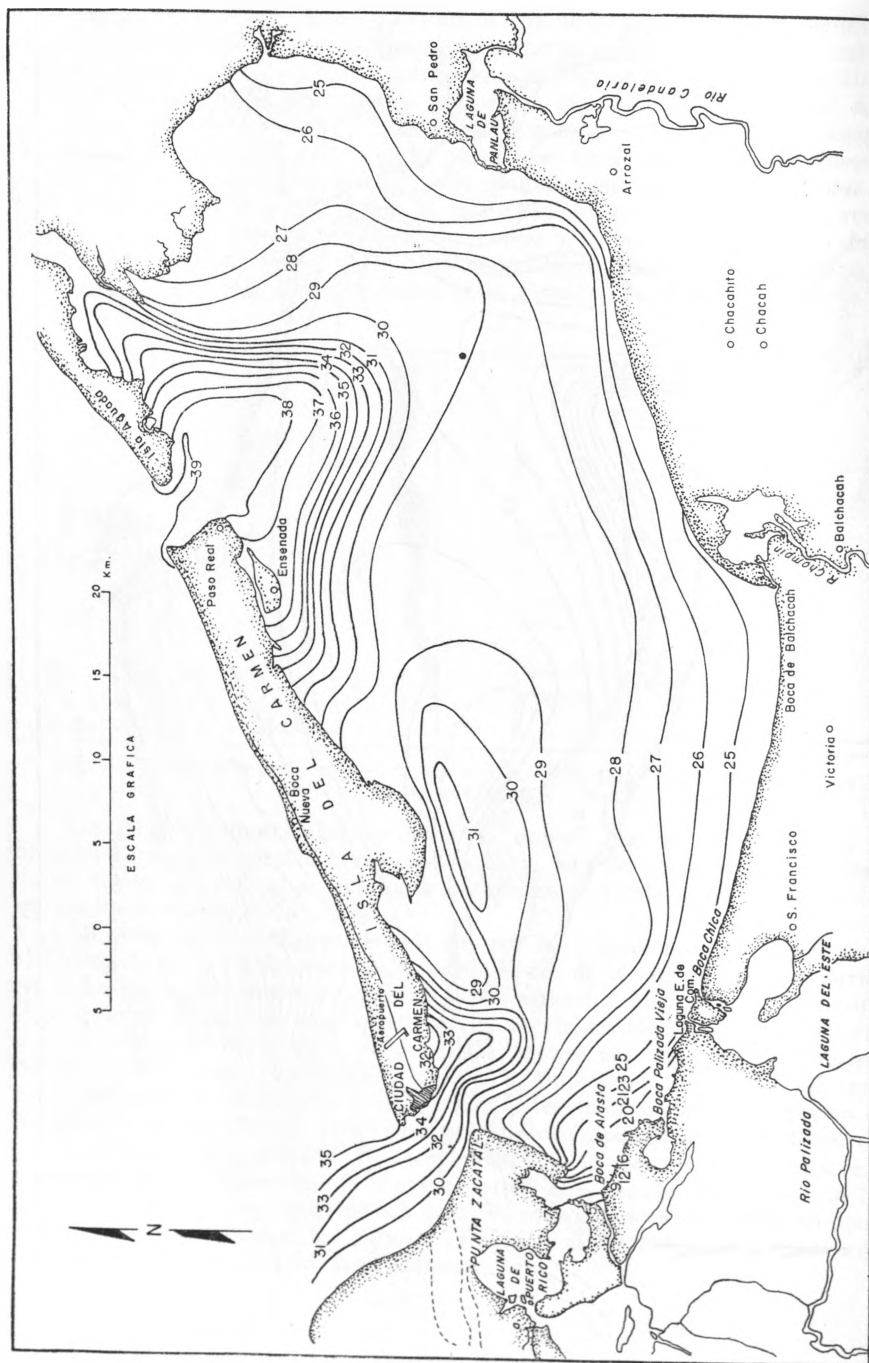


Fig. 16. Distribución generalizada de la salinidad total del agua del fondo, en partes por mil (marzo-abril de 1959).

SALINIDAD Y TEMPERATURA DEL AGUA

Para que la información de la distribución de la salinidad y temperatura sea de gran valor sobre todo como factor ecológico, debe ser amplia y continua.

Sin embargo, aun cuando en la Laguna de Términos se ha obtenido únicamente durante los meses de marzo y abril de 1959, ha sido de gran valor, debido a que los diagramas obtenidos de dicha información, muestran una gran relación con las distintas direcciones de las corrientes producidas por los vientos, mareas y descargas de agua de los ríos (Figs. 6, 15 y 16).

Los diagramas de la distribución generalizada de la salinidad (Figs. 15 y 16) son muy significativos de los movimientos del agua, pudiéndose apreciar que el agua de mar abierto se mueve predominantemente hacia el interior de la laguna por el canal de Paso Real, fundándose en las grandes "intrusiones" que forma el agua con alta salinidad y los pocos cambios que presenta la distribución del fondo con la de la superficie.

En el área más afectada por el aporte de agua dulce de los ríos a la laguna, la salinidad en el fondo cambia mucho menos intensamente que en la superficie, aumentando su salinidad más rápidamente hacia el canal del Carmen. En este canal existe una marcada diferencia entre la distribución de la salinidad en el fondo con la de la superficie, encontrándose en el fondo una pequeña "intrusión" de agua de mar con salinidad de 31‰ incrementando su contenido hacia la parte más profunda mientras que en la superficie, aguas menos salobres, se distribuyen en la mayor parte del canal, disminuyendo su contenido de sal hacia su costa continental.

En general, en la parte central de la laguna, existe una diferencia muy pequeña en salinidad y temperatura de la superficie al fondo, especialmente durante el tiempo en que los vientos dominantes soplan con menor intensidad.

Los factores de salinidad y temperatura son de gran importancia en la sedimentación que se lleva a cabo en las distintas partes de la laguna, debido principalmente a que controlan el crecimiento de los organismos y a que tienen una gran influencia en la precipitación de los coloides arcillosos acarreados en suspensión de las aguas de los ríos a la laguna, debido al efecto electrolítico producido por las variaciones en el grado de salinidad. Este problema de la precipitación de los electrolitos de arcillas por las variaciones de la salinidad, aun cuando no ha sido satisfactoriamente resuelto a pesar de los intensos trabajos desarrollados en los laboratorios de las compañías petroleras americanas tales como los de Whitehouse y Jeffrey (1953), relacionados al proyecto 51 del American Petroleum Institute, resultan muy significativos en la distribución de los sedimentos finos de la Laguna de Términos.

DISTINCION DE LOS AMBIENTES SEDIMENTARIOS

La Laguna de Términos ha sido subdividida en ambientes de depósito y en áreas que presentan condiciones específicas de sedimentación, en las cuales los procesos genéticos (orgánico e inorgánico) y de sedimentación difieren lo bastante como para permitir que se distingan unas de otras. Las características

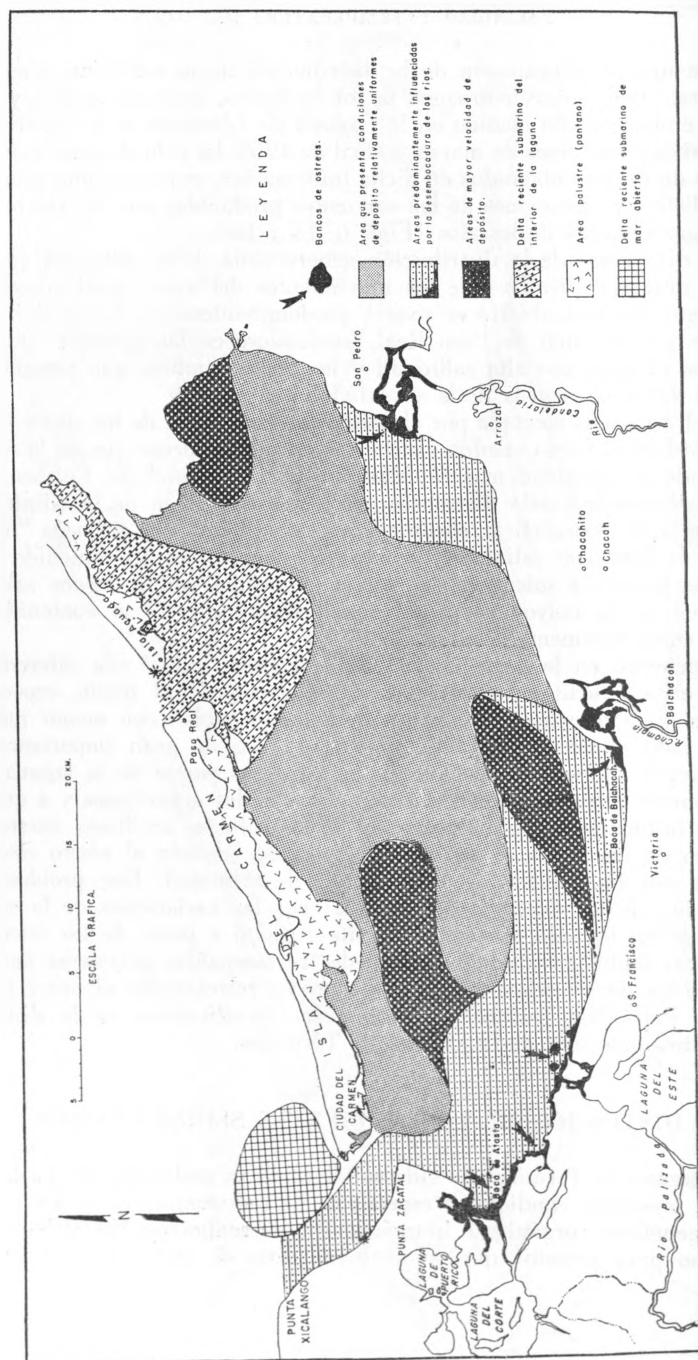


Fig. 17. Distribución de los ambientes de depósito y áreas que presentan condiciones específicas de sedimentación.

que presentan cada una de las muestras de los sedimentos de un determinado medio ambiente, no son exactamente las mismas sino muy semejantes.

La distinción se ha hecho basándose en las principales características que definen el ambiente de depósito de los sedimentos, para lo cual, el análisis de la fracción gruesa bajo el microscopio, el análisis del tamaño de las partículas y el tercer sistema de análisis basado en la colocación en un triángulo de la relación arena-limo-arcilla junto con la consideración de las características ecológicas que forman el medio lagunar marginal clásico de la Laguna de Términos, sirvieron para hacer el diagnóstico de las condiciones generales en el momento del depósito y distinguir los siguientes ambientes, así como las áreas que presentan condiciones específicas de sedimentación.

- 1.—Área que presenta condiciones de depósito relativamente uniformes.
- 2.—Áreas predominantemente influenciadas por la desembocadura de los ríos.
- 3.—Áreas de mayor velocidad de depósito.
- 4.—Delta reciente submarino del interior de la laguna.
- 5.—Área palustre (pantano).
- 6.—Delta reciente submarino de mar abierto.

Ahora bien, debido a la forma en que se ha hecho la distinción, todos los límites son graduales encontrándose generalmente transiciones o interdigitaciones de dos tipos diferentes hacia uno u otro lado mostrándose en la figura 17 la distribución geográfica de los ambientes de depósito y de sus unidades sedimentarias.

Bancos de Ostiones.—Las muestras que se tomaron sobre los bancos de ostreas, no son muy indicativas, debido a la poca profundidad en que fueron tomadas y a la dificultad de tomar muestras representativas; sin embargo, observando las muestras se aprecia que los sedimentos son decididamente diferentes a los de los demás ambientes, consistiendo predominantemente de conchas y fracciones de conchas de ostreas principalmente, *Crassostrea virginica* Gmelin, según Zarur (1961, p. 42).

1.—Área que presenta condiciones de depósito relativamente uniformes. En esta área no se aprecian cambios bruscos en el proceso sedimentario como resultado de una relativa uniformidad de los factores ecológicos que toman parte en dicho proceso, por lo que, aún cuando presenta la mayor extensión geográfica, sin embargo, en el área cercana a la isla del Carmen, la arena constituye comúnmente más del 80% del depósito y de éste, más del 90% consiste en conchas (de foraminíferos, ostrácodos, moluscos, etc.) y fracciones de ellas, disminuyendo muy poco el porcentaje de los principales constituyentes hacia la costa continental, en donde el limo y la arcilla llegan a ser más abundantes. Los minerales terrígenos son relativamente raros y comúnmente no constituyen más del dos por ciento de la fracción gruesa de las muestras. La variación textural queda restringida dentro de los grupos arenosos y la clasificación de los sedimentos es pobre.

2.—*Áreas predominantemente influenciadas por la desembocadura de los ríos.* Los procesos dinámicos juegan el papel más importante en el depósito de los sedimentos dando lugar a que sean pobremente, mal y extremadamente mal clasificados. En los sedimentos de estas áreas predomina, de una manera general, el grupo textural arena-limo-arcilla y se observan algunos materiales terrígenos con abundante materia orgánica como miembro final no-clástico.

3.—*Áreas de mayor velocidad de depósito.* Estas áreas presentan condiciones óptimas de sedimentación, incluyendo restricción en la circulación del agua, debido a que en algunas áreas la asociación del flujo de agua salada con el de agua dulce, adquiere un determinado balance y en otras la pérdida de energía por acción de flujos opuestos, llega muchas veces a producir una relativa estabilidad de los flujos en dichas áreas. Estas condiciones de sedimentación en áreas relativamente quietas de la laguna, dan lugar a los sedimentos peor clasificados y más finos predominando el grupo textural arcilla-limosa.

4.—*Delta reciente submarino del interior de la laguna.* En este ambiente los procesos geológicos se muestran muy activos en el transporte, depósito y clasificación de los materiales sedimentarios, siendo las corrientes a lo largo de la costa las encargadas de mover los materiales eminentemente de origen marino a los lugares cercanos a la costa en donde la acción de las corrientes de flujo y reflujo y las condiciones geográficas del área ayudan para que una gran parte de éstos sean arrastrados hacia el interior de la laguna por las fuertes corrientes rectilíneas clásicas de mareas y otra gran parte sean depositados en la playa por la acción de las olas.

La forma y tamaño de los depósitos que dan lugar al pequeño delta, reflejan la sedimentación permitida tanto por el aporte de material carbonatado, como por la pérdida de energía del agente distribuidor al mezclarse con las aguas relativamente quietas del interior de la laguna. Los sedimentos depositados incluyen materiales gruesos y detritus finos, así como no-clásticos y materia orgánica. Se encuentran alteraciones rápidas de arenas relativamente gruesas de fracciones de conchas en los canales y limos finos y arcillas en los depósitos de aguas tranquilas; algunos de estos materiales finos, son floculados, probablemente por la acción de las sales disueltas en el agua de mar, formando lodos de arcillas carbonatadas típicamente marinas.

Como resultado de esta alteración de condiciones, se observa una notable variación textural, dominando en la parte superior de los depósitos el complejo biológico.

La mayoría de las fracciones gruesas estudiadas, muestran abundantes fibras vegetales junto con agregados calcáreos; las fracciones de conchas forman casi siempre más de la mitad de la muestra, los foraminíferos en algunas muestras son muy escasos y en otras son muy abundantes, sobre todo en las localizadas en las márgenes del delta, y sólo en unas cuantas muestras se encontraron minerales terrígenos.

5.—*Área palustre (pantano).* Esta área sólo ha sido estudiada por observación directa debido a su dificultad de acceso y su limitación se ha hecho

basándose en las fotografías aéreas de contacto de la isla del Carmen y en el mosaico aéreo que sirvió como mapa de localización, al llevar a cabo el trabajo de campo.

6.—*Delta reciente submarino de mar abierto.* Los sedimentos de este delta no han sido estudiados tanto, como aquellos de los demás ambientes; sin embargo, el análisis del tamaño de las partículas de las muestras tomadas en esa área, indican que hay una especial influencia que es causada muy marcadamente por tres tipos distintos de agentes geológicos: 1) La acción de las corrientes rectilíneas clásicas de mareas (hacia la laguna o hacia mar abierto, según baja o sube la marea) incrementada fuertemente hacia mar abierto por la descarga de agua de los ríos. 2) La acción del rompimiento de las olas sobre el frente de los "bajos", depósitos o barras submarinas que constituyen la parte frontal del delta y 3) Las aguas prácticamente muertas de los canales distributarios afectadas por el predominio de los agentes anteriores. En el canal principal, las gravas y arenas de conchas son muy abundantes; en los canales de aguas muertas es notorio que los limos y arcillas son muy abundantes y en las márgenes del delta el limo es aún más abundante.

El estudio de la fracción gruesa mostró en la parte superior de los "bajos" predominio de las fracciones de conchas y en la parte frontal del delta, una gran abundancia de foraminíferos atribuida a la local concentración por el rompimiento de las olas; la glauconita siempre estaba presente en todas las muestras, y la clasificación de los sedimentos varía de muy pobre en el caso de muchos de los sedimentos finos, a extremadamente buena en los materiales de la parte frontal del delta, sujeta a la acción de las olas.

CONCLUSIONES

De la relación que existe entre la distribución por tamaño de los sedimentos y los procesos de sedimentación controlados por los factores ecológicos, se concluye de una manera general que una gran parte de los sedimentos acarreados por los ríos son depositados dentro de la laguna, en donde la relativa estabilidad del medio da lugar a la selectiva sedimentación de los materiales, encontrándose un arreglo casi ordenado de los grupos texturales y notándose además, que el tamaño de las partículas disminuye hacia la costa continental, por lo que este aspecto sugiere que el tamaño de las partículas y su distribución, es una función de la dirección e intensidad de las corrientes dentro de la laguna. El resto de la carga predominante arcillosa, es depositada en el área tanto dentro como inmediatamente afuera del canal de Ciudad del Carmen, dando lugar a la gran concentración de material fino sobre la costa continental hacia el occidente a partir de "Punta Zacatal", notándose en detalle cierta relación entre la batimetría y el tamaño de las partículas, que disminuyen de diámetro, hacia la costa continental, quedando confinadas las zonas de sedimentos gruesos a las partes más profundas.

Este estudio, aun cuando no incluye mediciones de corrientes, proporciona mucha información al respecto, considerando el estudio ecológico por observación directa, la distribución del tamaño de las partículas, la distribución del CaCO_3 , la distribución faunística, la batimetría y haciendo notar que, sobre todo en los canales, la distribución por tamaños de los sedimentos y sus características; atestiguan la acción selectiva de las corrientes de mareas, que barren los sedimentos del fondo hacia mar abierto o hacia la laguna, dejando los más gruesos en las partes más profundas y los más finos en las partes menos influenciadas.

Es interesante notar, por ejemplo, que en el canal de Ciudad del Carmen no existe un cambio gradual de los sedimentos, lo cual parece ser debido a las fuertes corrientes reversibles generadas a lo largo del movimiento principal del agua dentro del canal, cuya dirección es predominantemente hacia mar abierto, al ser influenciada por la descarga de agua de los ríos.

Respecto al canal de Paso Real, es notorio el predominio de las corrientes hacia el interior de la laguna, fundándose en la distribución de la salinidad, en la batimetría, en la formación del pequeño delta submarino del interior de la laguna, en donde los constituyentes de la fracción gruesa de las muestras reflejan una gran influencia de mar abierto, encontrándose abundancia de espículas de esponja, espinas y placas de equinoides, etc. y en la fauna que de una manera general incluye una mezcla de formas eminentemente marinas y salobres, citándose entre las marinas más abundantes la especie *Echinaster sentus* (Say).

según Zarur (1961, p. 40), encontrándose además en los depósitos formados en la parte frontal del delta en donde las aguas son relativamente quietas, sedimentos con una pequeña fracción gruesa en la que los foraminíferos son extremadamente abundantes y los terrígenos excepcionalmente raros.

Aún cuando no ha sido posible, mediante la información obtenida a partir de los análisis de la fracción gruesa de las muestras, llegar a cuantificar la relación del proceso genético orgánico-inorgánico, que pudiese ser cartografiado; siempre existe el predominio de los constituyentes orgánicos, en casi todas las muestras analizadas. Lo anterior y las condiciones ecológicas actuales, tan favorables a la productividad orgánica, hacen considerar al *proceso orgánico* como el principal y más significativo formador de los sedimentos de esta laguna.

Al describir cada uno de los ambientes de depósito y las áreas que presentan condiciones específicas de sedimentación, se ha discutido la especial influencia de los agentes geológicos que producen *características que distinguen a sus sedimentos*, las cuales fue necesario determinar para poder hacer la limitación de cada uno de ellos.

En una forma semejante se cree que se podrían *distinguir las características que presentan las rocas sedimentarias*, con el fin de identificar los ambientes de depósito de las formaciones sedimentarias, tomando únicamente aquellas características que proporcionan datos concretos para hacer un mejor diagnóstico, debido a que hay varias de ellas que podrían servir para diferenciar sedimentos depositados en lagunas marginales, de los de barras de arena o de los de mar abierto.

Ahora bien, es verdad que tanto la fauna de mar abierto como la de lagunas marginales o lugares protegidos de la costa, son fáciles de distinguir en la mayoría de las formaciones sedimentarias que encontramos en la columna geológica; sin embargo, las delicadas conchas de muchos organismos típicamente marinos, son comúnmente destruidas en aguas turbulentas poco profundas de mar abierto o en un ambiente litoral (de playa), pero pueden ser preservadas en los lugares protegidos a donde han sido transportadas, *como en el caso de los depósitos deltaicos submarinos del interior de la laguna*.

Por otra parte, es fácil hacer una estricta diferencia faunística con la presencia de arrecifes de ostras, los cuales siempre se encuentran en la desembocadura de los ríos en la mayor parte del Golfo de México, en donde debido a que existe un ambiente reductor de la salinidad, es favorable para el desarrollo sobre todo de la familia Ostreidae, según Zarur (1961, p. 42), que es la más común de las formadoras de arrecifes de ostiones.

Algunas de las características físicas que presentan los sedimentos de cada uno de los distintos ambientes de depósito, pueden ayudar en el diagnóstico de su diferenciación; por ejemplo, entre las características que presentan los ambientes del área de la Laguna de Términos, incluyen de una manera general, la gran abundancia de limo en la parte hacia mar abierto, siendo mucho más escaso en el interior de la laguna en donde la arena y la arcilla son mucho más abundantes, mientras que los de la isla o barra de arena pueden fácilmente diferenciarse de los anteriores por su alto contenido de arena, mostrando también abundancia en una franja estrecha paralela a su costa.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- AYALA-CASTAÑARES, A. (1963). *Sistemática y distribución de los foraminíferos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México*. Univ. Nal. Autón. México. Inst. Geol., Bol. n. 67, pt. 3, 130 p., 60 figs., 11 láms.
- FOLK, L. R. (1959). *Petrology of Sedimentary rocks*. Hemphill's Book Co., Austin, 151 p.
- GARCÍA-CUBAS JR., A. (1963). *Sistemática y distribución de los micromoluscos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México*. Univ. Nal. Autón. México. Inst. Geol., Bol. n. 67, pt. 4, 55 p., 24 figs., 4 láms.
- GILBERT, C. K. (1914). *The transportation of debris by running water*. United States Geol. Surv., Prof. Paper, 86, 263 p., 3 láms.
- GRIM, R. E. (1962). *Applied Clay Mineralogy*. McGraw-Hill Book Co. New York, 422 p., 8-11 figs.
- GRIPENBERG, S. (1938). *Mechanical Analysis*. in *Recent Marine Sediments*. American Assoc. Petrol. Geol., Tulsa, Okla., p. 533-557, 4 figs.
- GUILCHER, A. (1954). *Morphologie littorale et sous-marine*. Presses Universitaires de France, 247 p.
- INMAN, D. L. (1952). *Measures for describing the size distribution of sediments*. Jour. Sed. Petrol., v. 22, n. 3, p. 125-145.
- INMAN, D. L. and CHAMBERLAIN, T. K. (1955). *Particle-size distribution in nearshore sediments*. in *Finding Ancient Shorelines*. Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ., 3, p. 106-127, 13 figs.
- KRUMBEIN, W. C. (1936). *Application of logarithmic moments to size frequency distributions of sediments*. Jour. Sed. Petrol., v. 6, n. 1, p. 35-49.
- SHEPARD, F. P. (1948). *Submarine Geology*. Harper and Brothers. New York. 348 p.
- (1956). *Marginal sediments of Mississippi Delta*. Bull. American Assoc. Petrol. Geol., v. 40, n. 11, p. 865-954, 46 figs.
- SHEPARD, F. P. and INMAN, D. L. (1950). *Nearshore water circulation related to bottom topography and wave refraction*. Trans. American Geophys. Union. t. 31, p. 196-212.
- SHEPARD, F. P. and MOORE, D. G. (1955). *Central Texas coast sedimentation*. Bull. American Assoc. Petrol. Geol. v. 39, n. 8, p. 1463-1593, 75 figs.
- SILVA-BÁRCENAS, A. (1963). *Sistemática y distribución de los géneros de diatomeas de la Laguna de Términos, Campeche, México*. Univ. Nal. Autón. México. Inst. Geol., Bol. n. 67, pt. 2, 31 p., 12 figs.
- TAMAYO, J. L. (1946). *Datos para la hidrología de la República Mexicana*. Inst. Panamericano Geogr. Hist. Publ. 84, 2 v.

- WHITEHOUSE, U. G. and JEFFREY, L. M. (1953). *Differential settling velocities of kaolinitic, montmorillonitic and illitic clays in saline water. Chemistry of marine sedimentation*. Texas A. and M. Res. Found. Proj. 34A, Tech. Rept., n. 1, 31 p.
- YÁÑEZ C., A. (1961). *Estudio de la Batimetría y Sedimentos Recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México*. Tesis Prof. E.S.I.A. Inst. Politéc. Nal., 57 p., 13 figs.
- ZARUR, A., (1961). *Estudio biológico preliminar de la Laguna de Términos (Campeche)*. Tesis Prof. Fac. Ciencias. Univ. Nal. Autón. México, 69 p., 5 figs.

Se terminó de imprimir el día 27 de diciembre de 1963 en los Talleres Gráficos de la EDITORIAL INTERCONTINENTAL, S. A., Calle Geranio N° 262, Col. Sta. María Insurgentes. México 4, D. F.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA

BOLETIN

- 59.—SALAS, G. P., MOOSER, F., LEDEZMA, O., MAYER, F., PEREZ SILICEO, R. y SCHMITTER, E. (1959). *Los depósitos de bauxita en Haití y Jamaica y posibilidades de que exista bauxita en México*. 111 p. \$ 30.00 M. N. \$ 3.00 Dlls.
- SALAS, G. P. *Los depósitos de bauxita en Haití y Jamaica y posibilidades de que exista bauxita en México*. p. 9-42, 16 figs.
- MOOSER, F. y LEDEZMA, O. *Exploración en busca de bauxitas en Paso de Acultzingo, Ver. y parte del Valle de Tehuacán, Pue.* p. 43-50, 1 mapa.
- MOOSER, F., LEDEZMA, O. y MAYER, F. *Exploración en busca de bauxitas en los límites de los estados de Puebla y Veracruz*. p. 53-69.
- LEDEZMA, O. *Exploración en busca de bauxitas en la zona de Tuxtepec, Oax.* p. 71-80, 18 figs., 1 mapa.
- MAYER, F. *Exploración en busca de bauxitas en la zona de Temaxcal, Oax.* p. 81-93, 18 figs.
- PÉREZ SILICEO, R. *Muestreo de lateritas a lo largo de la carretera entre Tulancingo, Hgo. y Necaxa, Pue., para la investigación de bauxitas*. p. 95-104, 1 mapa, 6 cuadros.
- SCHMITTER, E. *Clasificación basada en el análisis térmico diferencial de materiales arcillosos colectados en diferentes regiones del país*. p. 105-111, 5 figs.
- 60.—FRIES JR., C. (1960). *Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México*. 236 p., 22 láms., 24 figs., 3 mapas, 1 croquis. \$ 40.00 M. N. \$ 4.00 Dlls.
- 61.—BLÁSQUEZ L., L., MOOSER, F., REYES LAGOS, A. y LORENZO, J. L. (1961). *Fenómenos geológicos de algunos volcanes mexicanos*. 108 p. \$ 20.00 M. N. \$ 2.00 Dlls.
- BLÁSQUEZ L., L. *Los géiseres, solfataras y manantiales de la Sierra de San Andrés, Mich.* p. 1-37, 9 figs., 1 carta.
- BLÁSQUEZ L., L. *Las posibles fuentes de energía geotérmica en la República Mexicana*. p. 39-46.

- MOOSER, F. y REYES LAGOS, A. *El grupo volcánico de las Tres Virgenes, Mpio. de Santa Rosalía, Territorio de Baja California*. p. 47-48, 1 fig.
- MOOSER, F. *Los volcanes de Colima*. p. 49-71, 14 figs.
- REYES LAGOS, A. *Las nuevas solfataras del Volcán de Colima*. p. 73-75.
- LORENZO, J. L. *Notas sobre Geología Glacial del Nevado de Colima*. p. 77-92, 12 figs.
- BLÁSQUEZ L., L. *Los glaciales de México*. p. 93-108, 7 figs., 4 tablas.
- 62.—DE CSERNA, Z. *Reconocimiento geológico en la Sierra Madre del Sur, entre Chilpancingo y Acapulco, Estado de Guerrero*. (en prensa) (in press)
- 63.—SCHMITTER, E. y ROJAS DE GÓMEZ, R. (1962). *Contribución al estudio de minerales y rocas*. 66 p. \$ 30.00 M. N. \$ 3.00 Dlls.
- I.—SCHMITTER, E. *Curvas de análisis térmico diferencial cualitativo obtenidas de estudios de bauxitas, arcillas bauxíticas y otros minerales*. p. 1-57, 31 figs.
- II.—ROJAS DE GÓMEZ, R. *Estudio de un nuevo método para la determinación de alúmina por titulación*. p. 59-66, 2 tablas.
- 64.—FRIES JR., C. Editor (1962). *Estudios geocronológicos de rocas mexicanas*. Partes 1-6, Apéndice. 151 p. \$ 30.00 M. N. \$ 3.00 Dlls.
- Pt. 1.—FRIES JR., C. *Reseña de los métodos principales empleados en las determinaciones isotópicas de edad*. p. 1-9.
- Pt. 2.—DAMON, P. E., LIVINGSTON, D. E., MAUGER, R. L., GILETTI, B. J. y PANTOJA-ALOR, J. *Edad del Precámbrico "Anterior" y de otras rocas del zócalo de la región de Caborca-Altar de la parte noroccidental del Estado de Sonora*. p. 11-44, 4 figs., 6 tablas.
- Pt. 3.—FRIES JR., C., SCHMITTER, E., DAMON, P. E. y LIVINGSTON, D. E. *Rocas precámbricas de edad grenvilliana de la parte central de Oaxaca en el sur de México*. p. 45-53, 3 tablas, 1 lám.
- Pt. 4.—FRIES JR., C., SCHMITTER, E., DAMON, P. E., LIVINGSTON, D. E. y ERICKSON, R. *Edad de las rocas metamórficas en los cañones de Peregrina y de Caballeros, parte centro-occidental de Tamaulipas*. p. 55-69, 1 fig., 1 lám., 1 tabla.
- Pt. 5.—DE CSERNA, Z., SCHMITTER, E., DAMON, P. E., LIVINGSTON, D. E. y KULP, L. *Edades isotópicas de rocas metamórficas del centro y sur de Guerrero y una monzonita cuarcífera del norte de Sinaloa*. p. 71-84, 1 fig., 2 lám., 3 tablas.
- Pt. 6.—FRIES JR., C. *Lista de fechas geoquímicas reportadas para minerales y rocas mexicanas con comentarios sobre su significado geológico y geotectónico*. p. 85-109, 3 figs., 1 tabla.
- Apéndice.—FRIES JR., C. *Lista de fechas de radio-carbono correspondientes a muestras mexicanas*. p. 111-151, 1 tabla.
- 65.—ENCINO DE LA VEGA, S (1963). *Estudio mineralógico y petrográfico de algunos domos salinos del Istmo de Tehuantepec*. (en prensa) (in press)
- 66.—FABREGAT, J. F. (1963). *Revisión crítica de los minerales mexicanos; I.—La Boleita*: (en prensa) (in press)
- 67, Pt. 1.—YÁÑEZ, A. (1963). *Batimetría, salinidad, temperatura y distribución de los sedimentos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México*. 47 p, 17 figs. \$ 20.00 M. N. \$ 2.00 Dlls.
- Pt. 2. SILVA-BÁRCENAS, A. (1963). *Sistemática y distribución de los géneros de diatomeas de la Laguna de Términos, Campeche, México*. 31 p., 12 figs. \$ 15.00 M. N. \$ 1.50 Dlls.
- Pt. 3. AYALA-CASTAÑARES, A. (1963). *Sistemática y distribución de los foraminíferos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México*. 130 p., 60 figs., 11 láms. \$ 50.00 M. N. \$ 4.00 Dlls.
- Pt. 4. GARCÍA-CUBAS JR., A. (1963). *Sistemática y distribución de los micromoluscos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México*. 55 p., 24 figs., 4 láms. \$ 30.00 M. N. \$ 3.00 Dlls.

Para obtener estas publicaciones o información sobre boletines anteriores y demás publicaciones del Instituto de Geología, dirigirse a:

Oficina de Publicaciones
Instituto de Geología
Ciudad Universitaria
México 20, D. F.
MEXICO.