

00364
1
2e

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESTUDIO DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS
RECIENTES EN EL AREA DE BAHIA DE
BALLENAS Y LAGUNA SAN IGNACIO, BAJA
CALIFORNIA SUR, MEXICO

T E S I S

PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS
DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS (GEOLOGIA)

P O R

JUAN ARAUJO MENDIETA

CIUDAD UNIVERSITARIA

MEXICO, D.F.

1 9 8 9

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

C O N T E N I D O

	<u>PAGINA</u>
RESUMEN	
INTRODUCCION	3
- Localizacion	3
- Objetivos	3
- Trabajos Previos	4
- Métodos de Trabajo	5
- Clima e Hidrografía	6
- Fisiografía	7
GEOLOGIA REGIONAL	8
GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO	10
PROVINCIA SEDIMENTARIA	13
AMBIENTE LAGUNAR	13
- Laguna La Escondida	13
1. Zona de Supramarea	14
Discusión Estadística de las Muestras	15
Composición Mineralógica	16
Estructuras Sedimentarias Primarias	17
2. Zona de Intermarea	17
Discusión Estadística de las Muestras	18
Composición Mineralógica	19
Estructuras Sedimentarias Primarias	19
3. Zona de Inframarea Lagunar	20
Discusión Estadística de las Muestras	20

	<u>PAGINA</u>
Composición Mineralógica	22
Estructuras Sedimentarias Primarias	22
- Laguna San Ignacio	22
1. Zona de Supramarea	23
Estructuras Sedimentarias Primarias	23
2. Zona de Intermarea	24
Estructuras Sedimentarias Primarias	24
3. Zona de Inframarea	24
Estructuras Sedimentarias Primarias	24
AMBIENTE EOLICO	25
1. Discusión Estadística de las Muestras	25
2. Composición Minerológica	26
3. Estructuras Sedimentarias Primarias	27
PLANICIE ALGACEA	27
AMBIENTE EVAPORITICO	30
1. Formación de las Evaporitas	31
2. Geoquímica de las Evaporitas	32
3. Depósitos de las Evaporitas	36
4. Evaporitas en el Area de Estudio	37
a) Laguna San Ignacio	38
b) Salina del Cuarenta	40
DISCUSION GENERAL	43
CONCLUSIONES	45
BIBLIOGRAFIA	47-53

ILUSTRACIONES

Entre Páginas

- | | |
|--|---------|
| 1. Plano de localizacion | 4 y 5 |
| 2. Tabla de Estratigrafía Regional de la Península de Baja California | 8 y 9 |
| 3. Plano Tectónico Regional de Baja California | 9 y 10 |
| 3A. Principales Lineamientos de Fallas en la Región de Estudio | 10 y 11 |
| 4. Mosaico Regional de Fotografías Areas | 13 y 14 |
| 5. Plano de Areas de Estudio y Secciones de Muestreo | 14 y 15 |
| 6. Análisis Granulométrico Estadístico de las Arenas de la Zona Litoral de Bahía de Ballenas, Baja California, Sur | 16 y 17 |
| 7. Secciones Esquemáticas mostrando los Ambientes Sedimentarios Litorales en Bahía de Ballenas | 18 y 19 |
| 8. Secciones Esquemáticas de Ambientes Sedimentarios Evaporíticos en la Laguna San Ignacio | 23 y 24 |
| 9. Relación de Variación de Sólidos Precipitados y de las Soluciones Acuosas Asociadas (en ppm) | 35 y 36 |
| TABLAS Núms- 1 y 2 de Análisis Químicos de Muestras de Sal y Muestras Líquidas en Partes por Millón (ppm) | 35 y 36 |
| 6A. Graficación Ternaria de Ambientes, considerando sus Parámetros Textuales Individualmente | 42 y 43 |

LAMINAS

- I - V** Ambiente de Barra Litoral
- VI - VII (1)** Ambiente Lagunar
- VII-(1) (2)** Ambiente de Planicie Algacea
- VIII** Ambiente Eólico
- IX-XIV** Laguna de San Ignacio
- XI-XIV** Planicie Evaporítica

R E S U M E N

Las facies sedimentarias de este modelo, Lagunas Costeras y Sabkhas de supramarea caracterizan a los ambientes de depósito recientes con precipitación de evaporitas asociadas a planicies algáceas de gran extensión y sedimentos terrígenos, en una zona tectónicamente activa.

El área de estudio se encuentra localizada en la porción noroccidental del Estado de Baja California Sur, sobre la costa del Océano Pacífico, en Bahía de Ballenas y Laguna San Ignacio, que se encuentra a unos 70 km al suroeste del poblado de San Ignacio.

Estos ambientes sedimentarios se encuentran en una región que fisiográficamente es casi plana, con mínimos accidentes topográficos y tiene un clima que es árido con escasa precipitación anual. Los ambientes sedimentarios recientes en el área de estudio son litorales y se encuentran gobernados por procesos físico-químicos y en menor grado, por los biológicos.

Los sedimentos de las barras y las dunas se encuentran constituidos principalmente por feldespatos y cuarzo, y en menor proporción minerales ferromagnesianos y restos biógenos. Las arenas de grano mediano a fino son de moderadamente a bien clasificadas.

La formación de grandes planicies algáceas así como la precipitación de evaporitas se encuentran en la zona de intermarea y supramarea de las lagunas San Ignacio y La Escondida, estas planicies son inundadas por las aguas durante las mareas vivas o de primavera. Las planicies algáceas están cubiertas casi totalmente por carpetas de algas cianofíceas, ya que estas plantas son las únicas que pueden resistir los cambios de salinidad y humedad existentes en la región.

La precipitación de evaporitas se localiza en las partes marginales de las planicies norte y oriental de la Laguna San Ignacio y en la Salina del Cuarenta. Las evaporitas de la Laguna San Ignacio, son producto de la precipitación de las salmueras que quedaron estancadas durante períodos de reflujos de las mareas vivas.

En la Salina del Cuarenta no existe comunicación directa con el mar, por lo que el nivel de las salmueras es el nivel freático marino que comunica a la salmuera con el mar, la cual al evaporarse da lugar a la precipitación de gruesas capas de halita.

En los análisis de distribución estadística de las arenas, donde se tomaron en cuenta tres parámetros estadísticos: promedio gráfico, desviación gráfica estándar inclusiva (\bar{v}_i), y grado de asimetría gráfica inclusiva (SKI), los sedimentos se mezclan unos con otros en un solo cuadrante. Por lo que el análisis sólo de parámetros estadísticos, no es suficiente para discriminar ambientes sedimentarios, siendo necesario tomar otros criterios como son: estructuras sedimentarias primarias, el marco geológico regional y la geometría de los cuerpos sedimentarios.

Las grandes planicies algáceas existentes en la región pueden servir como ejemplo de una futura provincia generadora de hidrocarburos, por la presencia de abundante material algáceo que está sufriendo un rápido sepultamiento, así como la existencia de sedimentos terrígenos como posibles trampas.

Los depósitos de evaporitas en el área pertenecen al tipo de laguna marginal y planicies de mareas ampliamente distribuidas, así como de sabkha marginal, donde sólo precipita halita y no carbonatos y sulfatos, como en los modelos del Mar Rojo y del Golfo Pérsico, debido a las características climáticas, fisiográficas y geológicas propias de la región.

I N T R O D U C C I O N

Localizacion

La Península de Baja California se encuentra localizada en la parte noroccidental de la República Mexicana, tiene una longitud aproximada de 1 300 km y una amplitud media de 100 km. Se encuentra limitada al poniente y al sur por el Océano Pacífico, al oriente por el Golfo de California y al norte por la frontera con Estados Unidos de América.

El área de estudio queda comprendida entre los paralelos 26°35' y 27°10' de latitud norte y los meridianos 112°50' y 113°43' de longitud oeste, en la porción noroccidental del Estado de Baja California Sur sobre la costa del Océano Pacífico, en el área de Bahía de Ballenas y Laguna San Ignacio, quedando localizada unos 70 km al suroeste del poblado de San Ignacio. El poblado más cercano al área de estudio es Punta Abreojos, que es un pueblo de pescadores (Fig. 1).

Se puede llegar al lugar de estudio por medio de la carretera transpeninsular que va de Tijuana a Cabo San Lucas. El poblado de San Ignacio está comunicado con Punta Abreojos por un camino de terracería, por el cual se llega a la Laguna San Ignacio y a Bahía Ballenas, recorriendo una distancia aproximada de 70 km (Fig. 1).

Objetivos

Los objetivos de este estudio fueron:

- 1) Conocer las facies sedimentarias que caracterizan a los diferentes ambientes de depósito recientes con énfasis en los

evaporíticos asociados a planicies algáceas de gran extensión y su interrelación con la sedimentación clástica.

- 2) Definir un modelo de depósitos modernos en costas mexicanas, ya que este tipo de estudios se han realizado escasamente en nuestro país.
- 3) Establecer un modelo sedimentario que pueda servir de comparación con sus análogos antiguos, ya que en trabajos sedimentológicos y estratigráficos realizados en el Instituto Mexicano del Petróleo y por Petróleos Mexicanos, se han encontrado evaporitas asociadas con sedimentos terrígenos y carbonatados, por lo cual es importante conocer los parámetros que rigen el depósito de estos sedimentos, ya que frecuentemente están relacionados con la generación y el entrapamiento de hidrocarburos.

Trabajos Previos

La Península de Baja California ha sido objeto de numerosos estudios de diferente índole, tanto de Geología General como de Tectónica, Estratigrafía, Vulcanología, de Geología Estructural, Geofísica y Sedimentología. Estos trabajos han sido elaborados tanto por investigadores nacionales como por extranjeros.

Los trabajos de Sedimentología que se han desarrollado en las zonas litorales de la Península de Baja California han sido principalmente de las lagunas que se encuentran en la parte occidental de la península, entre ellos se tiene el de Phleger y Ewing (1962), que trata del estudio sedimentológico y oceanográfico de las lagunas costeras en Baja California. Phleger (1965 y 1969) hizo un estudio de la sedimentología de la Laguna Guerrero Negro y de los depósitos modernos evaporíticos en la Laguna Ojo de Liebre; Sherman (1970) estudia las rocas de halita recientes, en Baja California México; Vonder Haar (1973) y Horodyski (1977)

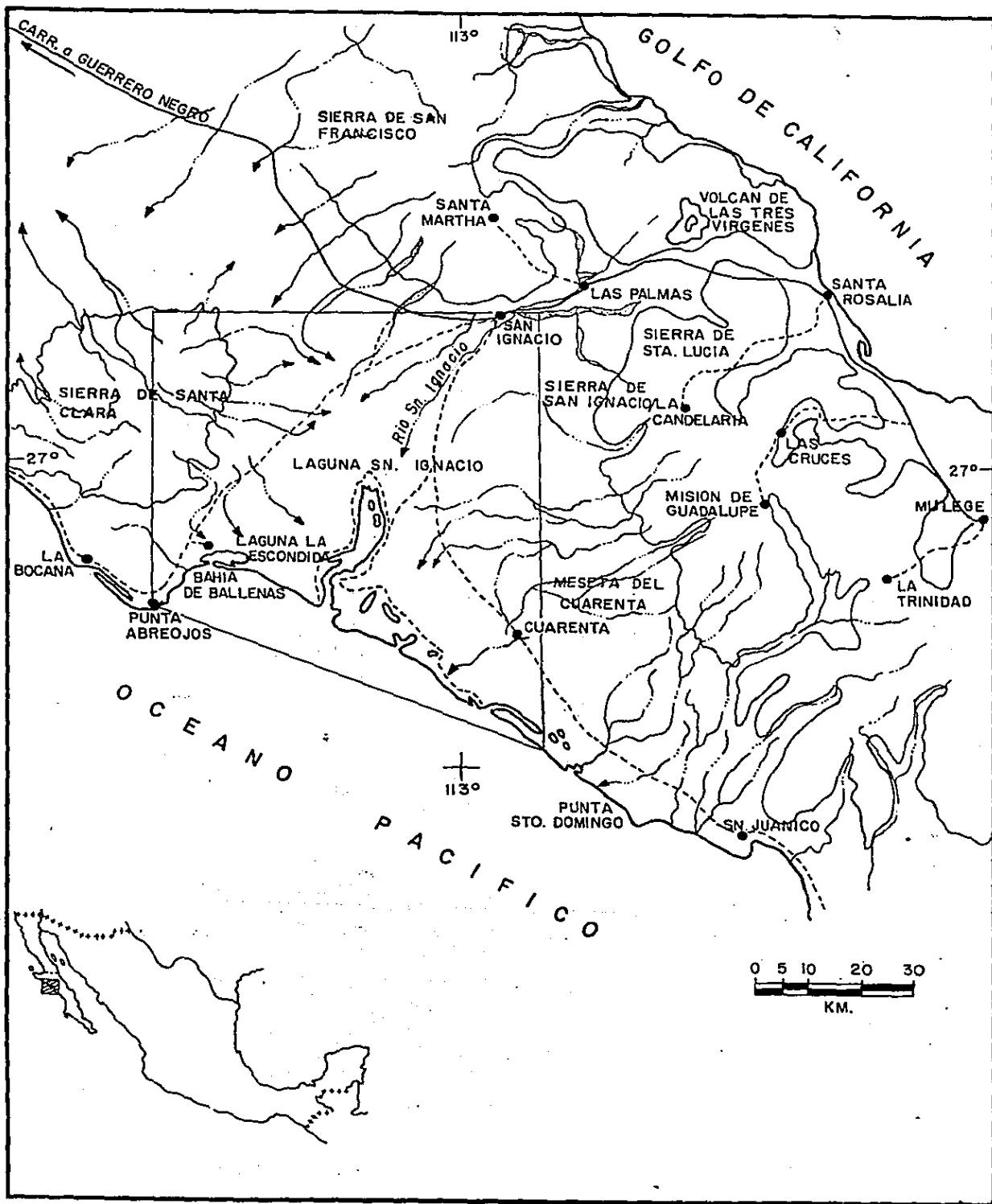


Fig. 1 PLANO DE LOCALIZACION DEL AREA BAHIA DE BALLENAS, LAGUNA SAN IGNACIO ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR.

estudiaron los depósitos de evaporitas y planicies algáceas de la Laguna Mormona en Baja California Norte; Vonder Haar y - Gorsline (1977) hicieron un trabajo sobre procesos de depósito en las lagunas hipersalinas de Baja California; Orlieb y Malpica (1978) hacen un reconocimiento de los depósitos pleistocenos marinos en el Golfo de California; Orlieb y Catherine (1981) estudiaron en tres áreas supralitorales la génesis evaporítica y contextos sedimentarios y procesos actuales; Malpica y Celis (1984) hacen una interpretación de los procesos de disolución y precipitación de depósitos litorales de la costa occidental de Baja California Sur; Orlieb, Carro y Cousse (1984) realizan un estudio radiocronológico u/th de terrazas marinas de la costa occidental de Baja California, México.

Métodos de Trabajo

En el estudio de los ambientes modernos en el área de Bahía Ballenas y Laguna San Ignacio se elaboró un plano base utilizando el mosaico de las fotografías aéreas de la región, para delimitar las provincias sedimentarias; posteriormente se hizo el trabajo de campo donde se trazaron varias secciones de muestreo de norte a sur y noreste-sureste, las cuales comprendieron las zonas de planicies algáceas, ambientes lagunares, dunas, canales de marea, planicies evaporíticas y playas (Fig.4). Se tomaron muestras de sedimentos evaporíticos y de las soluciones asociadas a ellos en las diferentes zonas. En el laboratorio de sedimentología del Instituto Mexicano del Petróleo, las muestras de sedimentos se cribaron y fueron analizadas por el tubo de sedimentación tipo Emery. Los atributos texturales de los sedimentos se obtuvieron usando las expresiones estadísticas de Folk y Ward (1967) y Folk (1966), y se ilustraron utilizando un sistema de graficación estadística ternaria propuesto por Aguayo (1980), observándose que los atributos texturales de los sedimentos pueden discriminar cierto tipo de ambientes sedimentarios.

Para el procesado de las muestras y obtención de los datos esta

dísticos, se contó con la colaboración del Ing. Francisco César Estavillo adscrito a la División de Sedimentología y Diagénesis del Instituto Mexicano del Petróleo.

Las muestras de evaporitas y de soluciones fueron analizadas geoquímicamente en los laboratorios de Refinación y Petroquímica de este Instituto; a las muestras de soluciones se les determinó la salinidad en partes por mil (°/00), ácido sulfhídrico (H_2S) y elementos mayores en partes por millón.

Los análisis de las muestras de evaporitas se efectuaron por medio de emisión atómica, fluorescencia y difracción de rayos X, con los cuales se determinaron cualitativa y cuantitativamente los diferentes elementos contenidos en las muestras colectadas en el campo.

Clima e Hidrografía

El clima de la región es extremadamente árido, con una precipitación anual de unos 30 a 60 mm/año, las lluvias se precipitan en la Sierra de Santa Clara y la Sierra de San Ignacio, que se encuentra hacia el noroeste y noreste, así como en la Mesa del Cuarenta, transportando sedimentos derivados de las rocas volcánicas que afloran en la región hacia las lagunas La Escondida y San Ignacio, pero estos van quedando atrapados y formando los abanicos y planicies aluviales, por lo que ocasionalmente llegan hasta las lagunas o la línea de costa (Fig.5).

El drenaje del área es de tipo dendrítico y se inicia en las partes altas de las sierras para desembocar en las planicies, lagunas y línea de costa. Normalmente el agua se pierde antes de llegar a las lagunas, ya que durante su recorrido es absorbida por los depósitos de grava y arena de los abanicos y de las planicies aluviales y lagunares.

Fisiografía

Fisiográficamente la región de estudio es casi plana, con escasos accidentes topográficos, como terrazas aluviales y marinas así como montículos arenosos antiguos de origen eólico; estas pequeñas prominencias topográficas tienen una altura máxima de unos 6 a 12 metros. Unos 25 km hacia el norte, se extiende la planicie de mareas de la Laguna San Ignacio. Existen hacia la porción noreste y este de la Laguna San Ignacio, abanicos aluviales formados de gravas y arenas que son transportadas por las corrientes aluviales esporádicas que bajan de las sierras.- Finalmente hacia la parte continental destacan las mesetas más elevadas formadas por derrames de lavas y rocas piroclásticas y hacia el noroeste, la Sierra de Santa Clara cuya altura máxima sobre el nivel del mar es de 900 m.

ERA	SISTEMA	SERIE	NORTE DE LA - PENINSULA LOZANO F. 1975	CUENCA DE - VIZCAINO LOZANO F. 1975	CUENCA DE PU- RISIMA - IRAY MINA F. 1957	SUR DE LA CUEN- CA VIZCAINO CARRILLO G. 1976		
CENOZOICO	CUATER- NARIO	RECIENTE	Arenas y suelos	Depósitos del	Arenas y suelos	Depósitos del		
		PLEISTOCENO	Aguajito	Cuaternario	Pleistoceno	Cuaternario		
	TERCIARIO	PLIOCENO	Cantil Costero	Comondú	Almejas	Salada	Salada	
			SUP.		Comondú	Comondú	Comondú	
			MED.			Isidro	Tortugas	SN. IGNACIO
		INF.	Erosión	Erosión		Monterey	ZORRA SN. ZACARIAS	MONTEREY
		OLIGOCENO			Erosión	Erosión	Erosión	Erosión
		EOCENO	SUP.	Sepultura Superior	Bateque	Tepetate	Bateque	
			MED.					
			INF.					
	PALEOCENO	Sepultura Inf.	Sepultura	STO. DOMINGO	MA- LARRIMO			
	MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	Rosario	Valle	Valle	Valle	
MEDIO			Desconocido	Complejo Cristalino				Metamór- fico
INFERIOR			Alisitos	Desconocido				
JURASICO		SUPERIOR	Rocas Volcánicas	Eugenia	?	?		
		MEDIO						
		INFERIOR	Metasedimentos Sn. José	Sn. Hipólito				
TRIASICO		SUPERIOR						
		MEDIO	Gneisses Esquistos de Cuarzo y Biotita.	Franciscan				
		INFERIOR						
PALEOZOICO		SUPERIOR	Conglomerados, Metacuarcitas, Calizas Crinoides, Esquistos y Filitas.	?				

Fig.2-TABLA ESTRATIGRAFICA DE LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA.

GEOLOGIA REGIONAL

Estratigráficamente la península está constituida por rocas del Paleozoico Superior hasta el Reciente, las cuales han sido estudiadas por diferentes autores agrupándolas litoestratigráficamente por regiones, Mina (1957), Lozano (1975); Carrillo (1976); García (1976); Gastil, Phillips y Allison (1976); McLean (1984), (Fig. 2).

Particularmente en la porción central-oriental del Estado de Baja California Sur, existen derrames de andesitas y basaltos de la Formación Comondú, los cuales normalmente se encuentran formando grandes mesetas, constituidas también por depósitos de fanglomerados cuyos clastos fueron derivados de las mismas rocas ígneas extrusivas.

En el Cuaternario hubo emisiones de derrames basálticos, andesíticos y de productos piroclásticos, los cuales representan las últimas manifestaciones de vulcanismo en la península (Demant y Colaboradores (1976).

Las rocas ígneas intrusivas constituidas principalmente de granitos están aflorando en el extremo sur de la Península de Baja California, también se encuentran en la región, entre La Paz y Los Cabos y en el extremo norte de la misma; estas rocas plutónicas afloran extensamente.

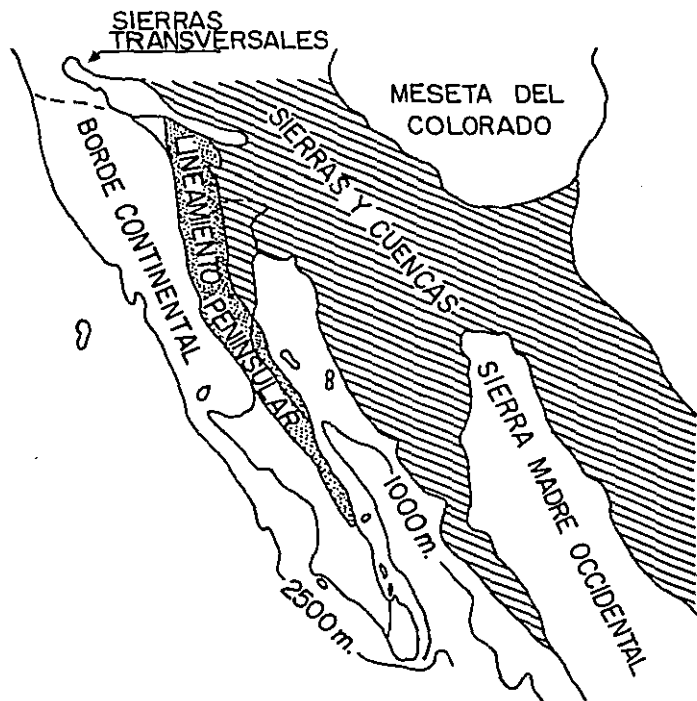
Las principales provincias tectónicas de la Península de Baja California son, de noroeste a sureste: el borde continental, el lineamiento de Santillán y Barrera, la península estable, el escarpe del golfo y la depresión del golfo (Fig. 3).

El borde continental está separado de la península por el lineamiento Santillán y Barrera. El límite del lineamiento es de posible edad cretácica de acuerdo con Gastil y Colobs (1975). La península estable está limitada al este por el escarpe del golfo, que es una estructura formada en el Cenozoico; al oriente de ésta se encuentra el Golfo de California (Fig. 3).

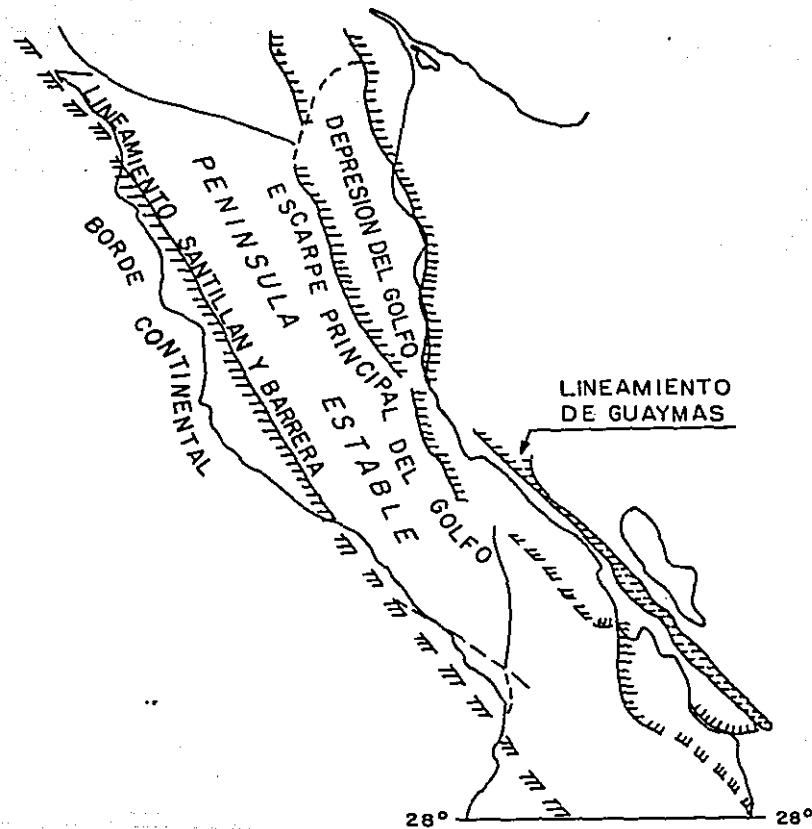
La separación de la Península de California de la parte continental mexicana resulta ser de edad relativamente reciente. - De acuerdo a estudios de anomalías magnéticas en la boca del golfo, detectadas por Larson y Colaboradores Moore y Buffington (1968), y por Larson (1972) indican que la separación inicial de las placas tectónicas debe tener una antigüedad de 4 a 6 millones de años, siendo el promedio de separación de 6 cm/año.- Ellos interpretaron que la abertura del golfo entre Cabo San Lucas y las Islas Marías es de 260 km, los cuales pudieron separarse en unos 4 ó 6 millones de años.

Existen razones para pensar que el Golfo de California existió desde hace mucho más tiempo como una depresión estructural marina conocida como "proto-golfo" (Karing and Jensky, 1972; Moore, 1973). Estos autores determinaron edades absolutas de rocas por el método Potasio-Argón, y concluyeron que el vulcanismo del "proto-golfo" empezó hace unos 28 millones de años.

En la actualidad la Península de Baja California se encuentra en movimiento transcurrente hacia el noroeste, lo cual ha originado una franja de separación en la zona del Mar de Cortés, como consecuencia de la deriva de la península al empezar a separarse del resto del continente.



MARCO TECTONICO REGIONAL DE BAJA CALIFORNIA. GASTIL G. ET AL (1975).



PROVINCIAS ESTRUCTURALES DEL EDO. DE BAJA CALIFORNIA NORTE. GASTIL G. ET AL. (1975).

GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

En el área se encuentran aflorando rocas sedimentarias y de origen volcánico. Existen rocas sedimentarias expuestas de edad del Eoceno hasta el Reciente y consisten de conglomerados, areniscas, lutitas, margas y bancos de calizas fosilíferas.

Los sedimentos del Cuaternario están constituidos por depósitos de origen fluvial, lacustre, marino y eólico; estas rocas y sedimentos se encuentran aflorando formando terrazas, normalmente a lo largo de la costa occidental de la península, lo cual demuestra que en los últimos años el nivel del mar ha sido regresivo, debido a que el área regionalmente se encuentra en proceso de levantamiento, según los estudios de Neotectónica realizados en las costas de la península, Phleger y Ewing (1962), Orlieb y Malpica (1978).

Las rocas ígneas aflorantes son volcánicas del Terciario y Cuaternario, constituidas por derrames de andesita, riolita, dacita y riodacita, las cuales han sido fechados con una edad miocénica Gastil y Colaboradores (1975).

El área de estudio se encuentra en una zona tectónicamente activa; en la parte sur de la misma, pasa la falla de San Benito con una orientación noroeste-sureste, cambiando hacia el sureste cerca de la línea de costa. La falla de San Benito sigue por la boca de la Laguna San Ignacio, y conforma la porción suroccidental de la Laguna La Escondida, continuando hacia el noroeste, pasa otra falla que también tiene una orientación sureste-noroeste, la cual se inicia casi paralela a la parte oriental de la Laguna San Ignacio y al internarse hacia el continente toma un rumbo norte-noroeste (Fig.3-A).

La región se encuentra afectada por movimientos tectónicos re-

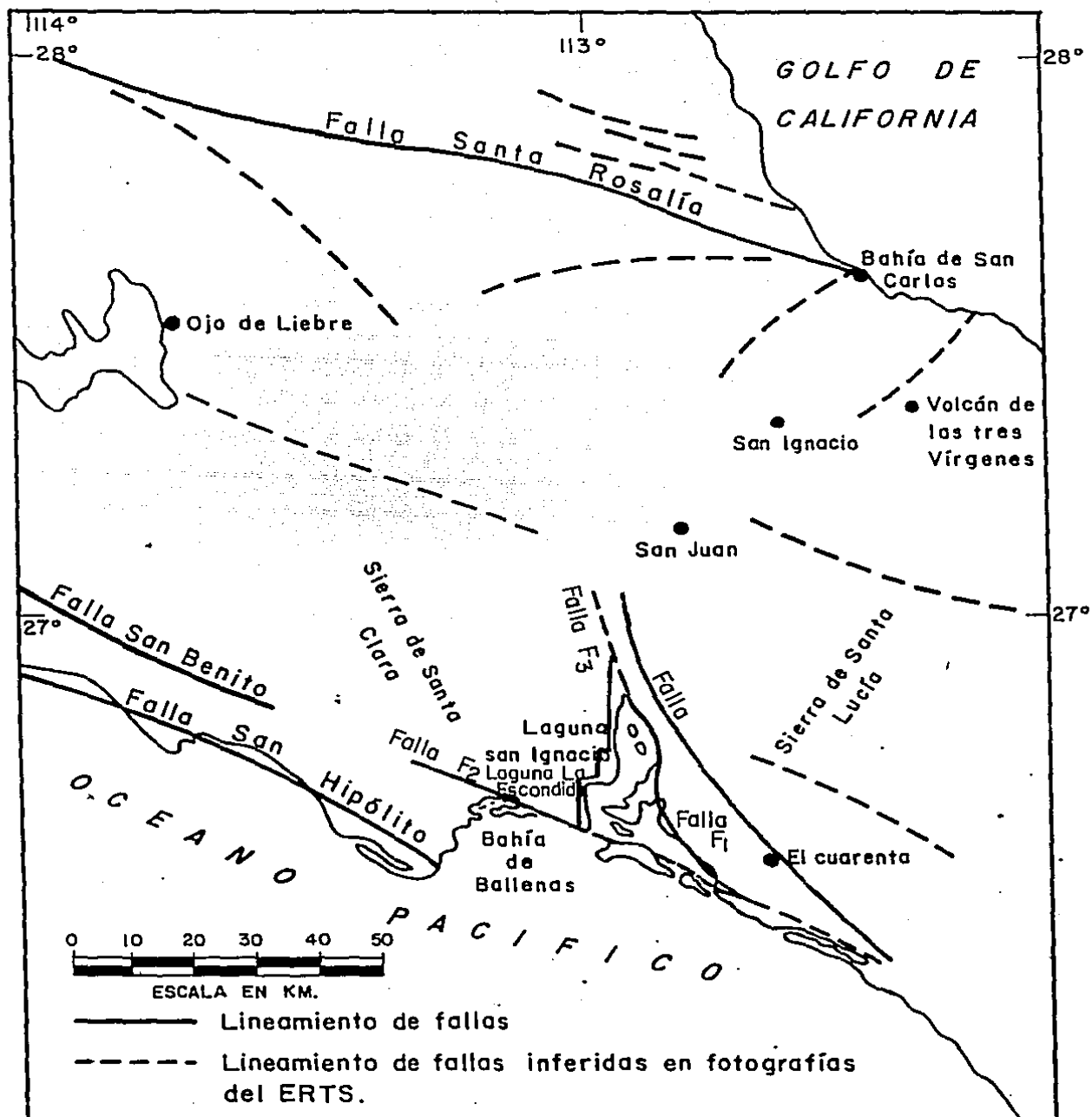


Fig. 3-A.- Principales lineamientos de fallas en la región de estudio (Abdel Monem, 1974).

cientes, lo cual ha dado lugar a que se formen una serie de fallas normales, originando grandes bloques que se han hundido y que se reflejan por los rasgos fisográficos que caracterizan al área. La Laguna San Ignacio fue originada por el hundimiento de un bloque de forma irregular afectado por fallas normales; la salina del Cuarenta aparentemente tiene el mismo origen, y es debida a un pequeño bloque hundido de forma casi rectangular formando un graben. En la parte oriental de la salina se observa el gran escarpe de una falla regional, con orientación noroeste-sureste, y que dió lugar al fallamiento de un gran bloque en donde se formó la salina.

Los movimientos recientes originaron el fallamiento en bloques de grandes dimensiones que conforman el borde occidental de la península, con extensas áreas prácticamente planas con muy escasos accidentes topográficos, las cuales son fácilmente inundadas por las mareas que alcanzan rangos promedios de 1.5 m y máximos hasta de 2.5 m (Phleger, 1969).

Estas características tectónicas y fisiográficas del área, así como las condiciones climáticas de la misma, controlaron la formación de los ambientes sedimentarios litorales, tales como las lagunas de las costa occidental de la Península de Baja California que fueron formadas por el depósito de sedimentos arenosos en forma de barreras construídas por la influencia de las corrientes litorales, por el oleaje, el viento y las tormentas; a las barras más antiguas se les ha determinado una edad de 6 000 a 7 000 años, por medio de carbono radioactivo en esqueletos de organismos (Phleger y Ewing, 1962)

Por el mismo método a la barrera de playa donde se encuentra el actual nivel del mar se le ha determinado una edad también de $1\ 800 \pm 2\ 000$ años.

Según la clasificación de lagunas costeras de México propuesta

por Lankford (1972), la Laguna San Ignacio y La Escondida son formadas en valles sumergidos y protegidos por barreras, siendo modificados por procesos litorales tales como el viento, las corrientes de mareas y el oleaje (Carranza, Gutiérrez y Rodríguez, 1975).

La Laguna San Ignacio es de origen tectónico formada por el hundimiento de bloques, limitados por fallas de gravedad (F1, F2 y F3) (Fig. 3-A), y no sólo por el crecimiento de barreras protectoras, como es el caso de la Laguna La Escondida.

El origen de la Laguna San Ignacio, es considerado de origen tectónico ya que su morfología es perpendicular a la línea de costa y no paralela como las lagunas formadas por barreras litorales, además es más profunda que la Laguna La Escondida, y se encuentra limitada por dos fallas una hacia el noreste que pasa por la salina del Cuarenta y otra hacia el suroeste que pasa por la línea de costa, las cuales son observadas en las fotografías aéreas (Fig.3-A).

La energía hidrodinámica es debida principalmente a las corrientes de mareas, que es alta y persistente en la entrada de los canales, y es baja en las partes someras. Los gradientes de salinidad normalmente en estas lagunas son hipersalinos, con rangos que varían de 42.0 ‰ en febrero a 47 ‰ en agosto.

PROVINCIA SEDIMENTARIA

Los ambientes sedimentarios recientes que se observan en el área de estudio son litorales, y se encuentran gobernados por procesos físicos, químicos y biológicos.

Estos ambientes sedimentarios constituyen, en su mayor parte, sedimentos terrígenos y evaporíticos, debido principalmente a las condiciones geológicas y climáticas propias de la región.

En Bahía Ballenas y Laguna San Ignacio (Fig.4), se observaron los siguientes ambientes sedimentarios mayores:

AMBIENTE LAGUNAR

Laguna La Escondida

La influencia de las mareas es el factor más importante en el depósito de los sedimentos.

Esta laguna se encuentra localizada al norte de Bahía de Ballenas, en la provincia fisiográfica denominada de Sebastián Vizcaino (Mina, 1957) sobre la planicie costera del Océano Pacífico y queda comprendida en una región plana donde no existen prominencias topográficas.

La laguna tiene una longitud aproximada de 10 kilómetros por 3 kilómetros de ancho, y está orientada este-oeste, paralela a la línea de costa. Esta laguna se comunica con el mar por un canal de mareas, el cual la abastece de agua, ya que las lluvias en esta región semidesértica son escasas, por lo cual la influencia fluvial, es casi nula (Fig.4).

En el centro de la laguna, se han ido acumulando sedimentos como consecuencia del desarrollo de manglares; la geometría de estos cuerpos de manglares es de forma semicircular y

AMBIENTES SEDIMENTARIOS
RECIENTES EN BAHIA DE BALLENAS
LAGUNA SAN IGNACIO EDO. DE ..
BAJA CALIFORNIA SUR.



FIGURA 4

está controlada por la circulación de las corrientes de mareas que se generan dentro de la laguna. Hacia las orillas de la laguna se observan algunos manglares diseminados (Lámina I, Figs.2 y 3).

Esta laguna litoral esta separada del mar por dos barras, una hacia el este de la boca que mide unos 6 km de largo y que está bifurcada por dos canales de mareas paralelos a la línea de costa; la otra barra está situada al oeste de la boca y tiene unos 4 km de largo, siendo más angosta hacia la boca y se ensancha hacia su porción occidental (Fig.4).

Los rangos máximos de las mareas que inundan la zona de intermarea y las planicies de mareas, que también quedan comprendidas en esta zona, son según estudios hechos por Phleger y Ewing (1962) y Phleger (1965): en las lagunas de Ojo de Liebre y Guerrero Negro para las mareas de primavera, de 2.75 m y el rango máximo de las mareas diurnas y nocturnas es de 1.00 m aproximadamente, siendo el rango promedio de 1.5 m. La velocidad de las corrientes de mareas puede variar de 2.0 nudos en la entrada de la laguna a 1.5 en el interior de la misma.

1. Zona de Supramarea.- Las zonas de supramarea comprenden aquellos sitios que son cubiertos ocasionalmente por las mareas de primavera, que se suceden durante las fases de luna llena y luna muerta; durante épocas de tormentas también llegan a generarse mareas de mucha intensidad. - La superficie que abarca esta zona es irregular y depende de la configuración de las playas y de la intensidad de las mareas.

En el área de Bahía de Ballenas la zona de supramarea se observó a lo largo de la playa y abarcando una zona den-

LAGUNA DE SAN IGNACIO—BAHIA DE BALLENAS BAJA CALIFORNIA, MEX.

SÍMBOLOS TOPOGRÁFICOS

POBLACION	W
BRECHA	---
VEREDA	---
LAGUNA O PRESA	■
PANTANO	■
RIO	---
ARROYO	---
TARDE	H



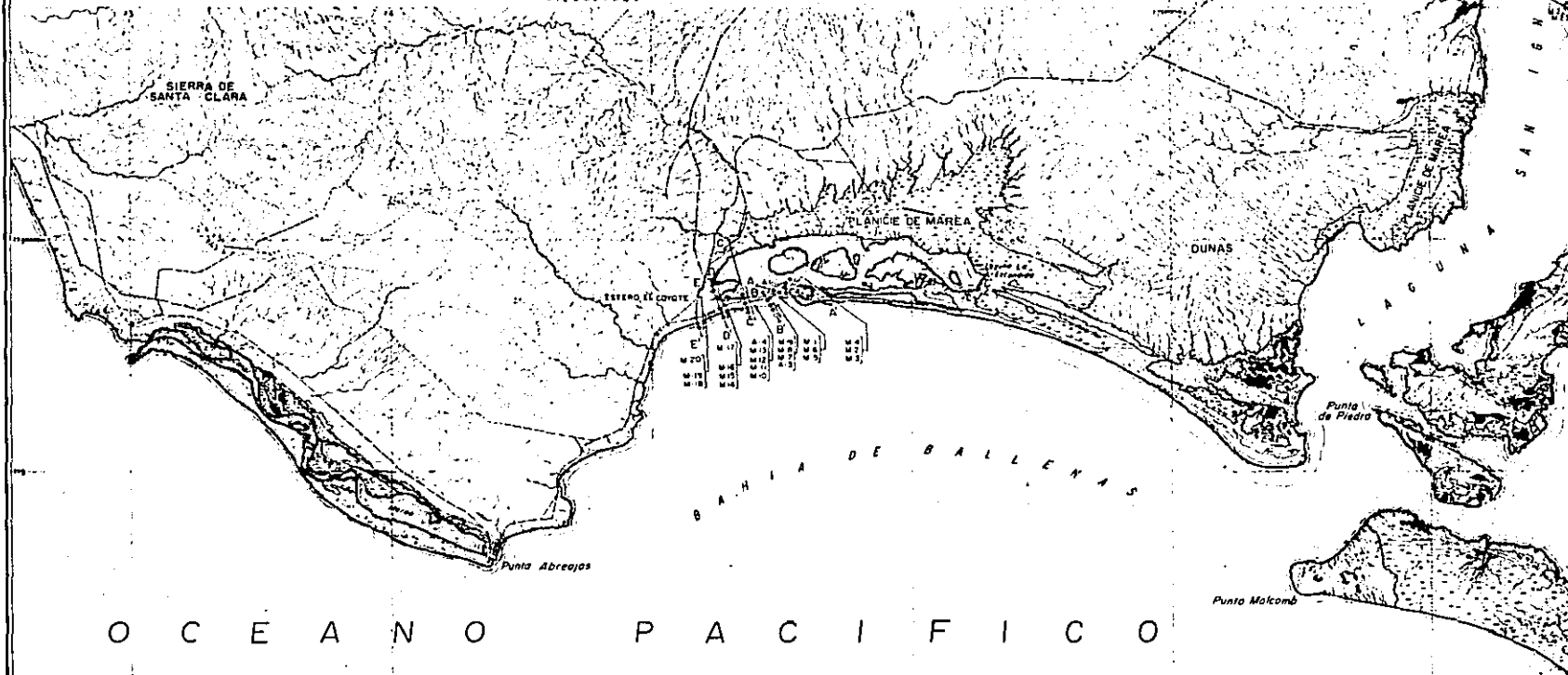
CRONOQUE DE LOCALIZACION



SÍMBOLOS DE MUESTREO

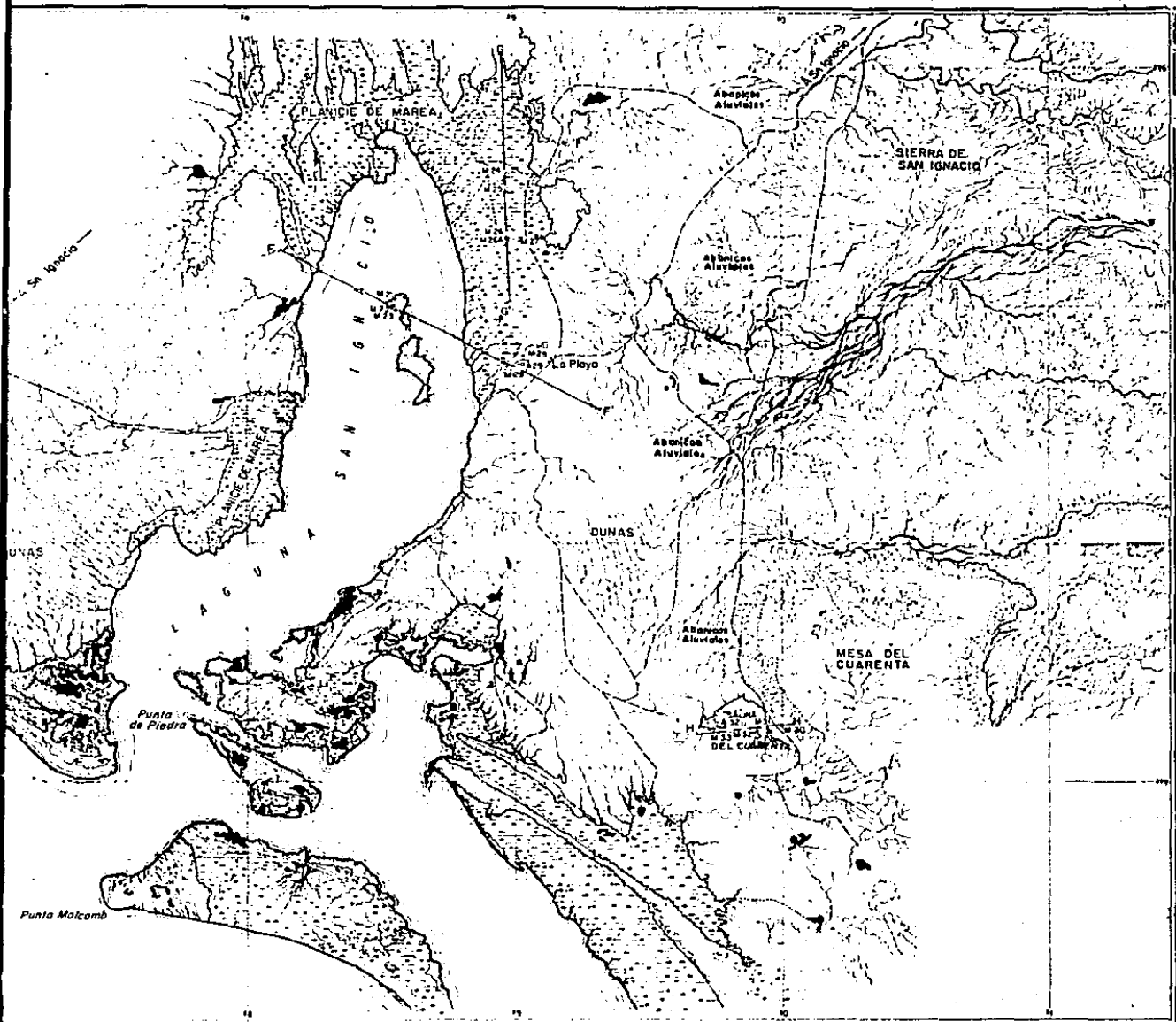
MUESTRO DE SEDIMENTOS	*
MUESTRO DE EVAPORITAS	□
MUESTRO DE AGUA	○
SALINERA	■
SECCIONES	---

La topografía representada a 10,000 pies, sea en presente en este dibujo, está referida a la Cuestión 12 N-V que en fracción de la Carta Geográfica No 1 500,000 levantada por la Comisión Intersecretarial en el año de 1958.



-->
Continua 1

FIGURA 5. PLANO DE LOCALIZACION DE LAS AREAS ESTUDIADAS Y SECCIONES DE M



S ESTUDIADAS Y SECCIONES DE MUESTREO.

tro de la laguna (Fig.7, secciones A-A' - E-E').

En la playa occidental de Bahía de Ballenas, la zona de supramarea se encuentra cubierta por gravas formadas de cantos rodados gruesos, bien redondeados, constituidos de rocas ígneas, así como arenas y algunas conchas de moluscos (Lámina II, Fig.1).

Estas gravas fueron transportadas a la playa, durante épocas de tormentas, ya que durante estos períodos las corrientes fluviales tienen mayor fuerza de tracción para poder transportar el material más grueso desde la fuente de suministro; posteriormente han sido retrabajadas permanentemente por el oleaje que es la energía dominante del ambiente; que ha hecho que las gravas adquieran formas bien redondeadas. Hacia la parte este de la playa, empiezan a disminuir las gravas gruesas y comienzan a predominar las arenas de grano grueso y medio. En la parte media de la barra, la zona de supramarea es más extensa y en ellas, se observan fragmentos de roca volcánica, arena, restos de conchas, material leñoso y algáceo diseminado (Lám. II, Fig.3). (En la zona de la salida del canal de marea se observa muy bien la zona de supramarea en contacto con la zona de intermarea (Lám. II, Fig.2).

Discusión estadística de las muestras.- Los sedimentos del ambiente de supramarea se encuentran constituidos por cantos rodados de tamaño promedio de 2.0 a 4.0 cm, derivados de rocas volcánicas de composición intermedia y básica (traquitas, andesitas y basaltos). Los clastos están bien redondeados.

Las arenas que se encuentran en esta zona tienen un promedio de tamaños que varían de medianas a finas (Muestras M-3, M-12 y M-26A, Fig.6). Sus promedios de clasificación son de bien clasificadas a moderadamente clasificadas y tienen una tendencia casi simétrica y asimétrica hacia los granos gruesos y con un grado de curtosis mesocúrtica. Durante el

transporte de su lugar de origen hasta los sitios donde se encuentran, las arenas han sido reducidas de tamaño y se han eliminado las arcillas que casi son nulas, alcanzando las arenas un grado de clasificación de alto a moderado, por lo cual, pueden considerarse como arenas maduras. En este proceso de clasificación también han intervenido las mareas, el oleaje y los vientos que son los agentes dominantes en el área.

Con base en la distribución estadística de los sedimentos (Fig.6), donde se toman en cuenta simultáneamente los tres parámetros estadísticos: Promedio gráfico ($M\bar{O}$) desviación gráfica estándar inclusiva (\sqrt{I}) y grado de asimetría gráfica inclusiva (SKI); los sedimentos de supramarea se mezclan con los de intermarea y eólicos; esto es debido a que los ambientes en el área se encuentran cercanos unos a otros y los sedimentos pueden pasar de un ambiente a otro, ya sea por influencia de las mareas, el viento o fluvial.

Composición Mineralógica.- Según la composición mineralógica de las arenas, estas corresponden a felsarenitas, Folk, Lewis y Andreus (1970), constituidas principalmente por plagioclasas y feldespatos alcalinos; el cuarzo es común. Los minerales máficos, tales como: hornblenda, augita, olivino y magnetita, así como fragmentos de roca, son escasos. Los restos biógenos son escasos y raros al igual que los foraminíferos bentónicos y restos de moluscos; el vidrio volcánico, también es raro. (Fig. 6).

Las fuentes de suministro de los cantos rodados y de los minerales para la formación de las arenas, son principalmente, las sierras que circundan el área. La sierra de Santa Clara hacia el noroeste, la sierra de San Ignacio hacia la parte oriental y la mesa del Cuarenta hacia la parte sureste a 10, 40 y 15 km respectivamente. Estas

CONSTITUYENTES DE LAS ARENAS

MUESTRA	M ₂ (φ)	σ _i	σ _g	AMBIENTE SEDIMENTARIO
M-1	2.04	0.22	+0.27	LAGUNAR
M-2	2.30	0.29	+0.10	INTERMAREA
M-3	2.16	0.20	+0.22	SUPRAMAREA
M-4	2.09	0.23	+0.21	CANAL DE MAREA
M-5	2.25	0.23	+0.20	INTERMAREA
M-6	2.04	0.25	+0.17	DUNAS
M-7	2.00	0.20	+0.22	INTERMAREA
M-8	2.03	0.27	+0.19	INTERMAREA
M-9	2.01	0.21	+0.22	DUNAS
M-10	2.08	0.19	+0.22	INTERMAREA
M-11	2.00	0.20	+0.12	INTERMAREA
M-12	2.02	0.24	+0.09	DUNAS
M-13	2.07	0.24	+0.22	LAGUNAR
M-14	2.01	0.20	+0.21	INTERMAREA
M-15	2.09	0.22	+0.17	INTERMAREA
M-16	2.09	0.22	+0.21	DUNAS
M-17	2.10	0.22	+0.20	INTERMAREA
M-18	1.70	0.12	+0.19	SUPRAMAREA
M-20-A	2.11	0.24	+0.24	SUPRAMAREA

EXPRESIONES ESTADÍSTICAS
(Según, Folk y Ward, 1957, Folk, 1966)

M₂ (φ) Promedio Gráfico. Es el valor promedio de todos los tamaños.

$$M_2 = \frac{\phi_{10} + \phi_{50} + \phi_{90}}{3}$$

σ_i (φ)

-2

-1 Grésalo

0 Arena muy gruesa

1 Arena gruesa

2 Arena mediana

3 Arena fina

4 Arena muy fina

5 Lina gruesa

σ_i = Desviación Gráfica Estándar Inicial. Es la medida de la clasificación o selección de material.

$$\sigma_i = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} = \frac{\phi_{85} - \phi_{15}}{6.6}$$

Mayor de 0.25 muy bien clasificado
0.25 - 0.50 bien clasificado
0.50 - 0.71 moderadamente bien clasificado
0.71 - 1.0 moderadamente clasificado
1.0 - 2.0 mal clasificado
2.0 - 4.0 muy mal clasificado
mayor de 4.0 extremadamente mal clasificado

SK₂ = Grado de Asimetría Gráfica Inclusivo. - Corresponde a la distribución de tamaños;

$$SK_2 = \frac{\phi_{10} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{25} + \phi_{75} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

0 = 1.00 = +0.30 muy asimétrico hacia los finos
+ 0.30 = +0.10 asimétrico hacia los finos
+ 0.10 = -0.10 casi simétrico
- 0.10 = -0.30 asimétrico hacia los gruesos
- 0.30 = -1.00 muy asimétrico hacia los gruesos

MUESTRA	SEDIMENTO	CUARZO	FELDSPATOS (pegmat o mica)	F. DE ROCA (volcánica)	M. MÁFICOS	VIRIO (vol)	RESTOS BIÓGENOS
M-1	Arena muy fina						
M-2	Arena fina						
M-3	Arena fina						
M-4	Arena fina						
M-5	Arena fina						
M-6	Arena fina						
M-7	Arena fina						
M-8	Arena fina						
M-9	Arena fina						
M-10	Arena fina						
M-11	Arena fina						
M-12	Arena muy fina						
M-13	Arena fina						
M-14	Arena fina						
M-15	Arena muy fina						
M-16	Arena fina						
M-17	Arena fina						
M-18	Arena muy fina						
M-19	Arena fina						
M-20	Arena Mediana						
M-20-A	Arena fina						

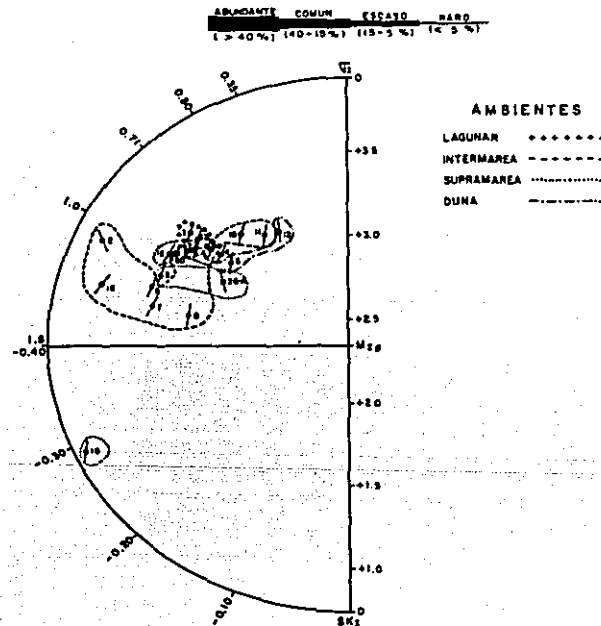


FIG.-6 DISTRIBUCION ESTADISTICA DE LAS ARENAS DE LA ZONA LITORAL DE BAHIA DE BALLENAS, LAGUNA SAN IGNACIO, BAJA CALIFORNIA SUR.

sierras se encuentran constituidas por rocas volcánicas de composición intermedia como traquitas, dioritas y basaltos, por lo cual, las arenas están formadas principalmente por minerales derivados de estas rocas. (Fig. 5).

Estructuras Sedimentarias Primarias.- Las estructuras que se observan son: rizaduras pequeñas y longitudinales (Lám. II, Fig.2), grietas de desecación, canales de corte y relleno, carpetas de algas y cavidades de organismos con pellets.

2. Zona de Intermarea.- El ambiente de intermarea abarca una parte comprendida dentro de la laguna La Escondida y otras extensiones más (Fig.7, secciones A-A' y D-D').

De la salida del canal de mareas hacia el Océano Pacífico, en la parte oeste de la laguna, la zona de intermareas se va haciendo más amplia, variando de unos 10 m en la salida del canal hasta unos 70 m en la parte occidental de la barra. La parte más estrecha de la zona de intermareas tiene una inclinación fuerte hacia el mar, de unos 15° aproximadamente; hacia el oeste la pendiente se va haciendo más suave (Lám. II, Fig.3 y Lám. III, Fig.1). Dentro de la laguna, la zona de intermareas se caracteriza por presentar una franja de manglares que se encuentran en las orillas de dicha laguna. Estas plantas crecen en los sedimentos lodosos, y se van acumulando tanto en las orillas de la laguna como en el centro de la misma, lo cual sugiere que los sedimentos que llegan a la laguna, son arrastrados por las corrientes de marea hacia el centro, depositándose y posteriormente inmovilizados por las raíces de los manglares. La profundidad de la laguna es muy somera ya que las áreas cubiertas por el manglar van en aumento (Lám. VI, Fig. 1). Gran proporción de arcillas es de origen orgánico, como productos de la descomposición or-

gánica de los mismos manglares; esta arcilla es de color negro y presenta olor fétido debido a las condiciones reductoras del lugar (Fig.7, secciones C-C' y D-D').

Después de la franja de manglar hay otra franja cubierta por sedimentos arenosos y limosos, carpetas de algas clorofíceas y cianofíceas, organismos abundantes muy especializados en su habitat, como cangrejos y gasterópodos, que se encuentran bioturbando al sedimento. En las partes más cercanas al nivel de bajamar, hay aguas estancadas formando marismas durante el descenso de las mareas sobre la planicie (Lám. VI, Fig.2).

Discusión Estadística de las Muestras.- Los sedimentos que se encuentran en la zona de intermareas, consisten de arenas que tienen un promedio de tamaños de fino a muy fino.- El grado de clasificación es de arenas muy bien clasificadas, bien clasificadas y moderadamente clasificadas, y la distribución de tamaños varía de casi simétrico a muy asimétrico hacia los tamaños gruesos. La tendencia de sus curvas es mesocúrtica a leptocúrtica (Fig.6, M-2, M-5, M-7, M-8, M-10, M-11, M-14, M-15 y M-18).

Tomando en cuenta los tres parámetros estadísticos que se presentan en la gráfica ternaria de la Figura 6, o sea, el promedio gráfico, la desviación gráfica estándar inclusiva y el grado de asimetría gráfica inclusiva.

El grado de clasificación de las arenas muestreadas, son muy bien clasificadas y bien clasificadas (Fig.6); esto se debe a que el ambiente de intermarea es buen clasificador, dado la alta energía del oleaje y a las corrientes de mareas que imperan en esta zona (Klein, 1970).

La madurez textural de las felsarenitas es alta, ya que

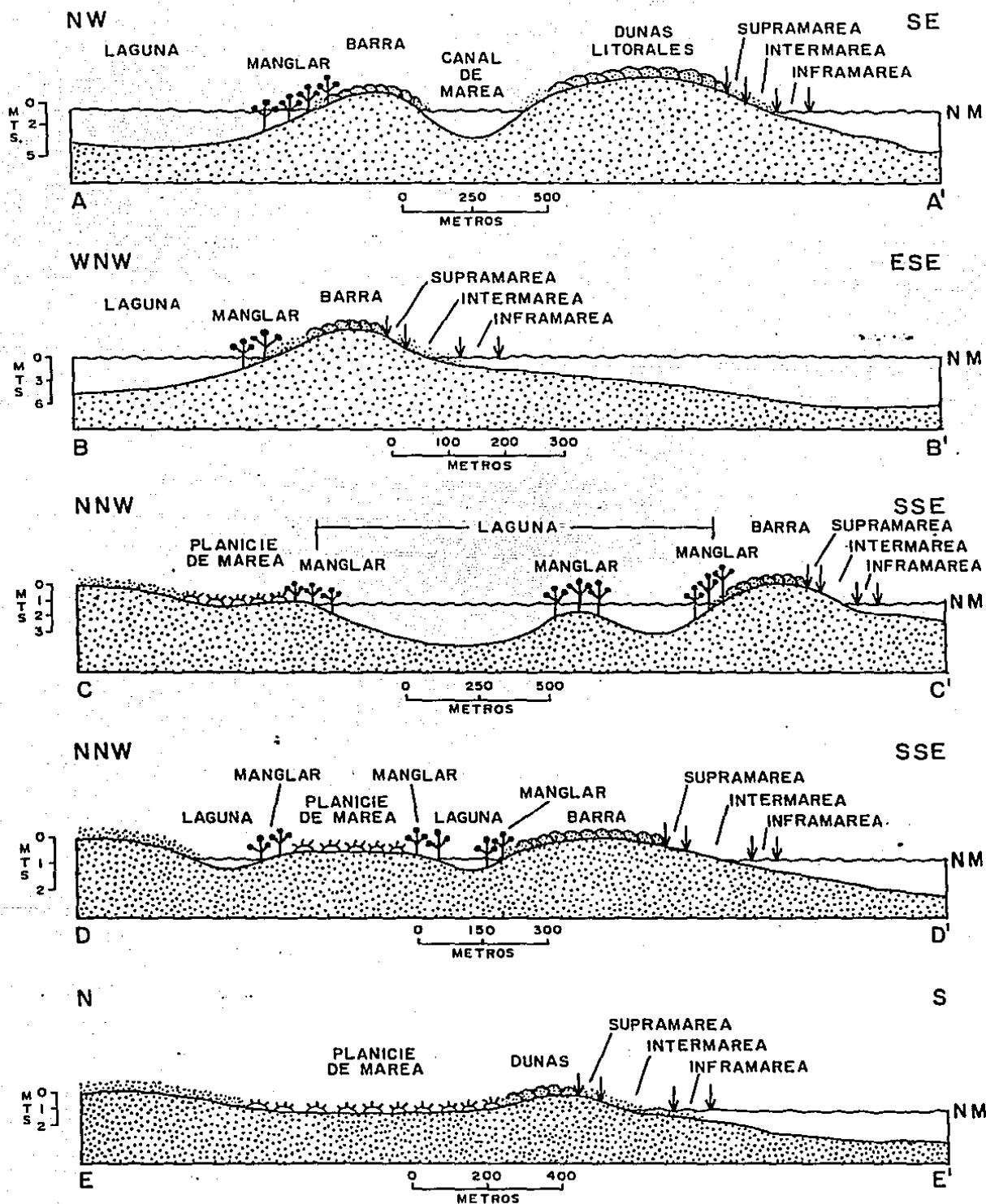


Fig. 7 SECCIONES ESQUEMATICAS MOSTRANDO LOS AMBIENTES SEDIMENTARIOS LITORALES EN BAHIA DE BALLENAS

están bien a muy bien clasificadas y no contienen arcilla; aunque su grado de redondeamiento es bajo, subredondeados y subangulosos, debido a que la energía del oleaje es alta y provoca que los granos se rompan continuamente sin permitir que los sedimentos alcancen un buen redondeamiento, favoreciendo el lavado de los feldespatos y plagioclasas que son abundantes.

Los sedimentos que se encuentran en este ambiente pueden pasar a la zona de supramarea, dunas y lagunar, sin que los sedimentos sufran cambios en sus atributos texturales debido a la cercanía de los ambientes.

Composición Mineralógica.- Según la composición mineralógica de las muestras colectadas, éstas corresponden a felse renitas (Folk y Colaboradores. op.cit.), constituídas por plagioclasas y feldespatos potásicos abundantes, el cuarzo es común, los minerales máficos tales como horblenda, piroxenos, olivino, biotita y magnetita, son escasos, los fragmentos de roca volcánica son raros y escasos.

Los restos biogénicos son escasos y consisten de foraminíferos bentónicos, espinas de equinodermo, espículas de esponja, ostrácodos, briozorios y restos de bivalvos y gasterópodos (Fig.6).

Estructuras Sedimentarias Primarias.- En la playa se observaron dos zonas; 1) Intermarea inferior, donde se encuentran estructuras de resaca, tales como rizaduras de refluo y cavidades generadas por organismos horadantes. 2) Intermarea superior, que presenta cavidades en la superficie formadas por el escape de las burbujas de aire que quedan atrapadas con el sedimento durante el flujo; rizaduras pequeñas, abundantes madrigueras de organismos asociados a pellets de origen fecal (Lám.IV, Fig.3). Tam-

bien se observan unas estructuras llamadas cuspilitos, las cuales consisten en unas líneas paralelas a la dirección del oleaje que son formadas por la mayor concentración de ciertos minerales o fragmentos de conchas que son concentrados en estas líneas, marcando el límite máximo del oleaje (Lám. IV, Fig.2).

Hacia la parte occidental de la playa en Bahía de Ballenas, se observan pocas estructuras (Fig.7, secciones D-D' y E-E'), sólo pequeñas rizaduras, algunos canales de marea y conchas diseminadas entre el sedimento arenoso (Lám.III, Figs. 1,2 y 3).

En las muestras obtenidas con el tubo muestreador sólo se pudo observar una ligera estratificación cruzada, y graduación pobre (Lám. IV, Fig.1).

3. Zona de Inframarea Lagunar.- La zona de inframarea lagunar se encuentra cubierta por las aguas someras de la laguna; sólo se colectaron muestras en la laguna La Escondida. Esta zona se caracteriza por tener gran cantidad de materia orgánica diseminada, algas verdes y pardas, creando por lo tanto, condiciones euxinicas en el ambiente sedimentario.

Discusión Estadística de las Muestras.- Los sedimentos colectados en la zona de inframarea lagunar son arenas finas, limos y arcillas; sólo se hicieron análisis estadísticos de las arenas, ya que los demás sedimentos se encontraron en menor proporción.

En los análisis de las arenas se determinó que varían de finas a muy finas, muy bien clasificadas a bien clasificadas, con tendencia hacia los granos gruesos y su curva de curtosis tiende a ser leptocúrtica (Muestras M-1, M-4

y M-13, Fig.6)

Considerando los tres parámetros estadísticos que se toman en cuenta en la gráfica ternaria de la Figura 6 (que son: Promedio gráfico, desviación gráfica estándar inclusiva y grado de asimetría) se observa que las muestras de este ambiente no se discriminan de las de los demás, debido a que los parámetros de los sedimentos son muy similares.- Los sedimentos de las dunas se mezclan con los de la laguna ya que la distancia entre ambiente y ambiente es mínima, para que la variación textural de los sedimentos sea suficientemente grande (Jones, 1970).

De acuerdo al grado de redondeamiento de los minerales, (subangulosos y subredondeados) y a la medida de la selección de los mismos, (muy bien clasificados y bien clasificados) las arenas de la laguna corresponden a sedimentos maduros. Estas arenas son transportadas por el viento y las corrientes de mareas hacia el interior de la laguna donde son mezclados con sedimentos limosos y arcillosos en un ambiente de baja energía, lo cual causa que estas arenas sufran una inversión textural (Folk, 1966).

Las arenas provenientes de las dunas y que se encuentran en el ambiente lagunar, son mezcladas con limos, arcillas y materia orgánica propias de la laguna y son bioturbadas por organismos; por lo cual, las arenas que llegan a este ambiente cambian su clasificación textural, por lo que el ambiente lagunar va a ser un mal clasificador de los sedimentos, debido a las condiciones bajas de energía y a la acumulación de sedimentos finos, así como a la existencia de condiciones reductoras que favorecen la presencia de la materia orgánica. Estos procesos favorecen que exista una madurez textural invertida (Folk, op. cit)

Composición Mineralógica.- Según la composición mineralógica de las arenas, se clasificaron como: felsarenitas con abundantes plagioclasas y feldespatos potásicos, cuarzo común, fragmentos escasos de roca volcánica, minerales máficos escasos de hornblenda, piroxenos y magnetita; los restos biógenos son escasos y comprenden restos de moluscos, así como fragmentos de algas cianofíceas y clorofíceas.

Estructuras Sedimentarias Primarias.- Las estructuras que se observan en la zona de inframarea lagunar son: rizaduras, laminaciones ricas en materia orgánica, algas cianofíceas y clorofíceas, y madrigueras de organismos excavadores asociadas con pelotillas fecales. El sedimento bioturbado es de un color más claro debido a que los animales ingieren la materia orgánica existente y van arrojando el sedimento inorgánico en forma de pelotillas fecales (Lám. VI, Fig.3).

Laguna San Ignacio

La Laguna San Ignacio se encuentra localizada hacia la parte oriental de Bahía Ballenas, en la misma provincia fisiográfica que la Laguna La Escondida; está sobre la planicie costera del Océano Pacífico, encontrándose en una extensión casi plana, la circunvecinan en sitios aislados algunas terrazas marinas y continentales y derrames de basaltos hacia la parte oriental; siendo la altura de estos rasgos fisiográficos no mayor de unos 15 m.

Esta laguna tiene una orientación norte-noreste, con una longitud aproximada de 30 km y una anchura de 7 km en su parte media, la laguna se encuentra comunicada con el Océano Pacífico por un canal de unos 2 km de ancho.

En el centro de la laguna existen dos pequeñas islas, sien

do la mayor la que se encuentra en la porción sur, la cual tiene una superficie de aproximadamente 2 km² ; la de la porción norte tiene un poco menos de 1 km² (Lám.IX, Fig.1)

En esta última isla, se colectaron muestras con abundantes fósiles, los cuales fueron determinados en el laboratorio de Paleontología del Instituto Mexicano del Petróleo por la Investigadora Juana González Meza; tenemos, ejemplo como Helicoestegina del género Pseudofragmina (Pseudofragmina), correspondiente al Eoceno Medio (Muestra M-22, Lám.X, Fig.2).- Las rocas que se encuentran formando las islas consisten de conglomerados, areniscas, margas, bancos fosilíferos y horizontes delgados de yeso; estas rocas pertenecen a la Formación Bateque del Eoceno Medio e Inferior, que se encuentra aflorando también en áreas circunvecinas formando terrazas marinas de depósitos litorales, que testifican los altos niveles marinos alcanzados por las transgresiones que se han originado por las fluctuaciones del nivel del mar, debido a la actividad tectónica y a las glaciaciones (Malpica y Celis *op. cit*). (Lám.IX, Fig. 3 y Lám.X, Fig.1). La Laguna San Ignacio es más profunda que La Escondida ya que varía desde unos 5 a 10 metros en la orilla de la boca hasta la parte central de la laguna con unos 40 a 50 metros (comunicación personal de pescadores de la región). Además es un refugio natural de las ballenas grises.

1. Zona de Supramarea.- En la Laguna San Ignacio, las áreas de supramarea se encuentran al final de las planicies de mareas, y son cubiertas esporádicamente por las aguas marinas. Estas zona están formadas por arenas, limos y arcillas, carpetas de algas y capas delgadas de salitre y sal, así como fragmentos leñosos de troncos y tallos de plantas.

Estructuras Sedimentarias Primarias.- Las estructuras primarias observadas son: grietas formadas por desecación, carpetas de algas, laminaciones de salitre y raíces de plantas.

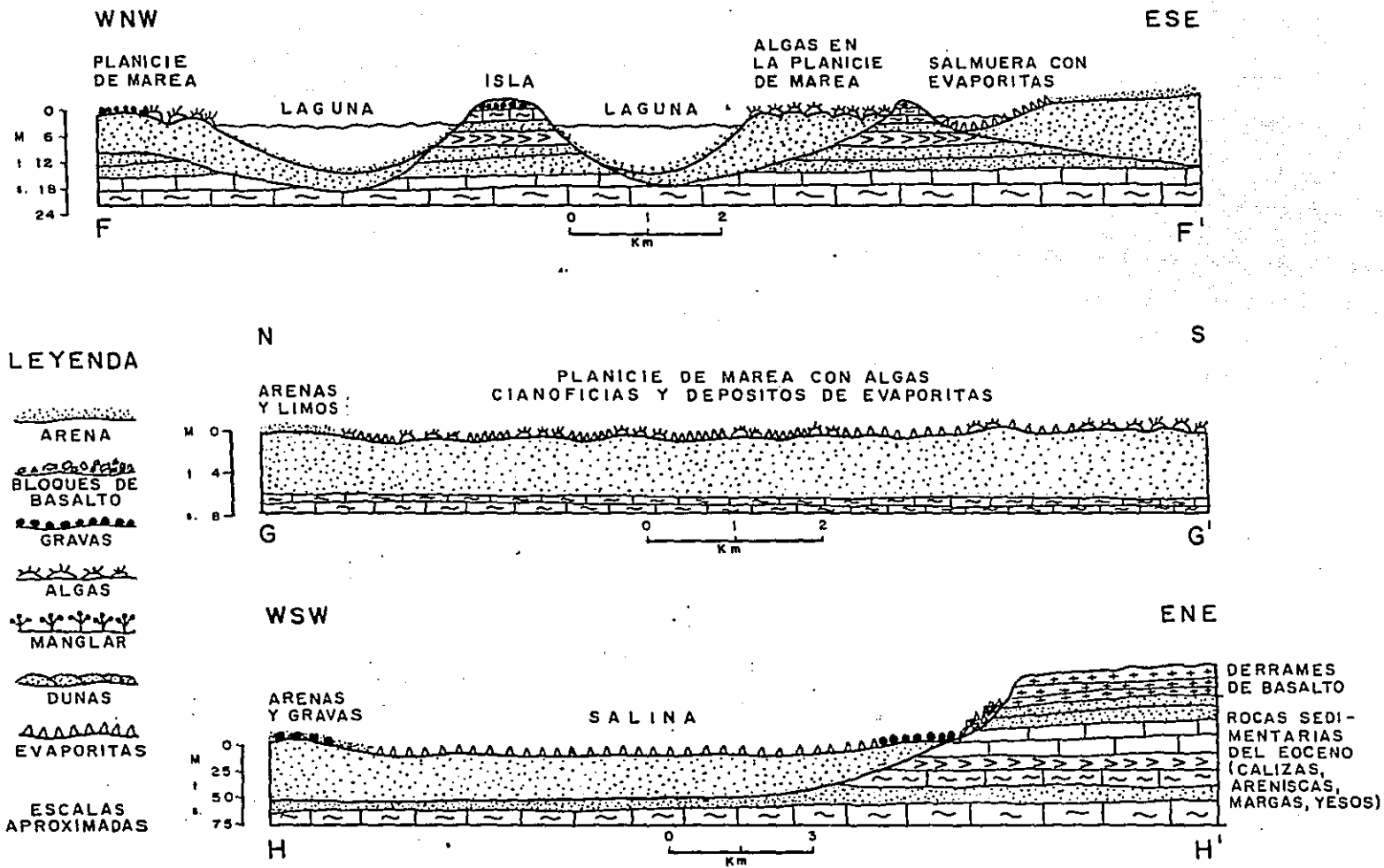


Fig. 8. - SECCIONES ESQUEMATICAS DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS EVAPORITICOS EN LA LAGUNA SAN IGNACIO.

El agua llega ocasionalmente y la abundancia de salitre y sal en los sedimentos no permiten el desarrollo normal de organismos en esta zona.

2. Zona de Intermarea.- Las zonas de intermarea, en la laguna San Ignacio, cubren grandes extensiones de planicies algáceas y parte de la planicie evaporítica.

En la parte media occidental de la laguna San Ignacio, se observó una zona con notable influencia de las mareas durante el período de bajamar. Esta zona de la laguna se encuentra cubierta por arenas finas, limos y arcillas. También se encuentra abundante material de tipo algáceo (algas verdes, pardas y azul-verdosas), y animales como gasterópodos equinodermos, pelecípodos y restos de peces.

Estructuras Sedimentarias Primarias.- Las estructuras sedimentarias comunmente observadas son: rizaduras, canales de mareas, laminaciones, estratificación cruzada, estructuras de corte y relleno, carpetas de algas, horadaciones y restos superficiales de animales bentónicos (Lám.V, Fig.2).

3. Zona de Inframarea.- La zona de inframarea somera se encuentra en al laguna formada por sedimentos arenosos, limosos y arcillosos, asociados con pasto marino, material algáceo, así como foraminíferos bentónicos, gasterópodos, pelecípodos, equinodermos y abundancia de peces.

Estructuras Sedimentarias Primarias.- Sólomente se observan rizaduras de fondo, y en las fotografías aéreas pueden verse canales de flujo y reflujó causados por las corrientes de mareas (Fig.4).

AMBIENTE EOLICO

El ambiente eólico es muy característico en el área, debido a las condiciones climáticas propias de la región.

La región es extensa y plana con escasos accidentes topográficos, lo cual favorece al avance de los sedimentos transportados por los vientos, ya sea de las playas hacia tierra adentro o dentro del continente.

Las dunas se encuentran distribuidas paralelamente a la zona de post-playa dentro de las barras; en la laguna La Escondida, entre la laguna San Ignacio y la laguna La Escondida, así como al oriente de la laguna San Ignacio, entre la laguna y la Salina del Cuarenta (Figs. 4 y 5).

La dirección predominante de los vientos es del suroeste, lo cual da lugar a la formación de dunas transversales, paralelas a la línea de costa y dunas de media luna.

Existe otra dirección predominante de los vientos, del noroeste, que da lugar a la formación de dunas perpendiculares a esta dirección (Fig.4).

La velocidad máxima de los vientos medida por Phleger (1965) en la laguna de Guerrero Negro, fue de 35 millas/hora en los meses de marzo, abril y mayo; en los demás meses predominaron las velocidades de 5-25 millas/hora. Estas velocidades promedio pueden ser similares a las existentes en el área de estudio debido a que está en la misma región.

1. Discusión Estadística de las muestras.- Todos los sedimentos colectados en la zona de dunas son arenas finas muy bien clasificadas y asimétricas hacia los tamaños gruesos. Otras son casi simétricas y su grado de curtosis varía de leptocúrtica a mesocúrtica (Fig.6, M-6, M-9, M-12 y M-16).

Considerando el promedio gráfico, la desviación gráfica estándar inclusiva y el grado de asimetría gráfica inclusiva (Fig.6), los sedimentos de duna se mezclan con los de la laguna. Esto es debido a que los sedimentos que se encuentran en las dunas provienen de las zonas de intermarea y supramarea, y posteriormente son acarreados a la laguna por el viento; estos cambios suceden rápidamente sin dar tiempo a que los sedimentos puedan madurar, ya que los ambientes se suceden uno a continuación de otro en distancias muy cortas, con las consecuentes inversiones texturales en los sedimentos, Ward y Colaboradores, (1970).

La madurez textural en las dunas, de acuerdo con los parámetros estudiados, corresponden a arenas maduras, ya que éstas se encuentran muy bien clasificadas, aunque el grado de redondeamiento es bajo, y que la mayoría de los minerales son sub-angulosos, presentándose algunos con escaso redondeamiento, debido al retrabajo del mar.

De acuerdo a sus parámetros estadísticos, el ambiente eólico es muy buen clasificador, puesto que todas las arenas son finas y muy finas y se encuentran muy bien clasificadas (Fig.6). Esto es debido a que los sedimentos están siendo removidos continuamente por la energía del viento hasta que las dunas son estabilizadas por la sal que precipita entre la porosidad intergranular, y por la vegetación incipiente que se desarrolla al pie de las dunas.

2. Composición Mineralógica.- Las arenas de duna corresponden a felsarenitas con abundantes plagioclasas y feldespatos, cuarzo, minerales máficos como horblenda, augita, olivino, magnetita y biotita; los fragmentos de roca volcánica son raros.- Los restos biógenos son escasos, solamente existen algunos fragmentos de bivalvos y gasterópodos esparcidos entre los terrígenos (Fig.6).

3. Estructuras Sedimentarias Primarias.- Se observa abundancia de rizaduras con una orientación perpendicular a la dirección del viento y estratificación cruzada de ángulo fuerte entre 20° - 25°. Las arenas migran hacia la zona de post-playa en dirección de los vientos predominantes (Lám. VIII, Fig. 3). En las fotografías aéreas puede observarse un sistema de dunas transversales y de tipo de media luna, localizadas al occidente de la laguna San Ignacio (Lám. VIII, Fig. 1). Las dunas que se encuentran entre la Laguna San Ignacio y la Salina del Cuarenta, son más pequeñas que las anteriores y están orientadas del suroeste al noreste (Fig. 4). Las dunas son estabilizadas por plantas y arbustos - (Fig. 7 , sección A-A' y D-D').

Hacia el oriente de la Laguna La Escondida existen dunas hasta de 30 metros de alto que al observarlas de lejos, y por efectos de la reverberación parecen flotar, debido a que toda la región es plana y estos depósitos arenosos son los únicos cuerpos sobresalientes en la provincia.

PLANICIE ALGACEA

Las grandes planicies algáceas se encuentran localizadas al norte y al poniente de la laguna La Escondida, cubriendo una superficie aproximada de 50 km². Las planicies algáceas de la laguna San Ignacio se localizan, una hacia el occidente con una superficie de unos 15 km², y la más extensa que se encuentra hacia la parte norte y noreste, con una superficie de unos 70 km² (Fig. 5).

Estas planicies se presentan en lugares planos donde la inclinación de los sedimentos es muy suave, de 1° a menos de 1°, por lo que, cualquier ascenso del nivel del agua llega a inundar grandes extensiones superficiales.

Las planicies algáceas son cubiertas por las aguas, principalmente durante las mareas de primavera, también llamadas mareas vivas; estas mareas se suceden de acuerdo con las fases lunares, de luna llena y conjunción; es cuando la tierra y la luna son colineales y la atracción gravitatoria entre estos cuerpos es mayor, por lo que, las mareas bajo estas condiciones se presentan aproximadamente cada 14 días.

La planicie algácea está constituida casi totalmente por algas cianofíceas, ya que estas plantas son las únicas que pueden resistir los cambios bruscos de humedad y salinidad existentes en la región. Las algas se encuentran intercaladas con capas delgadas de sedimentos arcillosos, limosos, arenas finas y halita. También se encuentra en esta planicie gran cantidad de material vegetal como troncos, raíces y tallos de plantas que son acarreados por las corrientes fluviales ocasionales, las cuales son to-

renciales cuando se presentan.

Las estructuras sedimentarias primarias que se observaron en la planicie son: canales de mareas que se encuentran cubiertos por carpetas de algas cianofíceas, depresiones erosionales, grietas de desecación, estratificación graduada en canales de erosión, laminaciones delgadas en las arcillas y estratificación cruzada en las arenas.

Las aguas que cubren las planicies van siendo desalojadas por los pequeños canales de marea, los cuales posteriormente son cubiertos por gruesas carpetas de algas cianofíceas (Lám. VII, Fig. 3). Sin embargo, parte del agua que cubre a las planicies de marea queda estancada en depresiones y charcos donde no puede ser drenada, y es concentrada por evaporación donde da lugar a la precipitación de evaporitas, constituidas principalmente por halita.

La mayor parte de la superficie de las planicies de la Laguna La Escondida está cubierta por algas cianofíceas, intercaladas o interdigitadas con capas delgadas de salitre (Lám. VII, Fig. 2).

En las planicies de La Laguna San Ignacio, que son muy similares a las planicies de la Laguna Ojo de Liebre (Phleger, 1969), se encuentran depósitos de evaporitas constituidas por halita.

AMBIENTE EVAPORITICO

El ambiente evaporítico en el área de estudio, se localiza en las planicies de mareas de la parte norte y oriental de la laguna San Ignacio. En estas zonas se están depositando evaporitas en una área aproximada de 15 km². Se denominan sedimentos o minerales evaporíticos porque el proceso de formación (de ellas) tiene lugar al evaporarse el agua de las salmueras que contiene dichos minerales.

La zona de precipitación de evaporitas se localiza en las partes de circulación restringida de la laguna, las cuales aparentemente están incomunicadas con la zona litoral y solamente por efectos de las mareas vivas se logran inundar y, posteriormente por evaporación, precipitan como halita.

El agua de mar en la actualidad tiene una salinidad de 35^o/oo como valor medio, y contiene principalmente los siguientes iones: Cl⁻ = 19^o/oo, Na⁺ = 10.56^o/oo, CO₃⁼ = 4.14^o/oo, SO₄⁼ = 2.65^o/oo, Mg⁺⁺ = 1.27^o/oo, Ca⁺⁺ = 0.40^o/oo y K⁺ = 0.38^o/oo, Br⁻ = 0.06^o/oo (Clarke, 1924).

Todos estos iones, exceptuando el calcio y el magnesio, solamente pueden precipitarse cuando tiene lugar una intensa evaporación del agua, y su concentración sobrepasa los límites de solubilidad.

Experimentos hechos en laboratorio con agua de mar, indican que, cuando se reduce el volumen del agua aproximadamente a la mitad, se empieza a precipitar el carbonato de calcio y algunas trazas de hidróxido de hierro y de aluminio; cuando el volumen es reducido a una quinta parte, comienza la precipitación del sulfato de calcio y que continúa conforme se va reduciendo más el volumen. Si el volumen original se reduce alrededor de una décima parte se precipitan, cloruro de sodio, sulfato de magnesio y cloruro de magnesio (Clarke, op. cit).

Al irse evaporando el agua de la salmuera, el volúmen de esta va decreciendo, pero la densidad del agua va en aumento debido a la concentración de los iones que ésta contiene.

Según cálculos hechos por Clarke (op. cit.), al ir aumentando la densidad del agua de mar concentrada en la salmuera, se precipitan las evaporitas según la relación siguiente:

El agua de mar tiene normalmente una densidad de 1.02 gr/cm^3 al incrementarse la densidad a 1.05 gr/cm^3 se inicia la precipitación de los carbonatos, si sigue aumentando a valores 1.13 gr/cm^3 se depositan los sulfatos, al continuar incrementándose la densidad a 1.21 gr/cm^3 y bajar el volúmen de agua hasta la décima parte, se comienzan a precipitar el cloruro de sodio y por último al incrementarse la densidad hasta 1.31 gr/cm^3 y reducir aún más su volúmen, se precipitan las sales amargas de potasio y magnesio (Dean, 1978).

1. Formación de las Evaporitas.- Los depósitos de evaporitas en el área de estudio, se encuentran en las partes marginales de la Laguna San Ignacio y en la Salina del Cuarenta (Fig. 5). La formación de las evaporitas en este lugar está ligada principalmente al clima, la geografía y la fisiografía, que nos dan las condiciones propicias para la precipitación de los minerales.

El clima en la región es árido con temperaturas promedio que oscilan entre 25.5°C en enero y febrero y, 37.6°C en julio y agosto. La precipitación anual es muy baja, en promedio es de unos 20 a 50 mm anuales, en contraste con la evaporación que es muy alta; en enero y febrero es de 95 a 114 mm, en abril y mayo de 183 mm a 160 mm, en julio y agosto de 184 y 195 mm y en noviembre y diciembre de 117 a 84 mm (Phleger y Ewing, 1962).

Las evaporitas se están formando a partir de salmueras acumuladas en depresiones y charcas que se encuentran en la planicie de mareas de la Laguna San Ignacio. El agua de mar inunda las plani-

cies de la laguna al subir las mareas vivas o de primavera que suceden aproximadamente cada 14 días de acuerdo con las fases de la luna llena y luna muerta.

Las planicies de mareas en el área de estudio llegan a cubrir grandes extensiones de terreno, alcanzando hasta unos 8.0 km desde la orilla de la laguna, tierra adentro y llegan a abarcar una superficie de más de 100 km² (Fig. 5).

El agua de mar que no queda estancada en depresiones o charcas al subir las mareas, es desalojada por canales de mareas durante el tiempo de reflujos de las mismas, y es en estos canales en donde precipitan las evaporitas (Fig.5).

2. Geoquímica de las evaporitas.- Se analizaron químicamente muestras de agua de la laguna San Ignacio, de salmuera y de las evaporitas (Tablas 1 y 2). El pH del agua no fue tomado correctamente ya que fue determinado en el laboratorio, debiendo ser tomado directamente en el campo; sin embargo, los valores relativos obtenidos, indican que el agua colectada en el interior de la laguna y en la playa tiene un pH que varía de 6.1 a 6.6; y en las salmueras los valores son más bajos de 5.4 a 6.1.

Estos valores, aunque más bajos, concuerdan con lo dicho por Kinsman (1969); según este autor los valores más altos de pH se encuentran en las aguas de la laguna, los cuales decrecen hacia las zonas de sabkha.

El gas sulfhídrico es abundante en la muestra A-1, ya que se encuentra en la zona lagunar donde existe abundancia de materia orgánica en proceso de descomposición. Por otro lado, el calcio contenido en las aguas de la laguna y en las salmueras es de 0.39 ‰ a 0.46 ‰, ligeramente más alto que el correspondiente a los valores del agua marina normal, siendo en esta de 0.40 ‰ (Tabla 2). En las muestras de las soluciones estancadas, los va-

lores del calcio son erráticos, de 0.01 ‰ a 3.98 ‰; esto puede ser debido a que los iones de calcio fueron absorbidos por las algas existentes en la planicie de mareas, mientras que en la muestra A-32, perteneciente a la salmuera de la salina del Cuarenta, los iones de calcio se encuentran en solución porque no han podido ser absorbidos debido a la ausencia de carpetas algáceas.

El contenido de magnesio en el agua marina normal es de 1.27 ‰.- En las muestras de agua marina colectada, se determinaron valores que oscilan entre 1.19 ‰ a 1.37 ‰; estas cantidades son las normales contenidas por las aguas marinas; sin embargo en la muestra A-29 y en la A-32 los valores de magnesio son extremadamente altos; de 123.6 ‰ y 8.55 ‰ respectivamente (Tabla 2).- Esto puede ser debido al intemperismo químico de rocas básicas con alto contenido de minerales ferromagnesianos. También el magnesio puede originarse por hidrotermalismo, ya que el área se encuentra en una zona de vulcanismo activo.

Para el contenido de sodio en las muestras colectadas, se determinaron los siguientes valores, de 0.55 ‰ a 11.25 ‰ (Tabla 2), similares a los del agua marina normal (10.56 ‰). Estas muestras tienen un ligero aumento en el contenido de sodio, debido a que al llegar las aguas a la región, por las condiciones climáticas, comienzan a evaporarse y a concentrar iones de sodio. En las muestras de las salmueras el sodio varía entre 20.5 ‰ a 101.00 ‰; esta variación es debida a la concentración por evaporación de la salmuera. Los valores más bajos indican que el sodio es menor, porque la salmuera se encuentra menos concentrada, y por lo tanto, la precipitación de sal no ocurre como en las muestras con mayores valores.

El aluminio y el hierro tienen valores que varían de acuerdo a la cercanía de las rocas basálticas de la mesa del Cuarenta, y éstas por intemperismo químico se destruyen, incrementando

la concentración de magnesio en las salmueras adyacentes.

En relación a los resultados químicos de las muestras sólidas de evaporitas de la laguna San Ignacio y de la salina del Cuarenta, se observaron ciertas condiciones geoquímicas en la precipitación de las sales (Tabla 1).

Los porcentajes totales de Al^+ , Fe^{++} , Mg^{++} , Ca^{++} y Na^+ , contenidos en las evaporitas, casi se mantienen constantes en las salinas de la laguna San Ignacio y la del Cuarenta (Tabla 1).- Por otro lado, los valores de los mismos elementos contenidos en las salmueras, son variables debido a que al precipitar el cloruro de sodio como cristales de halita, hay una depuración química al haber un ordenamiento cristalino.

Comparando las cantidades totales de elementos contenidos en rocas de origen marino en otras áreas como en Utah, Nuevo Mexico, Oeste de Texas, Arizona y Nueva Escocia (Moore, 1960), el aluminio contenido en la halita varía de 11.0 a 35.0 ppm en las muestras M-29 y M-32 del área de estudio es de 20.0 ppm, y es aún mayor en las muestras M-20, M-25 y M-33 (Tabla 1). El contenido de bario promedio reportado es de 0.9 a 9.0 ppm; en las muestras estudiadas es menor a 100.0 ppm; y sólo en la muestra M-33 es similar a lo encontrado en otros sitios. El calcio reportado por (Moore op. cit.) varía de 380 a 17,200 ppm; en las muestras colectadas fluctúa de 1200 a 4200, lo cual está dentro del rango normal reportado. El cobalto en el agua de mar, llega a constituir hasta 4 ppm; en las muestras estudiadas es del orden de 10.0 ppm, lo cual es ligeramente más alto que el reportado. El hierro se ha encontrado entre 6.3 a 770 ppm; en las muestras analizadas varía de 39.9 ppm a 117.0, lo cual está dentro del rango normal.- El potasio reportado varía de 27.0 a 1700 ppm; en los análisis de las muestras del área de estudio, éste varía de 290.2 a 1200.0 ppm, indicando que las cantidades encontradas son normales. La cantidad de litio en agua marina es de aproximadamente 1,70 ppm;

TABLA N° 1
ANALISIS DE MUESTRAS DE SAL DE BAHIA DE BALLENAS, LAGUNA
SAN IGNACIO BAJA CALIFORNIA SUR: RESULTADOS EN PARTES POR MILLON (ppm)

ELEMENTO	M-20	M-25	M-28	M-29	M-32	M-33
A l	69.9	100.0	40.0	20.0	20.0	90.1
B a	<100.0	<100.0	<100.0	<100.0	100.0	10.0
C a	4500.0	1200.0	2000.0	2400.0	2300.0	3100.0
F e	108.0	115.1	51.0	39.9	38.9	117.0
K	1200.0	290.2	385.0	414.1	354.5	515.3
M g	420.0	445.0	1300.0	1000.0	813.0	890.0
N a	37.72 %	35.0 %	37.19 %	31.93 %	32.44 %	34.65 %
C l	57.0 %	58.87 %	56.47 %	57.70 %	58.41 %	56.19 %
B r	45,300.0	9,900.0	31,300.0	19,600.0	12,600.0	17,100.0
S O ₄	6 700.0	4 500.0	7 100.0	7 500.0	6 200.0	8 900.0
S i	480.0	330.0	300.0	690.0	290.0	300.0

TABLA N° 2 MUESTRAS LIQUIDAS

	A-1	A-3	A-4	A-5	A-27	A-32
C a	436.0	440.0	467.0	394.0	9.0	3 987.0
M g	1 265.0	12 35.0	1370.0	1190.0	123,600.0	8 550.0
N a	10,700.0	10,600.0	11,250.0	9,550.0	20,500.0	101,000.0
A l	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	12.7
F e	0.3	0.3	0.3	0.6	2.5	14.0

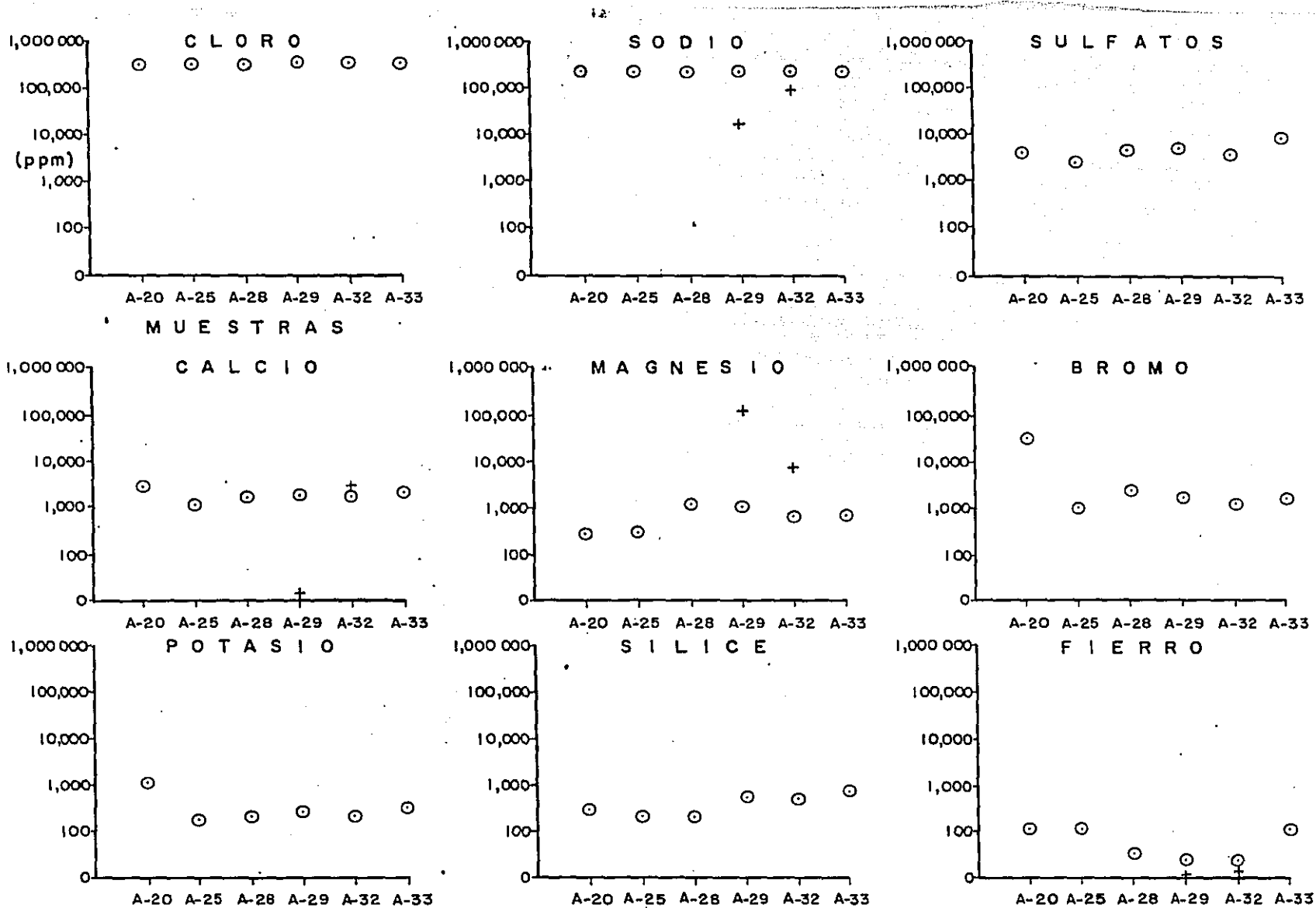


Fig. 9.-RELACION DE LA VARIACION EN PARTES POR MILLON (ppm) DE SOLIDOS EN LAS MUESTRAS DE EVAPORITAS DE LA LAGUNA SAN IGNACIO Y SALINA DEL CUARENTA.

○ SOLIDOS
+ LIQUIDOS

en los análisis de las muestras analizadas es de menos de 5.0 ppm, o sea, ligeramente mayor al rango normal. La concentración de magnesio en el agua marina varía desde 24 ppm hasta 1300.00 ppm; en las muestras del área de estudio se encuentra desde - 445.4 ppm (M-25) hasta 4200ppm (M-20). La muestra M-29 pertenece al lugar donde se colectó la solución A-29 (Tabla 2), que tiene un contenido muy alto de magnesio en solución, siendo la cantidad de Mg^{++} precipitado menor que la cantidad existente en solución (M-29 = 1000 ppm de Mg^{++} y A-29 = 123,600 ppm). Es to indica que la mayor cantidad de magnesio se encuentra en solución, ya que no existen aniones libres que puedan combinarse con los iones de Mg^{++} . El sodio se presenta normalmente entre 37.0 y 38.82%. En las muestras analizadas la concentración varía entre 31.93% (M-29) y un 37.72 % (M-20). Algunas muestras tienen valores bajos de sodio, principalmente cuando hay mayor abundancia de Mg^{++} en solución (M-29, M-32, M-33, Tabla 2). La concentración de estroncio encontrada en muestras de halita es de 47.00 a 4100.0 ppm; en las muestras colectadas de agua se tienen cantidades de 30.0 ppm (M-32) a 64.9 ppm (M-20). Esta concentración de estroncio puede considerarse ligeramente más baja que la normal, debido a que los iones de Sr^{++} son absorbidos orgánicamente.- El titanio puede presentarse en cantidades de 11.6 a 10.0 ppm en condiciones marinas normales; en las muestras colectadas se encontró entre 100 ppm y 159.8 ppm (M-32), esto puede ser debido a la abundancia de rocas volcánicas andesíticas y basálticas existentes en la cercanía del área, las cuales contienen este elemento.- El cloro y el sodio son los elementos principales de las evaporitas, ya que todas las muestras colectadas tienen una composición de más de 90% (M-29, M-32 y M-33) y hasta 94% aproximadamente (M-20 y 25); indicando que las evaporitas en el área están consti tuídas principalmente por halita.

El bromo en las muestras colectadas en el área, se presenta en alta proporción entre 45,300 y 9,900 ppm (M-20 y M-25, Tabla 2).-

Las cantidades de bromo promedio encontrado en otros depósitos de halita reportados en la literatura, es de 24 a 400 ppm.- La abundancia de bromo contenido en las evaporitas es debido a la existencia de procesos hidrotermales cercanos al área, Vidal y Colaboradores (1978). Las cantidades de sílice en las muestras colectadas son de 290 a 480 ppm (M-32 y M-20); estas cantidades son más bajas a los promedios encontrados en otras muestras de halita, que varían de 2200 a 2400 ppm. El sulfato contenido en las muestras estudiadas se encuentran en baja concentración, ya que varía de 4500 a 8900 ppm (M-25, Tabla-1). Esto puede ser debido a que los iones de sulfato existentes en el agua de mar, son aprovechados por las bacterias, que al tomar el oxígeno liberan el azufre, formando H_2S , el cual es abundante en los grandes depósitos algáceos que existen en la región.

Como conclusión la geoquímica de las evaporitas es variable en cuanto a las cantidades de minerales precipitados y en solución, a los encontrados en otros lugares donde se están depositando evaporitas, sobresalen las cantidades de bromo y de magnesio que pueden ser originados por la existencia de procesos hidrotermales en el área. La baja concentración SO_4 y Ca nos indica porque no existe precipitación de yesos y anhídrita en el área. Sin embargo hacia la porción Noroeste, en las lagunas de Ojo de Liebre, Mormona y Ometepec existe formación de yeso anhídrita y polihalita (Orlieb y Pierre op. cit.)

3. Depósitos de las Evaporitas.- Las evaporitas son depósitos sedimentarios compuestos de minerales precipitados por evaporación de soluciones altamente concentradas. Los minerales evaporíticos pueden precipitarse en diferentes sitios: en las partes marginales de las lagunas costeras, en cuencas desérticas dentro del continente, en cuencas oceánicas cerradas y como resultado del reemplazamiento de sedimentos calcáreos pre-existentes.

En modelos de sedimentación recientes, las evaporitas se están formando en ambientes de supramarea en climas áridos, particular

mente en planicies de alta evaporación conocidas como "sabkhas" (Shearman, 1966; Friedman y Sanders, 1967 y Kinsman, 1969).- El origen de las sabkhas ha sido estudiado a lo largo de la faja costera del Golfo Pérsico en Abu Dhabi Kinsman, (1966) Shearman, (1966) y Butler, (1969). Recientemente, los autores se han inclinado más hacia el origen de las evaporitas en ambientes de tipo sabkha, ya que estos modelos han podido observarse directamente en diversas partes del mundo, p.e., en el Mar Rojo, el Golfo Pérsico y México; pocos son los trabajos que se han hecho en las cuencas profundas, de difícil observación (Friedman, 1978).

4. Evaporitas en el Area de Estudio.- Las evaporitas en el área de estudio corresponden a depósitos formados en las porciones marginales de lagunas costeras y en sabkhas litorales.

Lagunas Marginales y Charcas.- Los depósitos de lagunas marginales se encuentran separadas del mar abierto por una barra o barrera litoral; en este caso, las evaporitas pueden estar asociadas con terrígenos, carbonatos o ambos. Si la asociación es con carbonatos, la barra puede estar constituida por sedimentos calcáreos; (p.e.) las lagunas marginales de las costas de Abu Dhabi en el Golfo Pérsico, están restringidas por bancos calcáreos (Sherman, 1978). Si la asociación de las evaporitas es con sedimentos terrígenos, estos se encuentran intercalados; (p.e.), Laguna Ojo de Liebre en México (Phleger, 1969) y Laguna San Ignacio en el área de estudio.

Los depósitos salinos en regiones áridas, debido a la evaporación de charcas residuales, se forman en pequeñas depresiones de unos cuantos centímetros de desnivel, en la zona de supra-marea; (p.e.), los depósitos de sabkha en la planicie de la Laguna San Ignacio, en estudio; y los que se encuentran en la provincia del Golfo de California en la planicie deltaica del Río Colorado y en San Fernando (Butler, 1970).

Sabkhas Litorales. - Las sabkhas litorales son extensas áreas que se encuentran en las planicies costeras en climas áridos, dentro de la zona de intermarea y supramarea, las cuales están siendo alimentadas por aguas marinas superficiales y freáticas marinas.

La sabkha de la costa de Abu-Dhabi en el Golfo Pérsico, es una progradación de la zona de supramarea, la cual en 3 000 años ha avanzado una 3 millas en algunos lugares (Sherman, op. cit.). - Los minerales comunmente encontrados en este ambiente son: halita, aragonita, yeso, anhidrita, dolomita, celestita, magnesita y calcita. Este modelo contiene anhidrita en nódulos cuyos diámetros varían de 1.0 mm a más de 15.0 cm y que se forman bajo la superficie (Shearman, 1978). También existen modelos semejantes en las costas del Mar Rojo, en la parte norte del Golfo de California en México (Butler, 1970) y en el área de estudio en la Salina del Cuarenta.

a) Laguna San Ignacio

Los depósitos salinos precipitan sobre las planicies de mareas formando manchones dispersos de capas delgadas de sal de 2.0 a 4.0 cm de espesor (Lám. XI, Fig.1); hacia la parte suroriental, los depósitos son más abundantes (Lám. XI, Fig.2).

Las capas de sal se encuentran dispuestas en polígonos hasta de 2 metros de diámetro, limitados por grietas de desecación que se encuentran levantadas con respecto al plano de la superficie. - Esto puede ser causado por deshidratación de los sedimentos, desde el centro hacia la periferia del polígono (Lám. XI, Fig.2).

Estas grietas penetran también en el sedimento, que se encuentra debajo de las capas de sal; en algunos sitios el sedimento hidratado sale a la superficie rompiendo dichas capas debido a la inconsistencia de éstas (Lám. XI, Fig.3).

La sal también se encuentra en agregados cristalinos, donde los cristales de halita van precipitando alrededor de tallos de arbustos o raíces de plantas, dando un aspecto de agregado ramificado compuesto por cristales gigantes de halita (Lám.XII, Fig.2).- El mecanismo de precipitación de los cristales de halita, es a partir de las soluciones altamente concentradas en contacto con la atmósfera, y por capilaridad, suben a través de los tejidos orgánicos de las plantas.

En las zonas marginales de las planicies se encuentran extensos depósitos de halita, en capas de 30 a 60 cm de espesor (Lám.XII, Fig.1); estos depósitos de halita están asociados con una salmuer a constituida por cloruro de magnesio hidratado, donde el magnesio existe en gran abundancia (Muestra A-29, Tabla 2), cuyo origen, tal vez, sea hidrotermal (Lám.XII, Fig.1).

Dentro de los depósitos de evaporitas quedan atrapados restos orgánicos tales como: troncos y tallos de plantas, conchas de organismos, insectos y fragmentos rodados de basalto, destruidos por intemperismo químico (Lám. XII, Fig.3).

Las capas de halita en la planicie de la Laguna San Ignacio (Fig.8, sección G-G'), se encuentran asociadas con carpetas de algas cianofíceas y fragmentos leñosos (Lám. XIV, Fig.1). Los depósitos de halita verticalmente están intercalados con capas de sedimentos arcillosos, limosos, arena fina y carpetas de algas cianofíceas; por lo cual, los sedimentos van teniendo un aspecto bandeado de sedimentos terrígenos, carpetas de algas y capas de evaporitas, marcando los ciclos entre el flujo y el reflujo de las mareas (Lám. XIV, Fig.2).

Las evaporitas se precipitan en cristales de halita, en los charcos que se encuentran en las zonas marginales de la Laguna San Ignacio; aparentemente durante los períodos de reflujo, y por la alta temperatura y la acción del viento. Los sistemas de escurrimiento (Fig.5), en las márgenes de la laguna, son inundados espo-

rádicamente por las corrientes fluviales; por lo cual, los sedimentos terrígenos se encuentran intercalados con las capas de halita.

b) Salina del Cuarenta

En la parte suroriental de la Laguna San Ignacio, inmediatamente abajo de la parte occidental de la Mesa El Cuarenta, se encuentra una salina denominada con el mismo nombre (Fig.5); la cual tiene una longitud de 2.5 km y una anchura de 1.5 km (Lám. XIII, Fig.1). Esta salina se encuentra a una distancia de 10.0 km aproximadamente del mar hacia el suroeste y no tiene comunicación directa con el mismo, por lo que el nivel de las salmueras es el nivel freático marino, y los sedimentos que existen entre el mar y la salina son permeables, constituidos principalmente por gravas y arenas (Fig.8, sección H-H').

Los depósitos salinos se presentan en capas gruesas de sal de 5.0 a 10.0 cm de espesor, siendo mayores en el centro de la salina y de mayor consistencia, pudiendo caminar sobre la sal sin que esta se rompa (Lám.XIII, Fig.2).

Las capas de sal se encuentran intercaladas con sedimentos arenosos y limosos, los cuales son acarreados hacia la salina por las corrientes fluviales esporádicas que ocurren durante las épocas de lluvias; así como por la acción eólica, que es permanente en toda época del año.

El nivel freático de la salina es somero, a unos 10 cm de profundidad, y al empezar a excavar las trincheras, inmediatamente brota la salmuera que da lugar a la precipitación de las evaporitas (Lám. XIV, Fig.3). Hacia las orillas de la salina las capas de sal se van adelgazando y se presentan algunas carpetas de algas cianofíceas, así como gran cantidad de insectos que al ir cayendo en la salina mueren y se preservan en la sal. Las

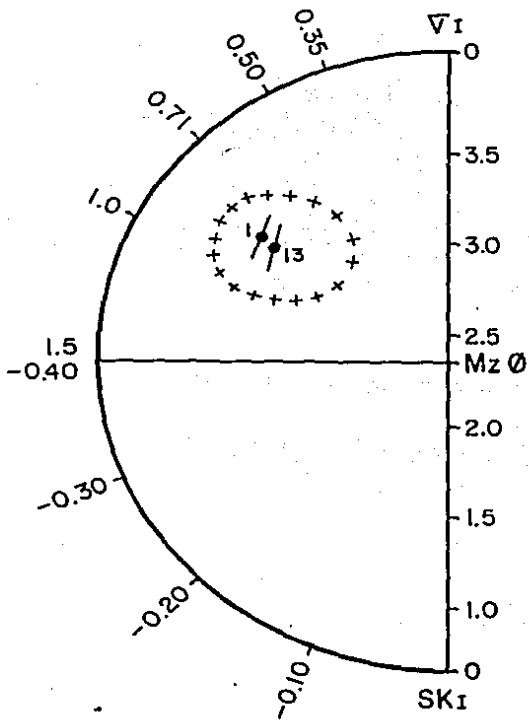
evaporitas precipitadas en este lugar están constituidas por más de 90% de cloruro de sodio, y por muy bajas proporciones los sulfatos y carbonatos (M-32 y M-33, Tabla 1).

Los depósitos de evaporitas del área de estudio pueden considerarse como depósitos tipo "Sabkha Marginal", formados en depresiones y alimentados por aguas superficiales y freáticas marinas, asociados a depósitos de tipo lagunar marginal y charcas, Phleger (1969) y Butler (1970).

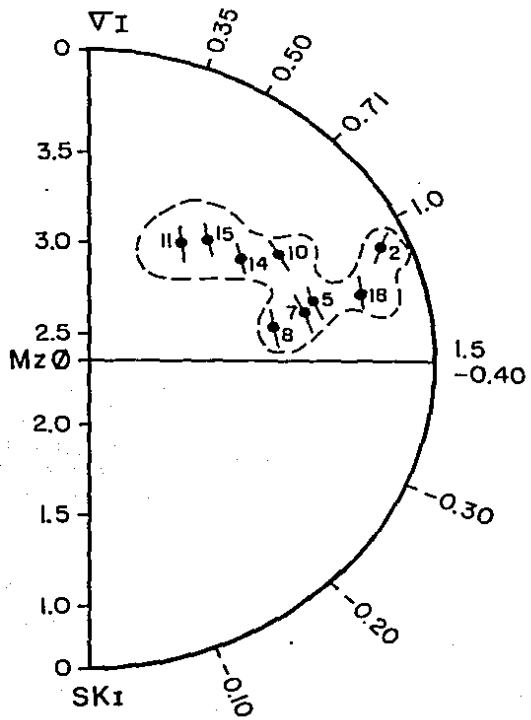
En esta provincia, según el estudio realizado, no existen depósitos de carbonatos y sulfatos, como en los modelos existentes en las costas del Golfo Pérsico y del Mar Rojo, estudiadas por Curtis y Colaboradores (1963), Shearman (1963, 1978), Friedman y Sanders (1967), Butler (1969), Kinsman (1969), Friedman (1972).- Estos autores encontraron que la secuencia normal en la precipitación de las evaporitas es el siguiente: carbonatos, sulfatos, cloruros y finalmente sales amargas, o sea, cloruros complejos.- En el modelo estudiado por Phleger (1969), en la Laguna Ojo de Liebre, los principales depósitos corresponden a cloruros, y solamente hacia las orillas de las salmueras se depositan pequeños cristales de yeso.

El área estudiada no contiene ni carbonatos ni sulfatos, y principalmente se encuentran depósitos de cloruro de sodio, en segundo término, cloruro de potasio y cloruro de magnesio. Esto es debido a que la provincia está dominada por sedimentos terrígenos y rocas volcánicas; por lo cual, los carbonatos y los sulfatos que se encuentran disueltos en el agua marina, (normalmente) son absorbidos por los sedimentos arcillosos, y por la gran cantidad de algas existentes en esta región, lo cual no permite que los iones de calcio y sulfato lleguen a las condiciones propicias para precipitar, ya que requieren un clima cálido y húmedo, así como poca influencia de sedimentos terrígenos.

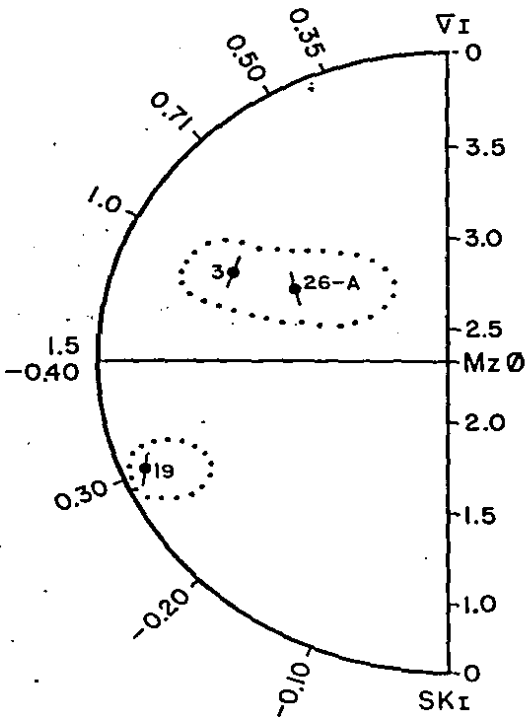
AMBIENTE LAGUNAR



AMBIENTE DE INTERMAREA



AMBIENTE DE SUPRAMAREA



AMBIENTE DE DUNAS

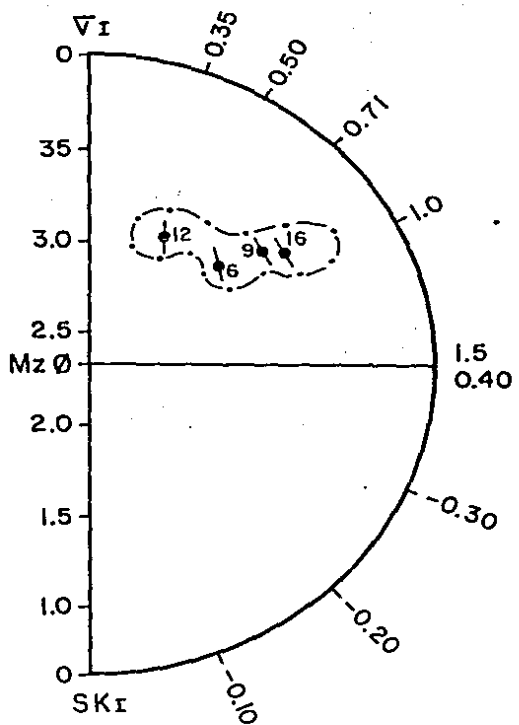


Fig. 6A GRAFICACION TEXTURAL TERNARIA DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS

En la gráfica estadística ternaria de los ambientes tomados individualmente, se observa la distribución de cada uno de ellos.- El ambiente de intermarea tiene una distribución amplia y es más restringido el ambiente lagunar (Fig. 6-A). Los sedimentos se concentran en la parte superior del semicírculo, ya que los parámetros texturales tomados en cuenta son muy similares, debido a las condiciones físicas, químicas y biológicas de cada uno de ellos, por lo cual, el análisis sólo de parámetros estadísticos, no es suficiente para discriminar ambientes sedimentarios, siendo necesario tomar en cuenta otro tipo de características para diferenciar los ambientes, como son: tipo y distribución de sedimentos, estructuras sedimentarias primarias, contenido faunístico, geometría de los cuerpos sedimentarios, y el marco geológico regional, parámetros que se tomaron en cuenta en el desarrollo de este trabajo para identificar cada uno de los ambientes descritos.

DISCUSION GENERAL

Las facies sedimentarias que se encontraron en los ambientes de depósito estudiados son diferentes a lo esperado, de acuerdo a otros modelos. Los sedimentos son principalmente arenas y limos, constituidos por feldespatos y plagioclasas y menor cantidad de cuarzo, se encuentran bien lavados en las playas pero con bajo grado de redondeamiento, angulosos y subangulosos, debido a que la energía del mar y de las mareas es predominante y constantemente está rompiendo y transportando los granos de las arenas. Existen también en las lagunas arenas arcillosas y limosas que continuamente son mezcladas con las arenas de dunas que son acarreadas por el viento, dando lugar a los sedimentos con inversión textural.

Las evaporitas del área corresponden a depósitos de lagunas marginales, charcas y sabkhas litorales, asociados con sedimentos terrígenos y carpetas algáceas.

La inundación del agua marina en las planicies es causada por la influencia de las mareas vivas y las diurnas y nocturnas, así como por los vientos predominantes del SW que arrastran las aguas hacia las planicies.

En el área solamente se encontró precipitación de halita (cloruro de sodio, potasio y magnesio) se esperaba encontrar yesos o anhidrita como en la Laguna Ojo de Liebre Phleger op. cit - (1969), pero en las lagunas estudiadas no existen las condiciones apropiadas para la precipitación de los sulfatos, debido a las condiciones geológicas de la provincia.

Las carpetas algáceas son abundantes y se encuentran distribuidas en los canales de mareas y asociados con las evaporitas, en las planicies de las lagunas predominando las algas cianofíceas

debido a que estas plantas son las únicas que pueden resistir los cambios bruscos de clima, humedad y salinidad existentes.

El modelo sedimentario estudiado tiene sus características propias, está ligado a las condiciones geológicas, geográficas, fisiográficas y climáticas de la región de la Baja California.- Por lo que creemos que este trabajo es un aporte modesto al estudio de la sedimentología en nuestro país.

CONCLUSIONES

- La sedimentación actual del área de Bahía Ballenas-Laguna San Ignacio, esta gobernada por las condiciones climáticas de la región, que es árida y seca; fisiográficamente es plana, con influencia de las mareas, el oleaje y el viento, y ocasionalmente por las corrientes fluviales.

- Los ambientes sedimentarios en el área tienen gran influencia litoral, dependen de la fisiografía propia de la región, que actualmente está gobernada por una tectónica activa, lo cual se manifiesta por medio de fallamiento normal en bloques escalonados hacia el Océano Pacífico, como reflejo de las estructuras que constituyen el basamento.

- De los análisis estadísticos granulométricos de los sedimentos, se observa que los rasgos de tipo textural, por sí solos, no son suficientes para determinar el tipo de ambiente de depósito, ya que los sedimentos colectados en toda la provincia tienen atributos similares; por lo que, para discriminar un ambiente de otro hay que analizar los otros parámetros sedimentarios, tales como: composición, estructuras sedimentarias primarias, geometría de los cuerpos, y el marco regional tectónico-sedimentario.

- Las arenas están constituidas principalmente de plagioclasas y cuarzo, debido a que las fuentes principales son las rocas de composición intermedia y básica, provenientes de la Formación Comondú, que es de composición volcánica y vulcanoclástica.

- Las evaporitas que se encuentran en el área en estudio pertenecen a depósitos de laguna marginal y planicies de mareas que están ampliamente distribuidas; así como de sabkha marginal, alimentadas por corrientes de marea y por la comunica-

ción del nivel freático marino, hacia el interior del continente.

- En las evaporitas del área solamente precipitan halita y no carbonatos y sulfatos como en las evaporitas del Golfo Pérsico y del Mar Rojo. Esto es debido a las características geográficas, fisiográficas y por el clima que es árido y seco, así como por la influencia de sedimentos terrígenos. Existen gran cantidad de Mg en solución en las salmueras de La Laguna San Ignacio, esto puede ser debido a la existencia de hidrotermalismo.
- Las mareas vivas o de primavera son las que inundan a las planicies de las lagunas, y que asociadas al clima, son los principales procesos físicos que intervienen en la formación de las grandes extensiones algáceas y los depósitos de evaporitas.
- Las grandes planicies algáceas existentes en la región, pueden servir como ejemplo de una futura provincia generadora de hidrocarburos, por la existencia de abundante material algáceo que está sufriendo un rápido sepultamiento, asociado con depósitos de terrígenos que podrán servir como posibles trampas, siempre y cuando las condiciones de sepultamiento y maduración de la materia orgánica sean propicios para la generación.
- La línea de costa de la región, en la actualidad, se encuentra en una etapa regresiva; lo cual es evidente, por las bermas antiguas que se encuentran tierra adentro, y que indican antiguas líneas de costa y un rejuvenecimiento de la región debido a levantamientos tectónicos recientes que han afectado a la Península de Baja California.

B I B L I O G R A F I A

- Abdel, Monem G., 1974.- Tectonic Analysis of Baja California and Parras Shear Belt Mexico: Progress Report, Jun-Nov., Science Center -- Rocwell International, 25 p.
- Aguayo, J. E., 1980.- Representación Gráfica Ternaria de Parámetros Estadísticos y su aplicación en Análisis de Ambientes Sedimentarios, - Rev. Inst. Mex. del Petróleo, Vol. XII, - No. 1, p. 8-13.
- Amiel, A. J, y G. M. Friedman, 1971.- Continental Sabkhas in Arava Valley between Dead sea: Significance for origin of evaporites. Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., Vol. - 55, p. 581-592.
- Asahiko, T. and P. A. Scholle, 1979.- Origin of Bimodal Sands in some Modern Environments. Journal of Sedimentary Petrology. Vol. 49, - No. 3, p. 777-786.
- Butler, G. P., 1969.- Modern Evaporite Deposition and Geochemistry of Coexisting Brines the Sabkha, Truncial Coast, Arabian Gulf: Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 39, No. 1, p. 70-89.
- Butler, G. P., 1970.- Secondary anhydrite from a Sabkha, Northwest Gulf of California, México, 3 - K D Northern Ohio Geol. Salt Symp. Proc.- (Cleveland, 4/44-24/69). Vol. 1, p. 153-155.
- Carta Aeronáutica de Baja California, 1977.- Washington, - D.C., U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Survey.

- Carta Geológica del Edo. de Baja California Sur, 1973. Instituto de Geología de la UNAM. Comité de la Carta Geológica de México.
- Carranza E. A., M. Gutiérrez E. y R. Rodríguez T., 1975. - Unidades Morfo-Tectónicas Continentales de las Costas Mexicanas: An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 2 (1), p. 81-88.
- Carrillo de I. G., 1976.- Geología Regional Semidetallada del Prospecto San Ignacio-Cadeje, Baja California Sur: Tesis Profesional Facultad de Ingeniería UNAM, (inédito), 210 p.
- Clarke, F. W., 1924.- The Date of Geochemistry, 5th ed.- U. S. Geol. Survey Bull. 770, 841 p.
- Curtis, R.; G. Evans, D.J., Kinsman, and D.J. Shearman, - 1963. Association of dolomite and anhydrite in the Recent Sediments of Persian Gulf. Nature, Vol. 197, p. 679-680.
- Dean, E. W., 1978.- Trace and minor elements in evaporites: SEPM short course No. 4, Oklahoma City. p. 86-104.
- Demant, A., R. Mauvois y Luis Silva, 1976.- El Eje Neovolcánico Transmexicano: II Congreso Latinoamericano de Geología, Excursión No. 4, 33-p.
- Doyle L. J. and O. L. Bandy, 1972.- Southern Continental Borderland, Baja California: Its tectonic and Environmental Development: Geological Society of America Bulletin, Vol.- 83, p. 3785-3794.
- Fife, D. L. 1969.- Reconnaissance geology of the bahía-Santa Rosalia quadrangle, Baja California-México. Geol. Soc. America special paper-121, p. 505-506.
- Folk, R. L., Peter B. Andrew y T. W. Louis, 1970. Detrital Sedimentary Rock, classification and nomenclature use in New Zelan. Journal of Geology Geophisics. vol. 13, No. 4, pág. 937-968.

- Folk, U. L. and W. C. Ward, 1965. Brazos River: A study in the significance of grain-size parameter. Journal Sedimentary Petrology. v-27, p. 3-26.
- Folk, J. L., 1966.- A review of grain-size parameters. Sedimentology. v-6, p. 73-93.
- Friedman, G. M., 1961.- Distinction between dune, beach- and river sand from their textural characteristics. Journal Sedimentary Petrology. v.4, p.
- Friedman, G. M., 1972.- Significance of Reed sea in problem of Evaporite and basinal limestones - Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull. vol. 56, p. 1072-1086.
- Friedman, G. M., 1978.- Depositional Environments of Evaporite Deposits: SEPM short course No. 4, Marina Evaporites. Oklahoma City, p. 177-185.
- Friedman, G. M., and J. E., Sanders, 1967. Origin and occurrence of dolostones, in carbonate rocks. Developments in Sedimentology, Vol. 9A. New York, Elsevier Publishing Co., p. 248-267.
- Friedman, G. M., and J. E. Sanders, 1978. Principles of Sedimentology, John Wiley and sons, New York, 195 p.
- García, D. G., 1976.- Prospección Geológica en Baja California: Asoc. Mexicana de Geol. Pet., Vol. XXVIII, Nos. 1 y 2, p. 51-87.
- Gastil, G. R., R. P. Phillips, E. C. Allison, 1976. Reconnaissance Geology of the State of Baja California: The Geological Society of America, Memoir 140, 170 p.
- Gastil, G. R., D. Krummenacher, J. Coupont, J. Bushee, W. Jensky y D. Barthelmy, 1976.- La zona batolítica del sur de California y el occidente de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XXXVII, No. 2, p. 84-90.

- Hardie, L. A., P. E. Hans, 1971.- The Depositional Environment of Marine Evaporites, a case for shallow, clastic accumulation: Sedimentology, v. 16, p. 187-220.
- Horodyski, R.J., 1977.- Lyngbya mats at Laguna Mormona, Baja California Mexico: Comparison with proterozoic stromatolites: Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 47, No. 3, p. 1305-1320.
- Horodyski, R.J. and S.P. Vonder Haar, 1975.- Recent calcareous stromatolites from laguna Mormona, Journal Sedimentary Petrology, Vol. 45, p. 894-906.
- Jones A. T., 1970.- Comparison of the description of sediment grain-size distributions: Journal of Sedimentary Petrology, v. 40, No. 4, p. 1204-1215.
- Kinsman, D.J., 1969.- Modes of formation, sedimentary associations, and diagnostic features of shallow water and supratidal evaporites. Am. Assoc. Petrol. Geologists Bull. V. 53, p. 830-840.
- Klein G de V., 1970.- Depositional and dispersal dynamics of intertidal sand bars: Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 40, No. 4, p. 1095-1127.
- Karing, D. E., and W. Jensky, 1972, The proto-Gulf of California. Earth and planetary Sci. Letters, vol. 17, p. 169-174.
- Lankford R.D., 1972.- Coastal lagoons of Mexico their origin and classification: Estuarine Processes, Vol. II, Circulation, sediments and transfer of material in the estuary, p. 182-215.
- Larson, R. L., H. W. Menard, and S. M. Smith, 1968. Gulf of California-a result of ocean floor spreading and transform faulting. Science, Vol. 161, p. 781-784.

- Larsen, R. L., 1972.- Bathymetry, magnetic anomalies and plate tectonic history of the mouth of -- the Gulf of California: Geological Society of America Bulletin, v. 83, p. 3345--3360.
- Lozano, R. F., 1975.- Evaluación petrolífera de la Península de Baja California, México: Asoc. Mexicana de Geol. Pet., Vol. XXVII, Nos. 4-6, 329 p.
- Malpica Cruz V. M. y Celis G. S., 1984.- Interpretación de los procesos de disolución y precipitación observados en el estudio de microfácies de depósitos litorales de la costa occidental de Baja California Sur. Neotectonics and sea Level Variations in the Gulf of California area, A Symposium, -- Hermosillo, Sonora México. p. 179-190.
- Mc Lean, H.D., Hausback, B. P., 1984.- Reconnaissance geologic map of the La Purisima, Paso Honda Area, Baja California Sur; USGS Report 84-93.
- Mina, U. F., 1957.- Bosquejo geológico del Territorio Sur de la Baja California: Asoc. Mexicana de Geol. Pet., Vol. IX, Nos. 3 y 4, p. 141--263.
- Moore, D. G., 1973.- Plate edge deformation and crustal growth, Gulf of California structural province. Geol. America Bull., Vol. 84, p. 1883-1906.
- Moore, D. G., and E. C. Buffington, 1968.- Transform faulting and growth of the Gulf of California since the late Pliocene: Science, Vol. 161, No. 3847, p. 1238-1241.
- Moore, G. W., 1960.- Origin and chemical composition of evaporite deposits: U.S. Geological Survey, openfile rept., 174 p.
- Normark, W. R. and J. R. Curray., 1968.- Geology and structure of the tip of Baja California, Mexico. Geol. Soc. America Bull., Vol. 79, No. 11, p. 1589-1600.

Orlieb L. y Pierre C., 1981.- Génesis Evaporítica en tres áreas supralitorales de Baja California; - Contextos Sedimentarios y Procesos Actuales. Revista Inst. de Geología UNAM. Vol. 5, No. 1, p. 94-116.

Orlieb L. y Malpica Cruz V. M., 1978.- Reconnaissance des dépôts pléistocènes marins auteur du Golfe de Californie, Mexique. Cah. O.R.S.T. O.M. sér Géol., vol. X, No. 2, p. 177 -- 190.

Orlieb L., Carro O. y Causse C., 1984.- Données radio--chronologiques ulth de Terrasses marines de la cote occidentale de Basse Californie Mexique. Neotectonics and sea Level Variation in the Gulf of California area, A simposium Hermosillo Sonora Mexico. p.- 225-240.

Phleger, B.F., 1969.- A Modern evaporite deposit in Mexico: American Association of Petroleum -- Geologist Bull., v. 53, p. 824-829.

Phleger, B.F., and C.G., Ewing, 1962.- Sedimentology and Oceanography of Coastal Lagoons in Baja - California, Mexico: Geological Society - of America. Bull., v. 73, p. 145-182.

Phleger, B.F., 1965.- Sedimentology of Guerrero Negro Lagoon, Baja California, Mexico: In submarine Geology and Geophysics, Colston Research Soc. 17th symposium, London, Butterworth., v. 17, p. 206-235.

Rusnak, G. A., and R.L. Fisher., 1964.- Structural History and Evolution of Gulf of California; - Marine geology of the Gulf of California- A Symposium Am. Assoc. Petroleum Geologists Mem. 3, p. 144-156.

Shearman, D.J., 1978.- Evaporites of coastal sabkhas: -- SEPM Short Course No. 4, Marine Evaporites Oklahoma City, p. 6-20.

Sherman, D.J., 1970.- Recent halite Rock, Baja California, Mexico. Trans. Inst. Min. Metall., - Bull. 79, p. 155-162.

- Shearman, D. J., 1966.- Origin of marine evaporites by diagenesis. Inst. Mining Metallurgic Trans., - Vol. 75, sec. B., Bull 717 p. B82-B86.
- Shearman, D. J., 1963.- Recent anhydrite, gypsum, dolomite, and halite from the Coastal flats of the Arabian Shore of the Persian Gulf. Geol. Soc. London Proc., No. 1607, p. 63-65.
- Smith, D.L., 1977.- A northeast trending Trans-Peninsular-lineament across Baja California: Univ. Nal. Autónoma de México, Inst. Geología, - Revista Vol. 1, No. 2, p. 138-143.
- Vidal, W. M. V., F. V. Vidal and J. D. Isaacs, 1978.- Coastal submarine hydrothermal activity of northern Baja California: Journal of Geophysical search, Vol. 83, No. 134, p. 1757-1774.
- Vonder Haar S. P., and D. S. Gorsline, 1977.- Hypersaline-lagoon deposit and processes in Baja California Mexico. Geoscience and Man, Vol. - XVIII, p. 165-177.
- Vonder Haar, S. P., 1973.- Evaporite environment at Laguna Mormona, Pacific Coast of Baja California-Mexico: Geol. Soc. American abstracts - - with Programs, Vol. 5, No. 1, p. 117.
- Ward C. W., R. L. Folk and J. L. Wilson, 1970.- Blackening of eolianite and caliche adjacent to saline lakes, Isla Mujeres, Quintana Roo, Mexico: Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 40, No. 2, p. 548-555.
- Walter E. Dean, 1978.- Theoretical Versus observed successions from Evaporites of seawater. SEPM short - Course No. 4, Marine Evaporites. Oklahoma City, p. 74-85.

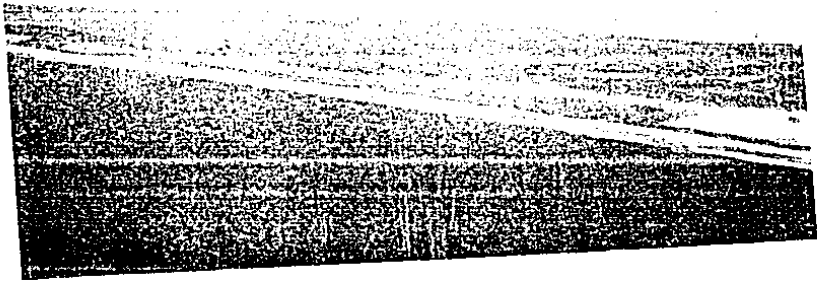
L A M I N A S

LAMINA I

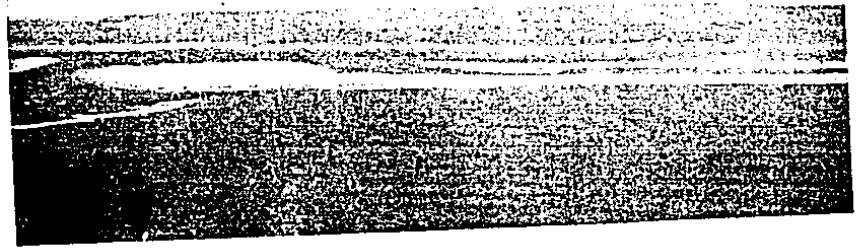
AMBIENTE DE BARRA LITORAL

- 1) Vista aérea de la parte sur de la laguna La Escondida donde se observa la barra y el canal de mareas paralelo a la barra. Al fondo de la fotografía se observa la gran planicie de mareas. Altura aproximada = 1 500 mts.
- 2) Vista aérea de la porción oriental de la barra de la laguna La Escondida que limita con la desembocadura del canal, hacia el mar. Obsérvese los manglares en el centro de la laguna, así como la planicie de mareas al fondo de la fotografía. Altura aproximada 1 000 mts.
- 3) Vista aérea del canal de mareas de la laguna La Escondida que la comunica con el mar. En la desembocadura del canal se observa un delta, como parte de las dos barras, así como los manglares de forma circular en el centro de la laguna. Altura aproximada= 800 mts.

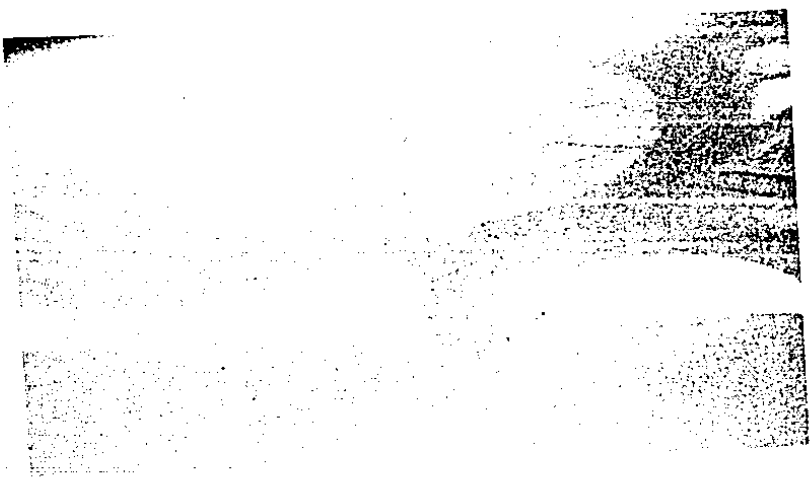
1



2

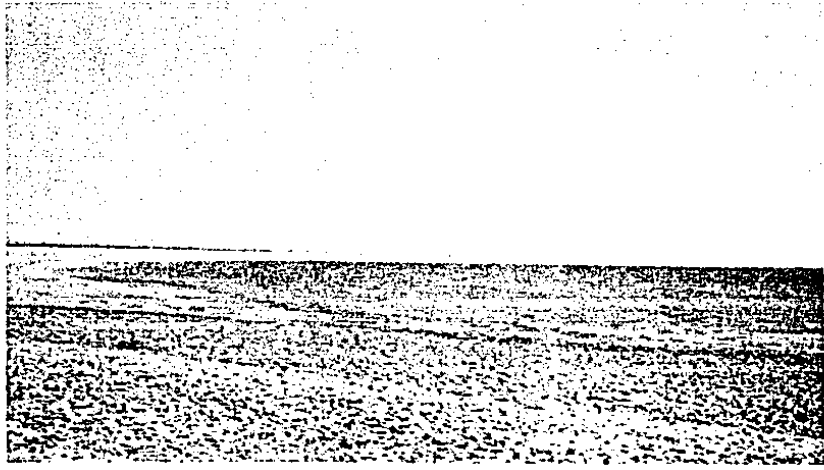


3

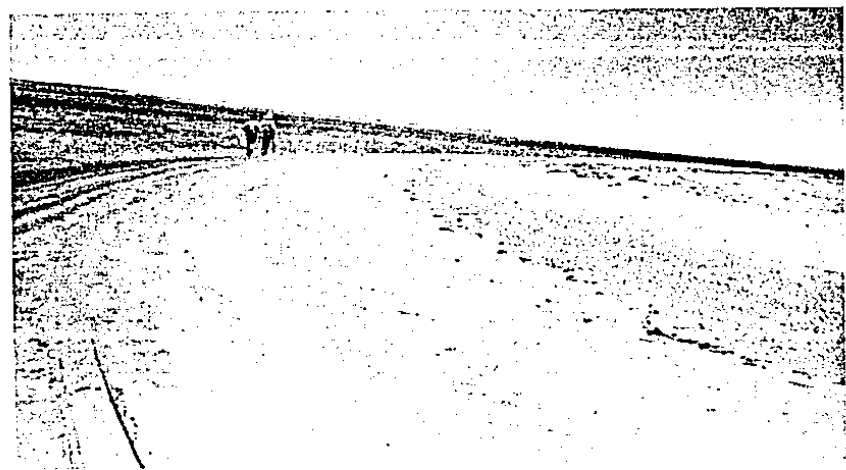


LAMINA II
AMBIENTE DE BARRA LITORAL
(Supramarea-Intermarea)

- 1) Parte occidental de la playa de Bahía de Ballenas, donde se observan sedimentos gruesos depositados en la zona de supramarea. Es común en estas playas observar cantos rodados de roca volcánica mezclados con arenas transportadas por tormentas y corrientes fluviales intermitentes.- Diámetro promedio de los cantos rodados = 5 cm.
- 2) Playa de la barra norte de la laguna La Escondida. Obsérvese la zona de intermarea que presenta rizaduras, cuspiditos y zonas con mayor contenido de minerales ferromagnesianos, lo cual le da un aspecto bandeado; también se observan cavidades dejadas por burbujas de aire y pellets fecales, debidos probablemente a cangrejos. En la zona de supramarea, parte derecha de la foto, se observa gran cantidad de algas y desechos sacados por las corrientes de mareas; así como rizaduras y gran cantidad de pellets originados por organismos excavadores.
- 3) Parte occidental de la playa de Bahía de Ballenas. Obsérvese en la parte inferior izquierda de la fotografía los cantos rodados en la zona de supramarea; y en la parte superior derecha, sedimentos más finos con restos leñosos y conchas de moluscos en intermarea. Diámetro promedio cantos rodados = 5 cms.



1



2



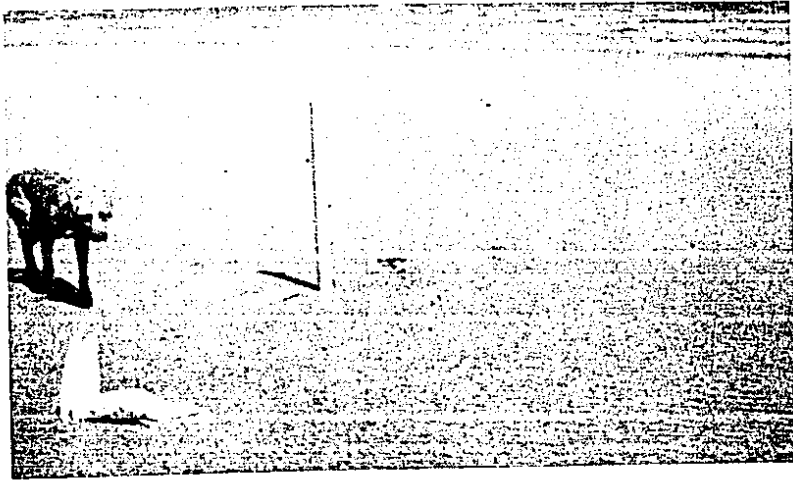
3

LAMINA III

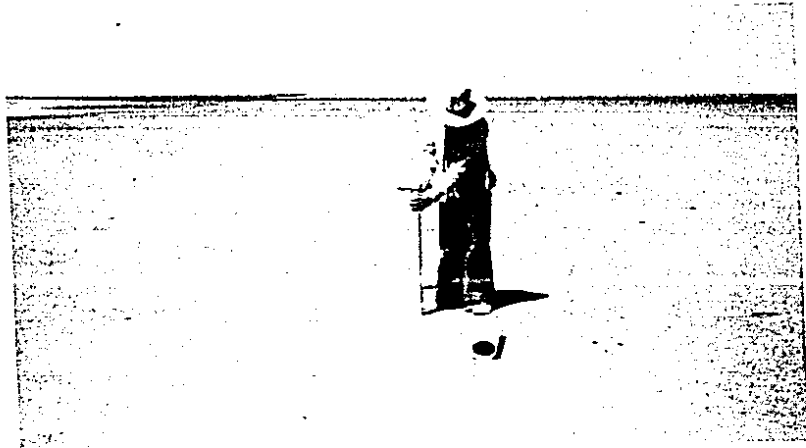
AMBIENTE DE BARRA LITORAL

(Intermarea)

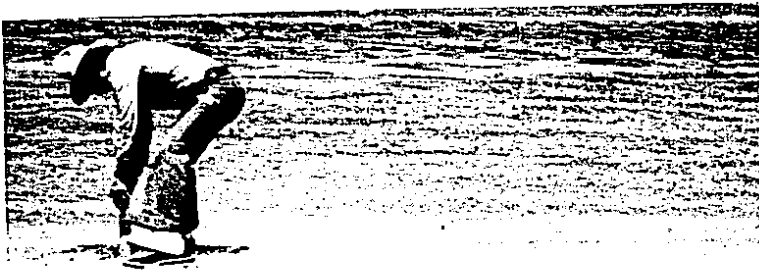
- 1) Playa de la barra en la laguna La Escondida. Zona de intermarea con rizaduras debidas al oleaje, así como gran cantidad de conchas de moluscos.
- 2) Zona intermarea superior en la barra de la laguna La Escondida con gran cantidad de conchas de moluscos, y de equinodermos, depositados por corrientes de marea.
- 3) Misma que la anterior. Zona de intermarea inferior con pequeños canales generados por el flujo y reflujó del oleaje, y algunas conchas de moluscos.



1



2



3

LAMINA IV

AMBIENTE DE BARRA LITORAL

(Intermarea)

- 1) Barra occidental de la laguna La Escondida (Sección B-B', Fig.5). Muestra de sedimento obtenida con el tubo muestreador en la zona de intermarea; obsérvense algunas laminaciones y estratificación graduada, generada por corrientes de reflujo. Longitud del martillo = 32 cm.
- 2) Mismo sitio que en la foto anterior (Sección C-C'; Fig.5). Cuspilitos en la zona de intermarea. Estas estructuras son producto del máximo avance del oleaje sobre la playa debidas a la concentración de minerales o fragmentos de conchas bien seleccionadas. También se observan fragmentos acarreados de algas verdes. Longitud de la pluma = 14 cm.
- 3) Barra occidental de la laguna La Escondida (Sección B-B'; Fig.5). Abundancia de pellets generados por cangrejos en la zona de intermarea; obsérvense las madrigueras de estos organismos. Longitud de la pluma = 14 cm.



LAMINA V

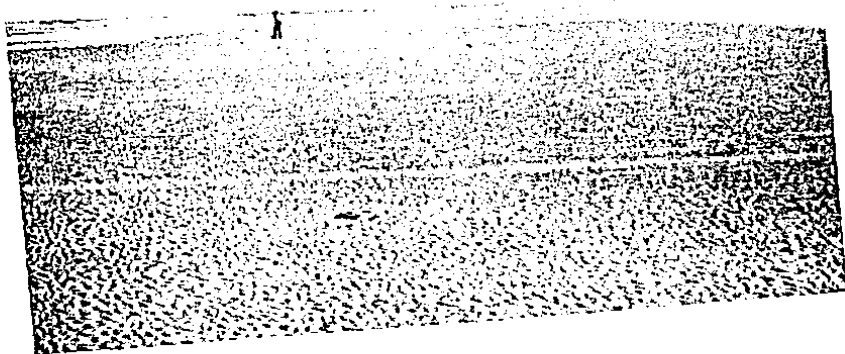
AMBIENTE DE BARRA LITORAL

(Intermarea)

- 1) Parte occidental de la laguna San Ignacio, frente a la isla sur. Gran parte de la playa marginal se inunda durante pleamar y queda descubierta en las mañanas durante bajamar. Lancha al fondo como escala.
- 2) Playa de la barra occidental de la laguna La Escondida (Sección D-D'; Fig.5). Obsérvense gran cantidad de rizaduras dejadas por el refluo al bajar la marea; al fondo, algunas zonas todavía invadidas por el agua, así como la zona de rompientes del oleaje.
- 3) Playa de la barra al norte de la laguna La Escondida (Sección C-C'; Fig.5). Fragmento de alga roja que se encuentra en la zona de intermarea inferior; este fragmento fue acarreado del mar hacia la costa. Longitud de la pluma = 14 cm.



1



2



3

LAMINA VI

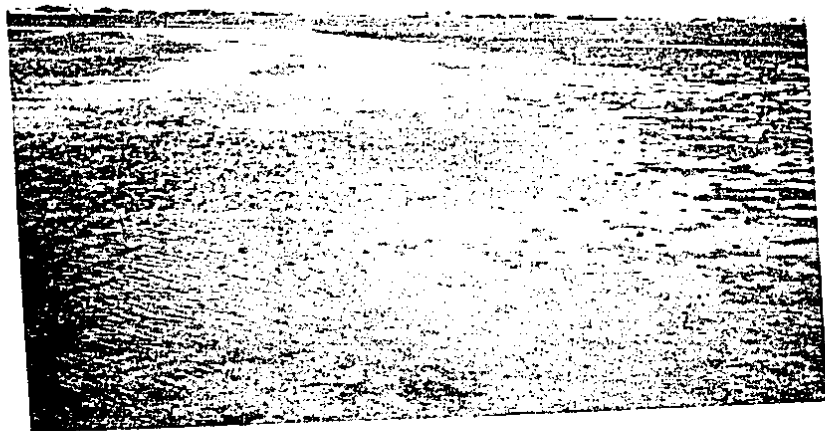
AMBIENTE LAGUNAR

(Intermarea-Inframarea)

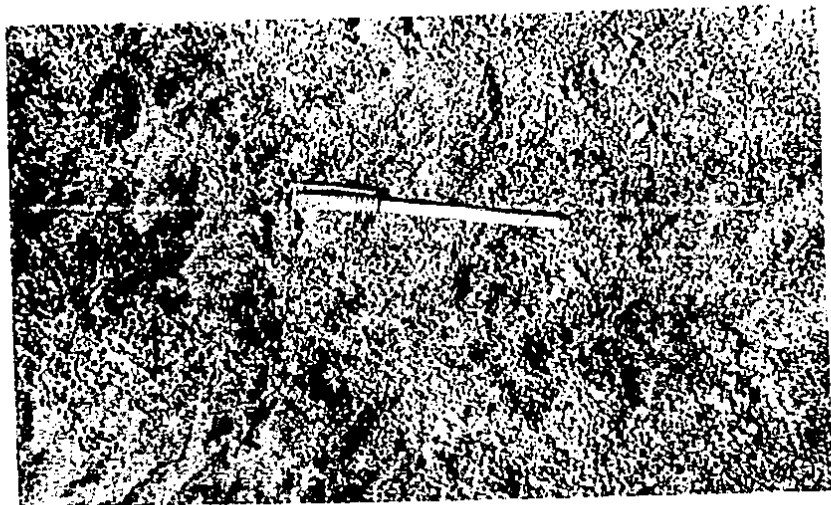
- 1) Parte occidental de la laguna La Escondida; obsérvese la abundancia de manglares en el centro de la laguna y en menor cantidad hacia las orillas, en la zona de supramarea. Altura del manglar = 1 m.
- 2) Parte occidental laguna La Escondida (Sección D-D', Fig. 5) franja de intermarea de la laguna con lodo y agua estancada, dejada entre la orilla de la laguna y la línea de baja mar. En esta zona existen abundantes cangrejos, gas terópodos, algas cafés y verdes; al fondo se observan manglares. Casas como escala.
- 3) Orilla de la parte occidental de la laguna, con gran abundancia de pellets; también pueden verse las madrigueras de los organismos excavadores, así como la colocación de los pellets que es más clara que el sedimento que los contiene, debido a que los animales se alimentan del material orgánico y van desechando el material inorgánico. Longitud del marcador = 14 cm.



1



2



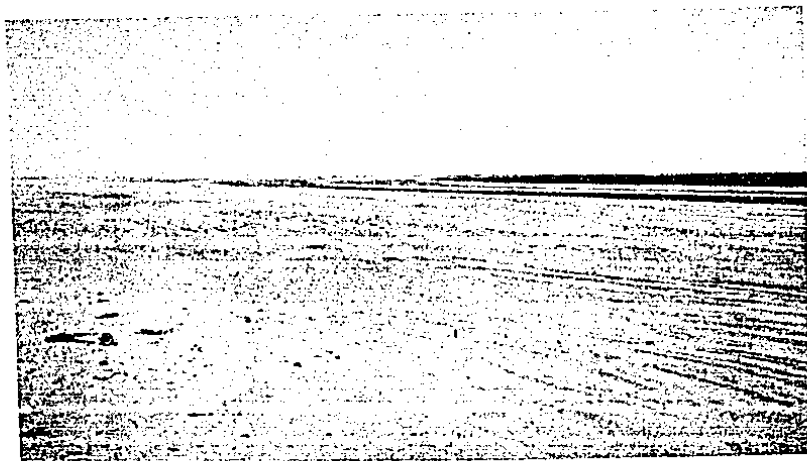
3

LAMINA VII
AMBIENTE LAGUNAR
(Supramarea-Intermarea)

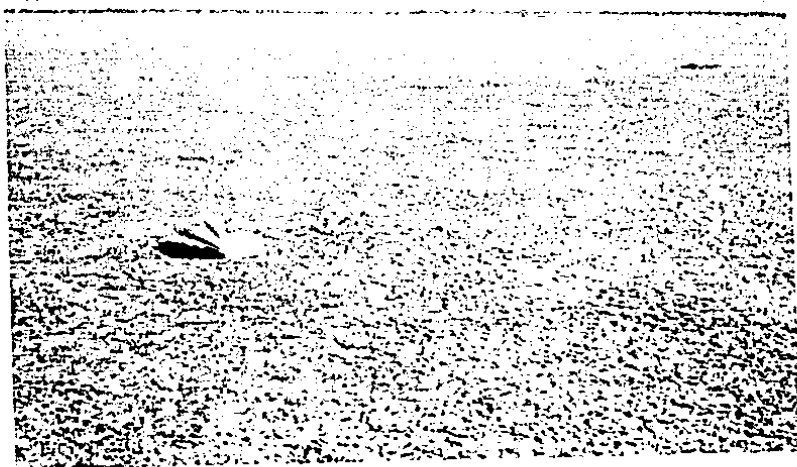
- 1) Parte occidental de la laguna La Escondida (Sección E-E'). Límite de la zona de intermarea con la de supramarea; en la zona de intermarea se observan las huellas dejadas por el oleaje durante la pleamar; y en el ángulo inferior izquierdo de la foto, se observa la zona de supramarea con conchas de moluscos, desechos de plantas y pasto marino. Al fondo la rompiente del oleaje. Tamaño de las conchas = 10 cm.

AMBIENTE DE PLANICIE ALGACEA

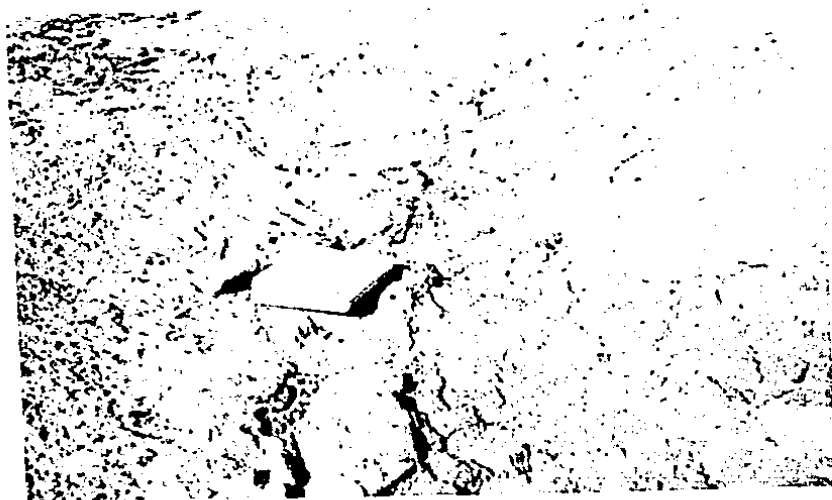
- 2) Planicie noroccidental de la laguna La Escondida cubierta por carpetas de algas cianoficias; se observan pequeñas capas de salitre cubriendo a las carpetas de algas. Longitud de la libreta = 18 cm.
- 3) Planicie noroccidental de la laguna La Escondida, con carpetas de algas cianoficias en un canal de mareas que sirve para desalojar las aguas que inundan a la planicie de mareas. Al retirarse el agua, las algas proliferan con el incremento de humedad. Se observan también grietas por desecación formadas durante el reflujó. Longitud de la libreta = 18 cm.



1



2

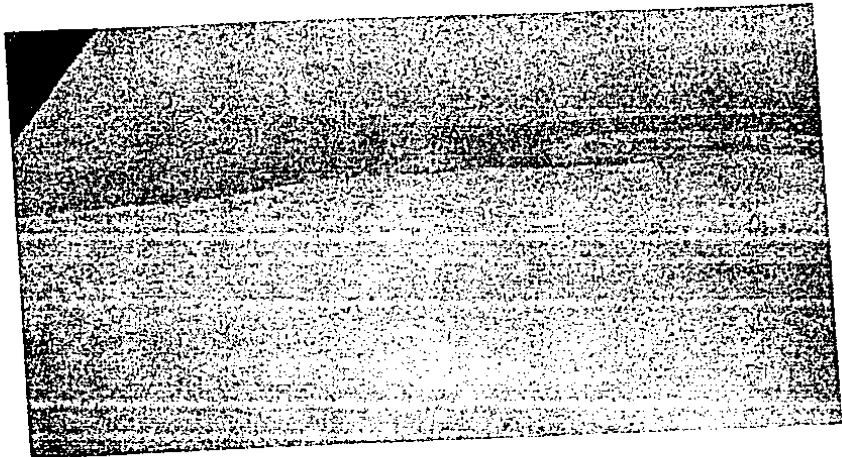


3

LAMINA VIII

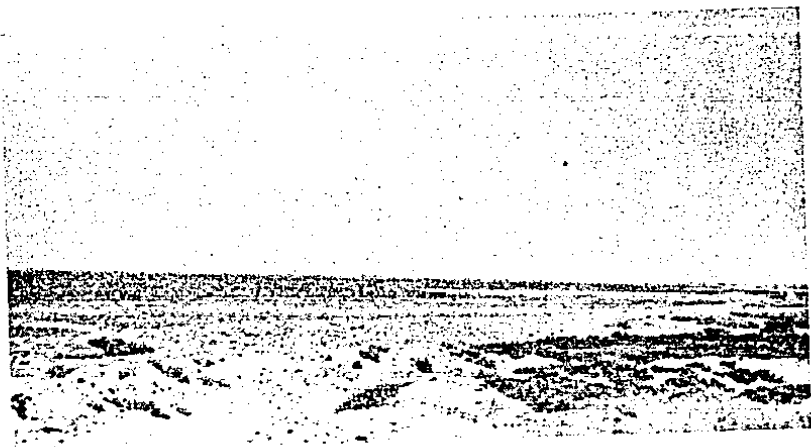
· AMBIENTE EOLICO

- 1) Dunas transversales y de tipo "barhanes" o medias lunas, entre las lagunas San Ignacio y La Escondida; formadas por los vientos predominantes del suroeste, los cuales soplan del mar hacia el continente. Vista aérea. Altura aproximada = 1 000 m.
- 2) Playa occidental en Bahía de Ballenas, con dunas costeras que están siendo estabilizadas por el crecimiento de plantas y arbustos. Altura aproximada de los arbustos = 50 cm.
- 3) Interior de la barra de la laguna La Escondida. Dunas con abundantes rizaduras alineadas según la dirección del viento. Las arenas migran de la playa hacia la barra donde se forman las dunas. Longitud de la libreta = 18 cm.

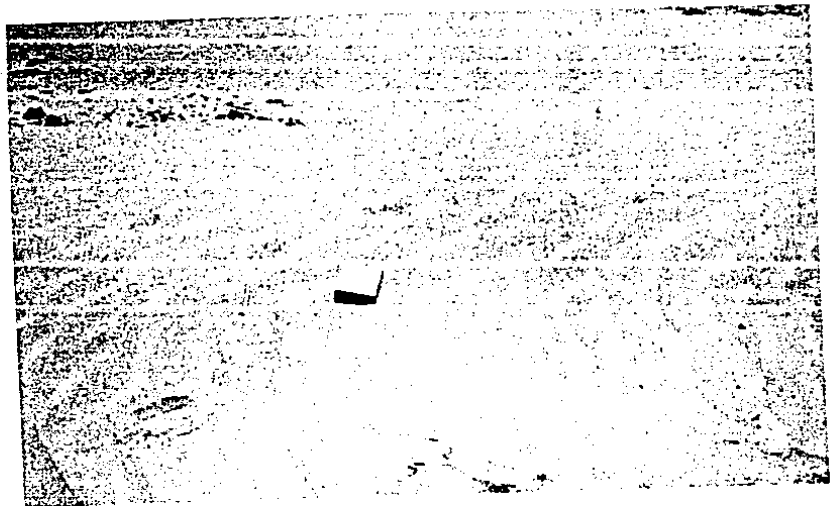


1

2



3



LAMINA IX

LAGUNA SAN IGNACIO

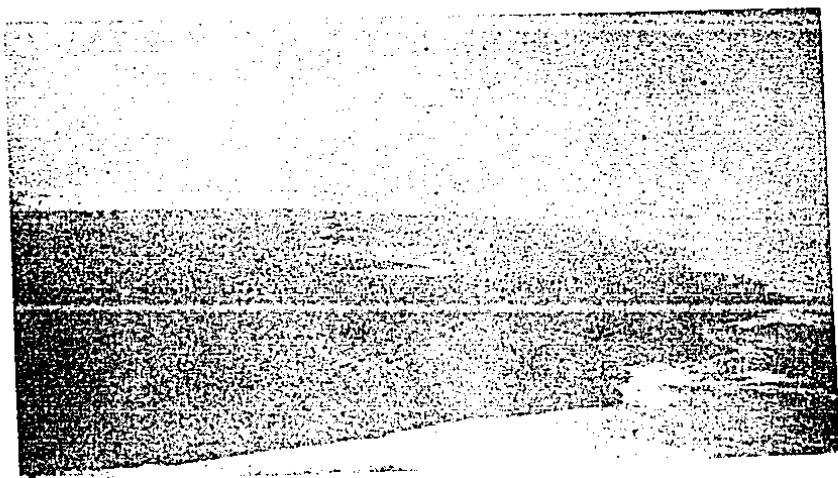
- 1) Vista aérea de la parte media de la Laguna San Ignacio. A la derecha de la foto al fondo, la planicie algácea es cubierta por el agua durante las mareas de primavera. Al centro y en la parte inferior de la fotografía, se observan las dos islas de la laguna y canales de mareas, que desalojan las aguas de las planicies. Vista aérea. Altura aproximada = 500 m.

- 2) Parte noreste de la planicie de la Laguna San Ignacio. En esta zona está la planicie de mareas más extensas que es inundada por la marea de primavera. Al sureste de la laguna, sobre la planicie, se encuentran los depósitos de evaporitas. Vista aérea. Altura aproximada = 600 m.

- 3) Acantilado de la parte occidental de la isla norte de la laguna, constituido por una terraza marina. Se observan sedimentos del Eoceno Medio formados por bancos calcáreos fosilíferos; en la parte superior, areniscas, limolitas, lentes de yeso y conglomerados. Altura del acantilado = 10.0 m.



1



2



3

LAMINA X

LAGUNA SAN IGNACIO

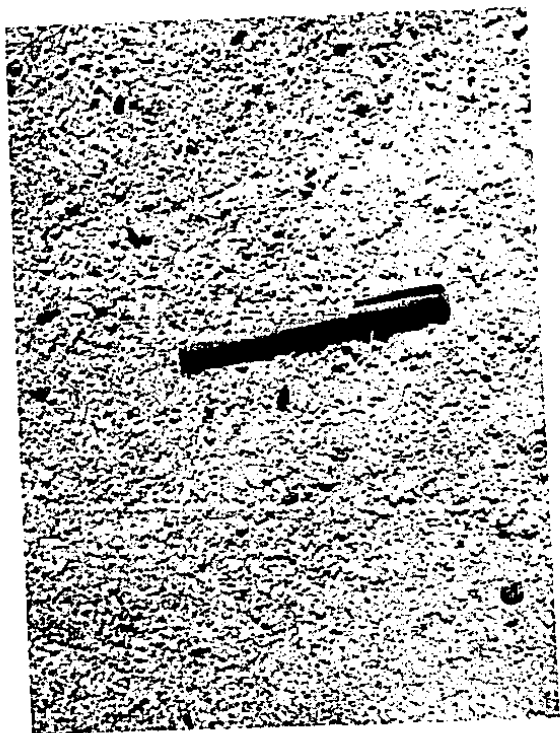
(Continuación)

- 1) En la isla de la porción noroccidental dentro de la Laguna San Ignacio, se observa una terraza marina constituida en la parte superior por areniscas, conglomerados, limolitas y areniscas; en la parte media, bancos calcáreos fosilíferos, y en la parte inferior areniscas y limos. Obsérvese en el piso los cantos rodados derivados del conglomerado.

- 2) Porción suroccidental de la isla (Sección F-F'). Se observa un banco calcáreo constituido por conchas de Lepidocyclina, este fósil es característico del Eocene Medio. Longitud de la pluma = 14 cm.



1



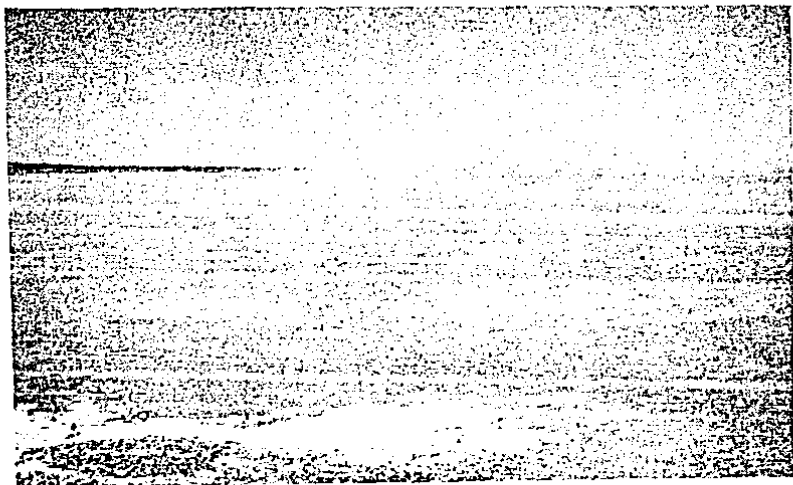
2

LAMINA XI

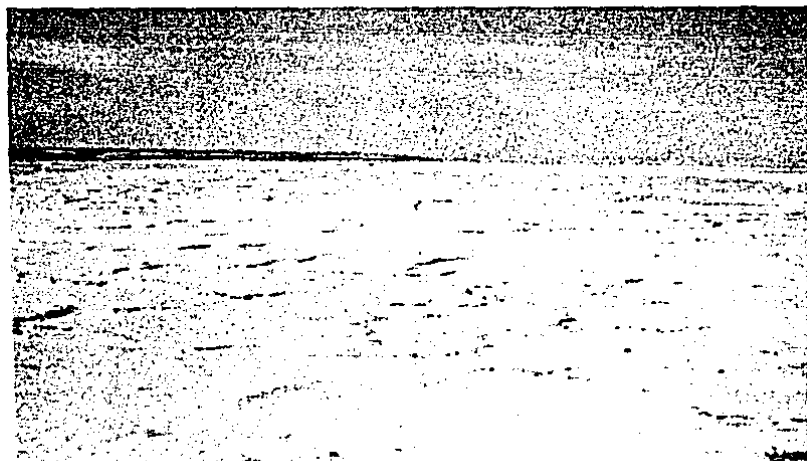
PLANICIE EVAPORITICA

(Laguna San Ignacio)

- 1) Parte suroriental de la planicie de mareas de la laguna San Ignacio (Sección G-G', M-24, Fig.5); constituida por depósitos aislados de evaporitas asociados con algas cia no ficeas, las cuales están ampliamente distribuidas en toda la planicie. Longitud de los depósitos de evaporitas = 2 m.
- 2) Planicie de mareas de la laguna San Ignacio (Sección G-G', M-26, Fig.5). Aquí se incrementan los depósitos de evaporitas, las cuales presentan grietas de desecación formando polígonos hasta de 2 m de diámetro que pueden tomarse como escala.
- 3) En la planicie de mareas de la laguna San Ignacio (Sección G-G', M-26, Fig.5) se presentan capas de evaporitas formadas por cloruro de sodio de 1 a 2 cm de espesor; ob sér ven se. las grietas de desecación asociadas a las eva por itas. Longitud de la pluma = 14 cm.



1



2



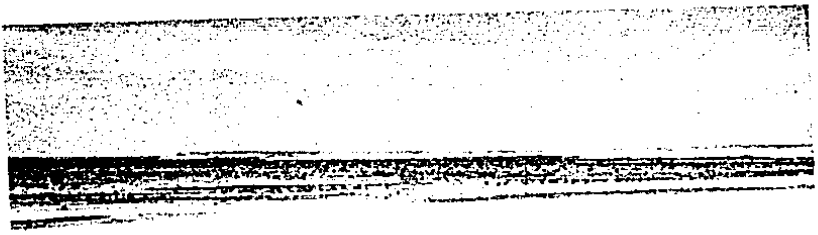
3

LAMINA XII

PLANICIE EVAPORITICA

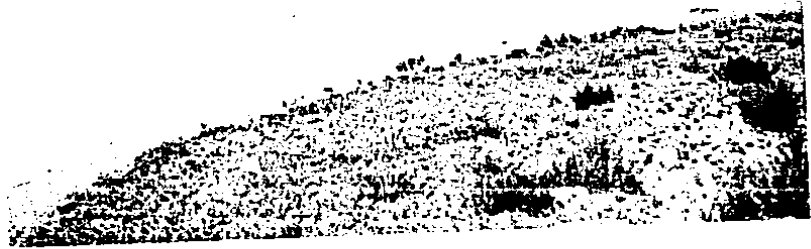
(Continuación)

- 1) Porción nororiental de la laguna San Ignacio (Sección F-F', M-29, Fig.5). Se observa un depósito de evaporitas formadas por la precipitación de halita al bajar la marea de primavera. En el centro del depósito salino se observa una salmuera constituida por cloruro de magnesio hidratado.
- 2) Misma localidad que la anterior. Agregado cristalino ramiforme de cristales de halita; obsérvese que los cristales fueron creciendo alrededor de las ramas de un arbusto que cayó en la salina. Longitud de la pluma = 14 cm.
- 3) Localidad, 3.0 km hacia el sur de la anterior (M-26,- Fig.5). Fragmento rodado de basalto atacado químicamente por la sal; la mayoría de los fragmentos leñosos y organismos que caen en la salina son preservados. Longitud del martillo = 65 cm.



h

1



2



3

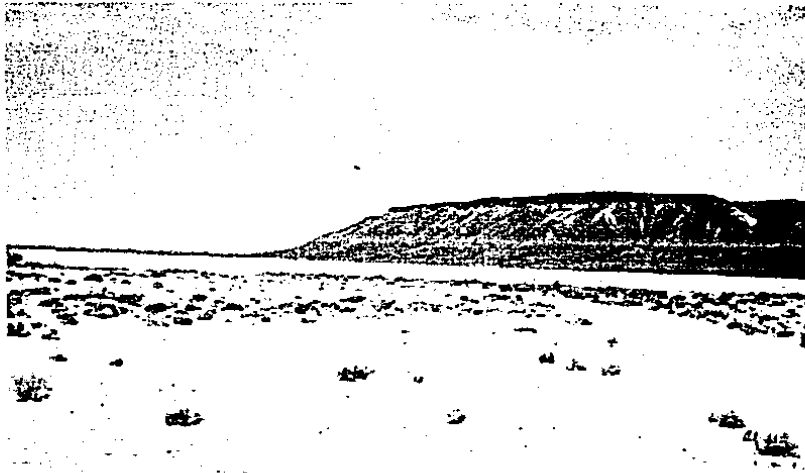


LAMINA XIII

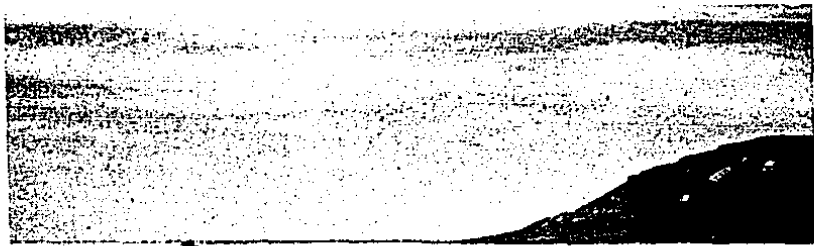
PLANICIE EVAPORITICA

(Salina del Cuarenta)

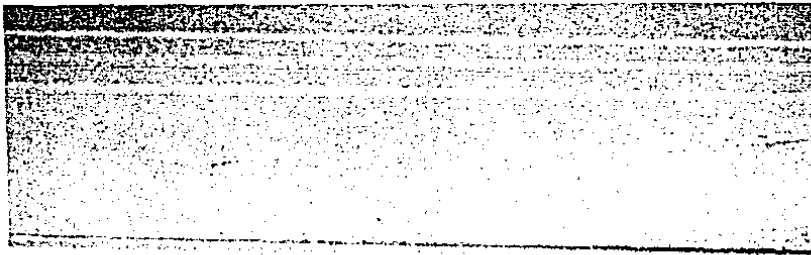
- 1) Salina del Cuarenta vista hacia el oriente. Obsérvense hacia la derecha derrames de basaltos del Pliocuaternalio, cubriendo a rocas de la Formación Bateque del Eoceno Inferior y Medio. Al pie de la sierra se observan los depósitos de sal. Altura del cantil = 50 m.
- 2) En la Salina del Cuarenta hay abundantes depósitos de sal. Esta salina no tiene conexión superficial con el agua marina, pero tiene comunicación con el mar por medio del nivel freático, lo cual causa que debajo de las capas de sal existan salmueras.
- 3) Planicie suroriental de la laguna San Ignacio (entre A-26 y A-29', Fig.5). En esta zona existen abundantes depósitos salinos; se observan fragmentos de basalto que en ocasiones caen en las evaporitas. Altura de los arbustos = 40 cm:



1



2



3

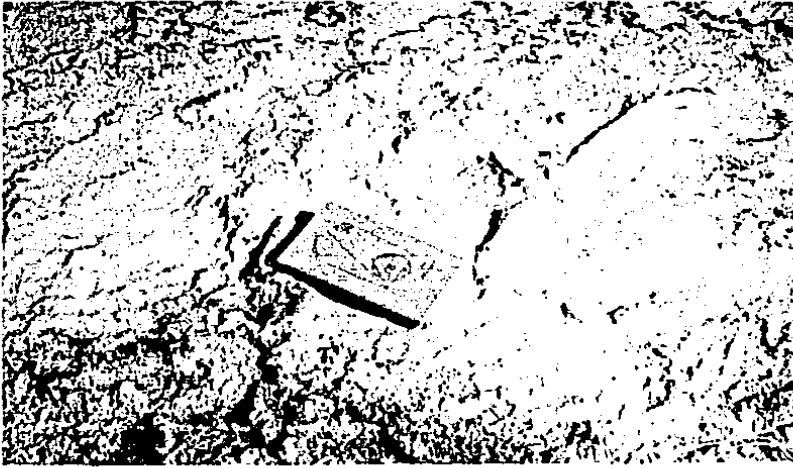


LAMINA XIV

PLANICIE EVAPORITICA

(Laguna San Ignacio)

- 1) Planicie nororiental de la laguna San Ignacio (Sección G-G', M-24, Fig.5). Capas delgadas de sal depositadas sobre carpetas de algas cianofíceas, las cuales se observan en la parte inferior de la fotografía. Longitud de la libreta = 18 cm.
- 2) Trinchera hecha en la planicie de la laguna San Ignacio (Sección G-G', M-26, Fig.5). Obsérvese capas delgadas de sal (2.0-4.0 cm) y capas de algas cianofíceas; intercaladas con capas arcillosas y arenosas. Longitud del martillo = 32 cm.
- 3) Trinchera hecha en la salina del Cuarenta (Sección H-H', A-32, Fig.5). Se observa que el nivel fréatico de la sal muera es somero (10.0 cm de profundidad). Las capas de sal están intercaladas con sedimentos limosos y arcillosos, con alto contenido de materia orgánica. Longitud de la pluma = 14 cm.



1



2



3