

Bol. Cient. CIOH	Cartagena (Colombia)	No. 4	p. g. 49 - 110	Junio 1982	ISSN 0120 - 0542
------------------	-------------------------	-------	----------------	------------	------------------

SINTESIS DEL PROYECTO BAHIA DE CARTAGENA

Por Varios Autores*

Oceanografía Física
Jean Luc Pagliardini

Oceanografía Química
Marco A. Gómez A.
Henry Gutiérrez T.
Sergio I. Zapata D.
Alberto Jurado R.
Jesús A. Garay T.

Geología Marina
Georges Vernet

INTRODUCCION

En este estudio, el primero de su genero que se desarrolla en forma completa, se presentan las características climáticas, marinas y continentales que inciden en los procesos marinos que tienen lugar en la Bahía de Cartagena, tanto en sus aspectos dinámicos, químicos y sedimentológicos.

La Bahía de Cartagena se encuentra en el Noroeste de Colombia y está separada del mar por la isla de Tierra Bomba y a su vez presenta dos comunicaciones con él en su sector oriental; por su sector sur, tiene un aporte continental de agua dulce (Canal del Dique).

El estudio se realizó por el término de 2 años 1978-1979 efectuándose 8 muestreos trimestrales.

Como principal característica, se destacan dos períodos en el área de estudio: Período Seco y Período Humedo, donde las brisas marinas y las lluvias inciden notablemente en el comportamiento de los Parámetros Físicos- Químicos en todo lo largo y ancho de la Bahía de Cartagena.

*Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Cartagena. Colombia.

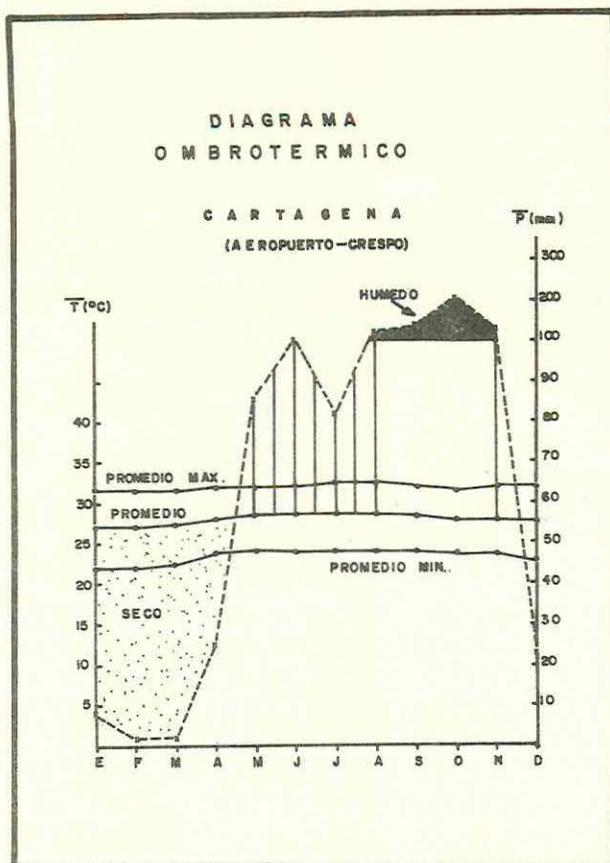


FIG. 1

GENERALIDADES:

1. 1. EL CLIMA

Los datos climáticos tomados en consideración se refieren a las observaciones obtenidas en el aeropuerto de Crespo (Cartagena) y recopiladas por el HIMAT*:

- a. **Temperatura.** Las temperaturas indican un promedio anual de 27.9°C (observaciones de 27 años). Las variaciones del promedio mensual a lo largo del año son de poca amplitud (inferior a 2°C); hecho que tiene explicación por la vecindad de las masas de agua marina, cuyas temperaturas superficiales se mantienen cerca de la isoterma de 30°C durante todo el año.
- b. **Lluvia.** La suma de los promedios mensuales de lluvia restablecida en base a observaciones de 31 años, indica, una pluviosidad anual de 921 mm.
- c. **Relación Lluvia - Temperatura.** Las relaciones lluvia-temperatura expresado en el diagrama ombrotérmico permite precisar (Fig.1):
 - Una sequía importante en los meses de Febrero y Marzo.
 - Una pluviosidad mayor en los cuatro meses de Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre con el máximo en Octubre.

*HIMAT. Instituto de Hidrología y adecuación de tierras.

Si se utilizan las definiciones de Gausson (1952) respecto a la caracterización de clima para el índice de aridez (P/t), los resultados obtenidos para la región de Cartagena son los siguientes:

- Estación seca ($P/t < 2$) de Diciembre hasta Abril.
- Estación húmeda ($P/t > 4$) de Agosto a Noviembre, siendo los meses de Mayo, Junio y Julio intermedios (Fig. 2).

d. Vientos. La región de Cartagena está sometida al régimen de los vientos Alísios, que soplan de manera constante del N-NE durante los meses de Diciembre hasta Abril. En la otra época del año (Mayo a Noviembre), los vientos son muy variables tanto en dirección como en fuerza.

Hay obviamente muchas relaciones entre el régimen de los vientos y los cambios climáticos a lo largo del año (Fig. 3).

La estación seca se instala bajo el régimen de los vientos Alísios que se desplazan del sector NE al sector N de Diciembre hasta Abril; estos vientos son de velocidad variable pero elevado.

En el período de transición (Mayo, Junio, Julio), los vientos son más suaves excepto en Julio (Veranillo de San Juan) durante el cual las velocidades alcanzan 19,2 m/s, la importancia relativa del sector N-NE disminuye, en cambio los períodos de calma aumentan.

La estación húmeda (Agosto-Noviembre) se caracteriza por su mayor porcentaje en calma, los valores máximos no sobrepasan 11m/s, y los vientos de velocidad mínima ocurren en Octubre, el mes más lluvioso del año (fig. 4).

1. 2. EL MAR

El mar actúa tanto sobre la morfología del litoral como sobre las características de las masas de agua de la Bahía:

- Las formaciones arenosas de Bocagrande, Castillogrande y del Laguito resultan de los procesos de deriva litoral.

La marea de tipo semidiurna con fuerte desigualdad diurna, a pesar de su poca amplitud (inferior a 0.5m) aumenta los procesos de mezcla de las aguas en la Bahía. (Fig. 5).

1. 3. EL CONTINENTE VECINO

Los alrededores de la Bahía de Cartagena tienen una morfología resultante de los movimientos tectónicos que afectaron las formaciones mio-pliocénicas constituidas por potentes acumulaciones arcillo-arenosas suprayacidas por construcciones calcáreas formando el tope de la mayoría de los relieves (Los Morros, La Popa, El Bosque, Albornoz, Abocol, del Norte al Sur, así como en Tierra Bomba y Barú. (Fig. 6).

El Cuaternario marino está representado por terrazas arrecifales muy frecuentes en toda la costa a partir de Tierra Bomba hacia el Sur, tanto en el lado externo como en la parte interna de la Bahía.

Al contrario de las series Mio-pliocénicas, estas terrazas por su horizontalidad, no han sido tan sujetas al tectonismo a pesar de que se conoce, volcanismos de lodos, activos en la región (lomas de los volcanes en la vecindad de Turbaco, volcán del Totumo cerca de Galerazamba).

INDICE DE ARIDEZ (GAUSSEN)

CARTAGENA

(AEROPUERTO-CRESPO)

p/t. — — — —

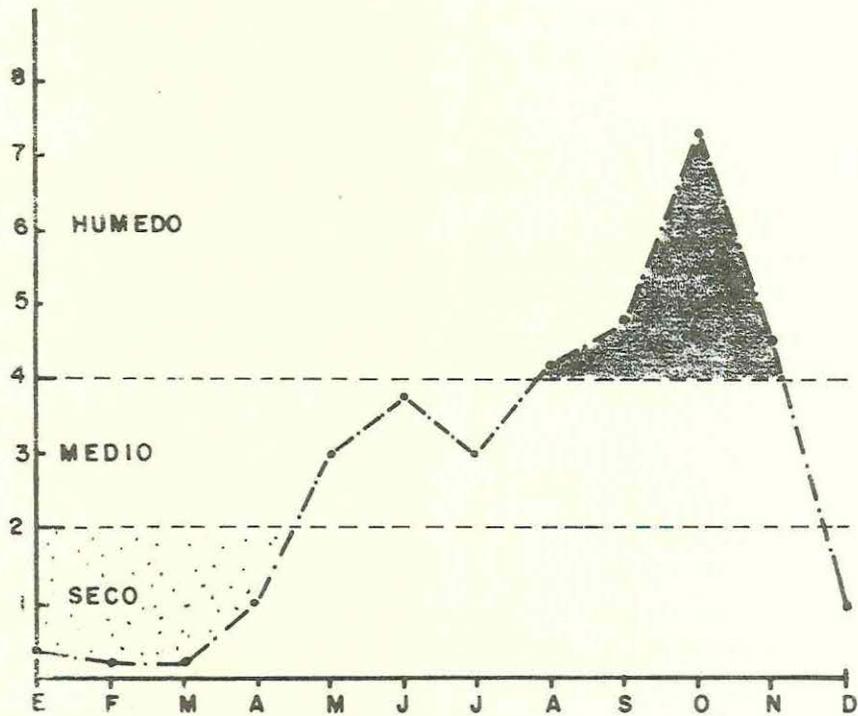


FIG. 2

RELACION ENTRE LA LLUVIA Y EL % CALMA

CARTAGENA
(AEROPUERTO-CRESPO)

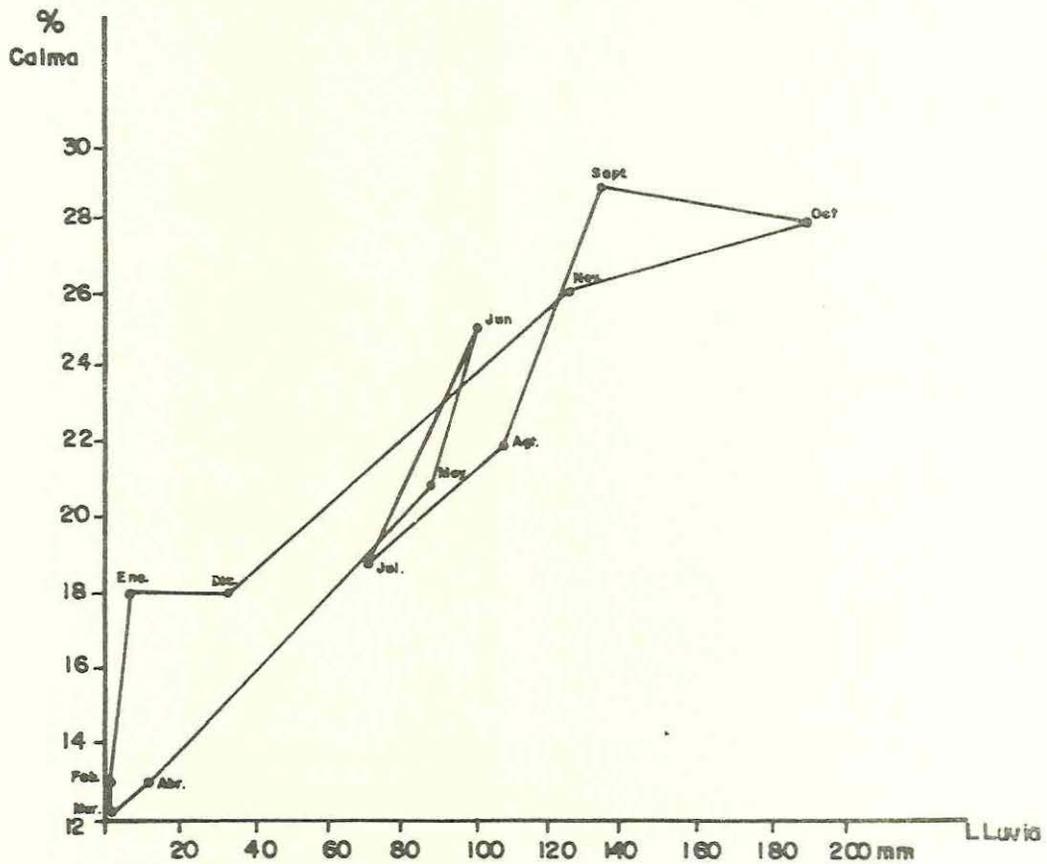
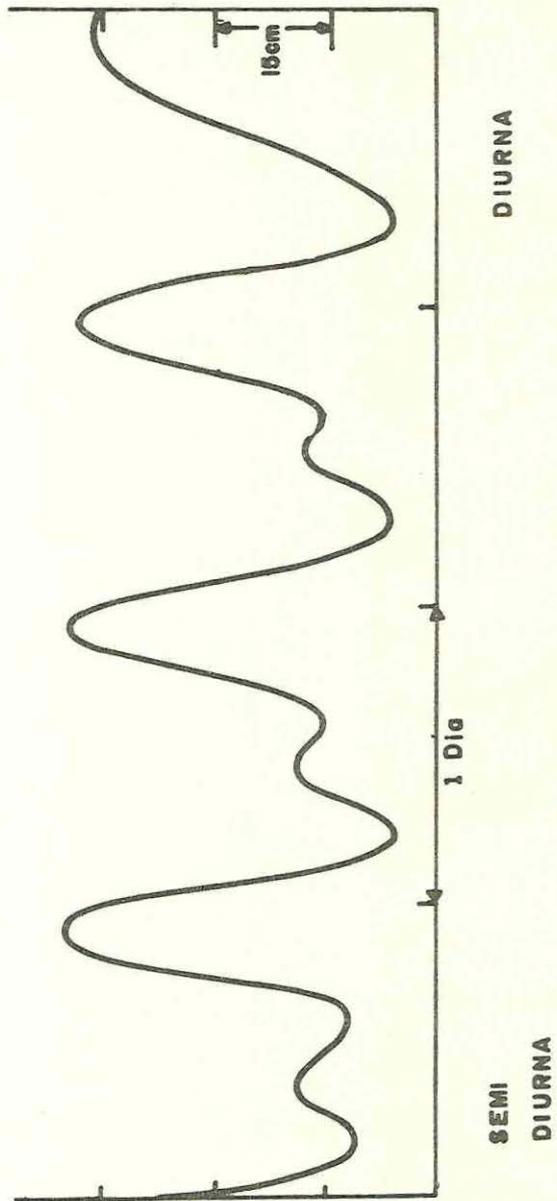
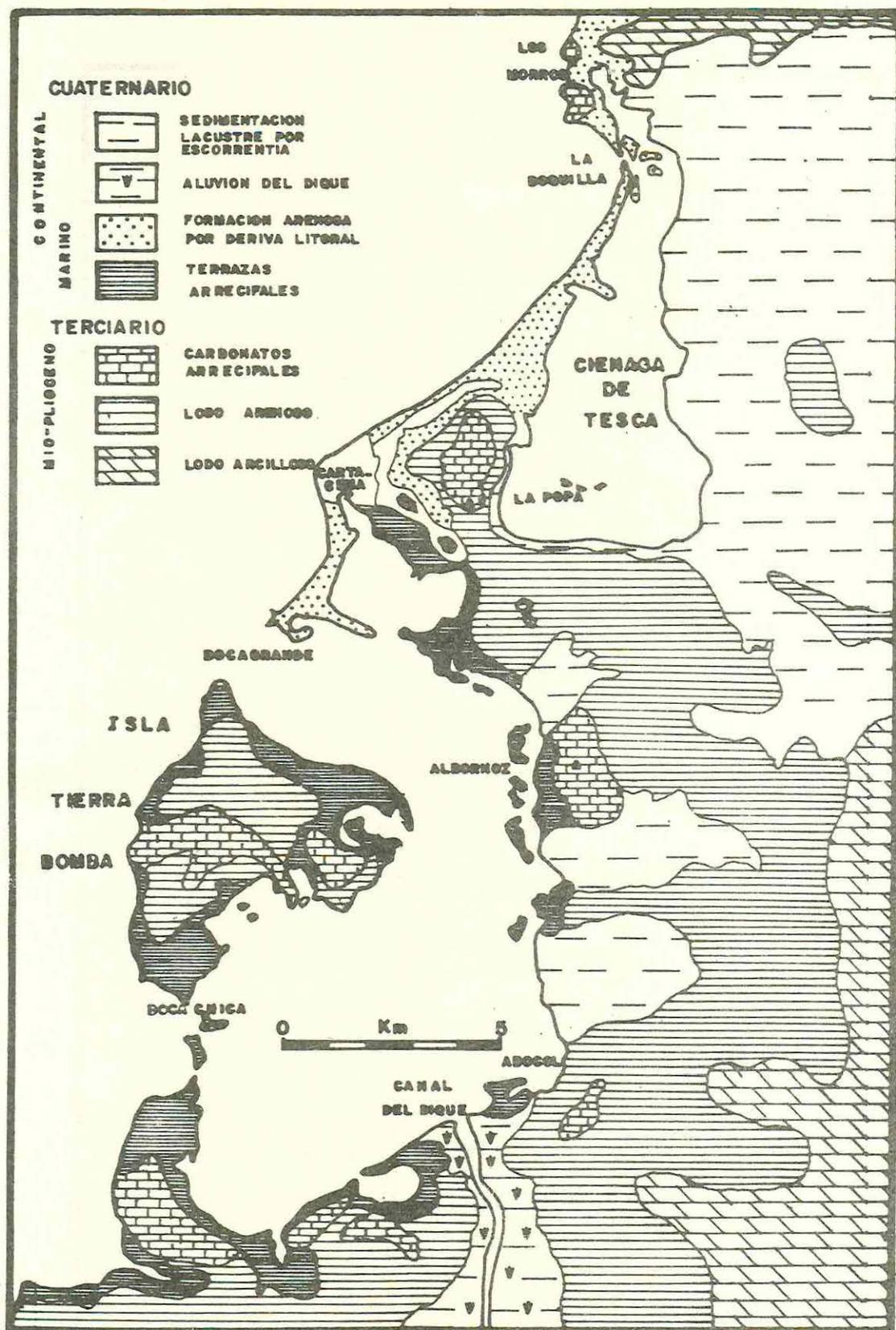


FIG. 4



**MAREA TEORICA
EN LA REGION DE CARTAGENA**

FIG. 5



MAPA GEOLOGICO DE LA REGION DE CARTAGENA
(SEGUN BURGL, 1957 Modificado)

En Tierra Bomba y Barú, dos tipos de terrazas son visibles; la primera tiene una elevación de unos + 20m, la otra más extensa, no alcanza + 5m.

Aún cuando falta información para precisar la edad de la terraza + 20m en donde las facies arrecifales presenta fenómenos de mineralización bien avanzada, unas dataciones por Carbono 14 sobre una muestra de Codakia orbicularis (Richards y Broecker, 1963) y en una muestra de Porites porites (Burel y Vernet, 1980), dieron respectivamente 2.850 ± 150 años BP y 2.700 ± 90 años BP para las terrazas de + 3m.

Estas terrazas, que se elaboraron durante el último nivel transgresivo del mar, participan mucho a la sedimentación calcárea actual de la Bahía.

El cuaternario continental corresponde esencialmente a los depósitos fluviales en la cuenca del canal del Dique, antiguo brazo del Río Magdalena, Así como de las acumulaciones detríticas y cordones litorales construídos por la dinámica del mar en el sector norte de la Bahía (de la Boquilla hasta Bocagrande y Castillogrande).

Otros tipos de depósitos se encuentran en las zonas bajas y llanas de los alrededores de la Bahía y corresponden a facies lacustres: sedimentación fina resultante del transporte por las aguas de escorrentía en las cuencas de la región.

1. 4. LA BAHIA DE CARTAGENA

En la costa colombiana, la Bahía de Cartagena, está situada al sur del mar Caribe entre los $10^{\circ}16'$ y $10^{\circ}26'$ de latitud Norte y los $75^{\circ}30'$ y $75^{\circ}36'$ de longitud Oeste. La superficie del plano de agua tiene aproximadamente 82 Km².

- a. **Morfología.** La parte Oeste de la Bahía está ocupada por la isla de Tierra Bomba que delimita las dos comunicaciones con el mar: Bocagrande al Norte y Bocachica al Sur.

La entrada de Bocagrande está sometida a una fuerte sedimentación por deriva litoral que los Españoles aprovecharon en 1771 para construir una barrera submarina, "La Escollera", con el fin de impedir el desembarque de los buques enemigos y tener más facilidades para la defensa de la ciudad. Obviamente esta "Escollera" que alcanza entre uno y dos metros por debajo de la superficie disminuye los intercambios entre la Bahía y el mar.

La entrada de Bocachica, más estrecha, tiene profundidades de - 20m y sirve como canal de navegación para el tráfico marítimo hasta el interior de la Bahía.

La mayoría de las orillas de la Bahía están constituídas por formaciones arrecifales fósiles, contruídas durante las últimas transgresiones marinas del cuaternario y hoy cubiertas por manglares (Rhizophora mangle, Avicenia germinans, Laguncularia racemosa, siendo las especies más comunes).

En las orillas Norte de la Bahía (Bocagrande, Laguito y Castillogrande) las playas, sometidas a la sedimentación resultante de los procesos de deriva litoral generados por los vientos Alisios, son muy desarrolladas y constituídas por arenas finas cuarzosas.

Las playas internas de los sectores del Centro y del Sur de la Bahía son más estrechas y constituídas por arenas calcáreas.

En muchos sitios de la Bahía y especialmente cerca de las orillas se encuentran islas e islotes cubiertos por manglar, así como bajos de formación coralinas. Las

especies más comunes que sirvieron a la edificación de tal morfología son las siguientes: Acropora palmata, A. cervicornis, porites, Agaricia sp, Diploria sp.

La última batimetría de la Bahía de Cartagena ha sido realizada por el Servicio Hidrográfico de la Dirección General Marítima y Portuaria en 1974. El Mapa resultante (Col. 261) permite resaltar la existencia de tres zonas morfológicas submarinas:

- De 0 a -2m: Bajos arrecifales generalmente a lo largo de las orillas pero también en algunos sectores centrales (Bancos Santa Cruz, Bocando). Esta zona representa más del 20 o/o de las superficies de la Bahía y como las orillas, está sometida a la acción dinámica de las aguas.
- De -2m a -20m: Taludes arrecifales de fuerte pendiente, pero de poca extensión y corresponde a la zona de transición.
- Por debajo de -20m a -20m: Sector profundo de muy poca pendiente pero de gran extensión. Más de la mitad de los fondos en la Bahía de Cartagena son a una profundidad superior a 20m.

El estudio batimétrico de la plataforma frente a la Bahía indica una morfología diferente entre la parte al norte de Bocagrande de pendiente suave con fondos cubiertos por arenas grises cuarzosas y la zona central y sur que presenta fondos irregulares debido a la existencia de bajos, constituidos por biotopos coralinos en desarrollo.

- b. El Canal del Dique, fué excavado en 1650 por medio de la unión de caños, ciénagas y brazos en la cuenca natural de un antiguo brazo del río Magdalena, que salía al mar por la parte sur de la Bahía de Barbacoas (Fig. 7).

Aunque este canal fue creado artificialmente, puede tratarse como un río natural, puesto que acarrea agua y sedimentos desde su principio (Calamar) hasta sus desembocaduras, tanto en la Bahía de Barbacoas como en la Bahía de Cartagena (K. 115 en Pasacaballos).

Esta construcción incluyó ciertos cambios morfológicos en el Sureste de la Bahía en donde el canal desemboca. Pero, los mayores cambios resultantes fueron los de la llegada de aguas dulces y turbias en la Bahía. En este entonces probablemente empezó la desaparición de corales que se encontraban viviendo en las aguas limpias y saladas de la Bahía de Cartagena.

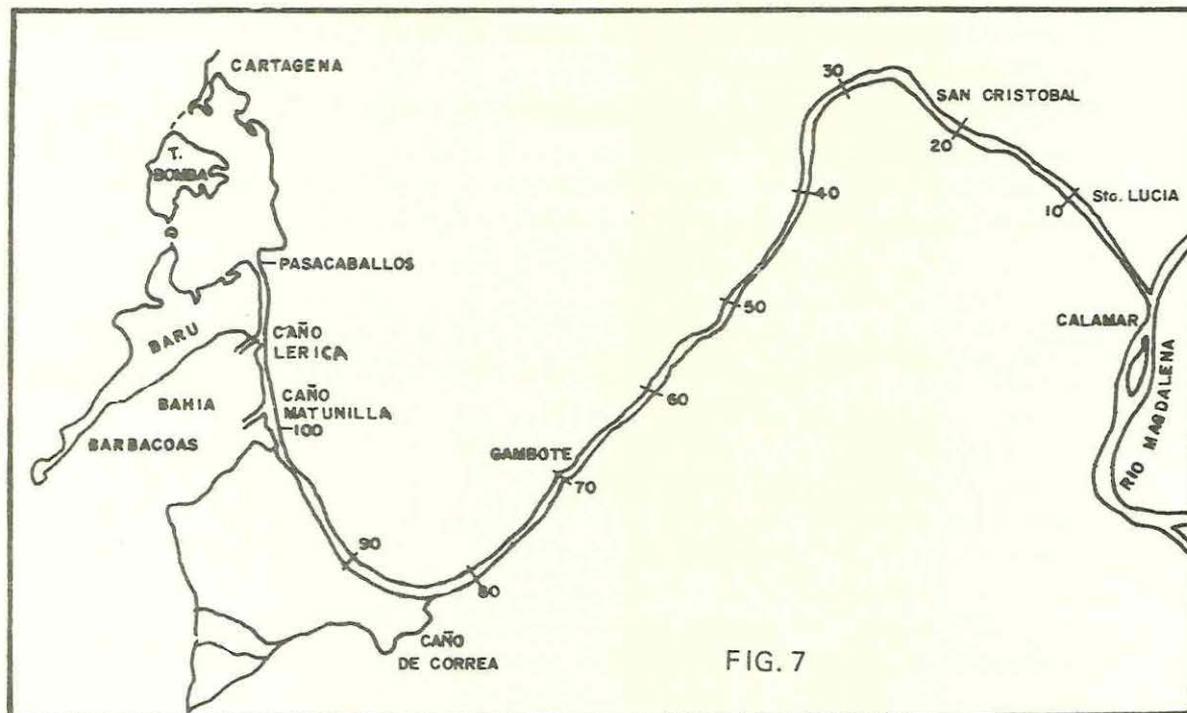
II. MATERIALES Y METODOS

Las observaciones meteorológicas fueron obtenidas de las estaciones del Aeropuerto de Creso y Escuela Naval. Los registros estadísticos se tomaron del Calendario Meteorológico del Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT).

Las muestras para los estudios sedimentológicos se recolectaron a mano y con el muestreador tipo "Berthois" de forma cónica y en los laboratorios se analizaron las características granulométricas (tamizaje y densimetría), calcimetría con el calcímetro "Bernard" y morfoscopía de las partículas constitutivas del sedimento.

Para el estudio físico de la Bahía, se hicieron observaciones contínuas de mareas con mareógrafos, corrientes por boyas de deriva, las muestras de agua se recolectaron con botellas Nansen de 2 litros y botellas Niskin de 5 litros.

CANAL DEL DIQUE



La temperatura se registró con termómetros de cubeta y termómetros reversibles, la salinidad se determinó con termosalmétros de inducción Beckman.

Para los análisis químicos se utilizaron las técnicas dadas por Strickland & Parsons, y los manuales de la EPA de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

Para la determinación de los parámetros químicos se usaron los siguientes equipos: Nutrientes: El Espectrofotómetro UV-VIS Spectronic 21 con celdas de 1, 5, y 10 cm. de paso; Metales Pesados: el Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer, Modelo 305B (Mercurio: se usó el sistema en fase vapor sin llama). Pesticidas: el Cromatógrafo de Gases Shimadzu GC-7A con microprocesador.

III RESULTADOS

3. 1. CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS AGUAS EN LA BAHIA.

El estudio de los parámetros físicos, se efectuó con los datos obtenidos por ocho muestreos. Cada muestreo constó de 43 estaciones repartidas en toda la Bahía (Fig. 8). Las medidas y recolección de muestras se realizaron en las profundidades de 0.5, 5, 10, 15, 20 y 25m. El trabajo de campo duró dos años y medio, y permitió así la obtención de unas 2000 observaciones de cada parámetro.

- a. **Variación anual de Temperatura y Salinidad.** Un estudio preliminar permitió ordenar los muestreos y componer un ciclo anual sintético relacionado con los datos meteorológicos.

Este ciclo puede dividirse en 2 períodos:

- Período de lluvia
- Período de vientos.

El período de lluvia se extiende de Mayo a Noviembre con una anomalía en Julio (Veranillo de San Juan).

El período de vientos va de Diciembre hasta Abril (Ver Figs. 2 y 3).

Durante la época de lluvia la temperatura de las aguas en la Bahía presenta una termoclina localizada de 0 a 10m, con el máximo durante el mes de Octubre, las variaciones entre el fondo (25m) y la superficie alcanzan los 4°C (Fig. 9).

Al contrario, en época de vientos la termoclina desaparece para dejar una columna de agua homogénea y más fría que los valores mínimos del período de lluvias.

La variación promedio anual de la salinidad sobre la columna de agua (Fig. 10), permite las mismas observaciones que para la temperatura, es decir:

En el período de lluvias aparece una haloclina muy pronunciada, presentando un leve retroceso en Julio (Veranillo de San Juan). Las variaciones más importantes aparecen en Octubre, al máximo de actividad de las lluvias con valores extremos de 26 o/oo en superficie, hasta 35o/oo).

La Fig. 11, expone las variaciones anuales promedio de la densidad sobre la capa de agua. En este caso también aparece una diferencia nítida e importante entre el período de lluvias, muy estratificado, con variaciones importantes entre el fondo ($\sigma - 22.5$) y la superficie ($\sigma - 15$) y el período de vientos de densidad casi constante ($22.5 < \sigma < 22.5$).

En primera conclusión, las aguas de la Bahía de Cartagena, presentan variaciones muy nítidas entre el período de los vientos y el período de las lluvias:

Durante el período de lluvias las aguas acusan la llegada por el canal del Dique esencialmente, de las aguas dulces continentales. Estas aguas son más livianas (calientes y salobres). Estos aportes flotan sobre las aguas más densas de la Bahía, y se mezclan progresiva y lentamente con ellas.

Durante el período de los vientos la actividad menor del canal del Dique limita sus efectos en cantidad. Por otra parte, la dinámica generada por los vientos acelera el braceaje y la mezcla de toda la columna de agua.

Después de estas observaciones falta por explicar:

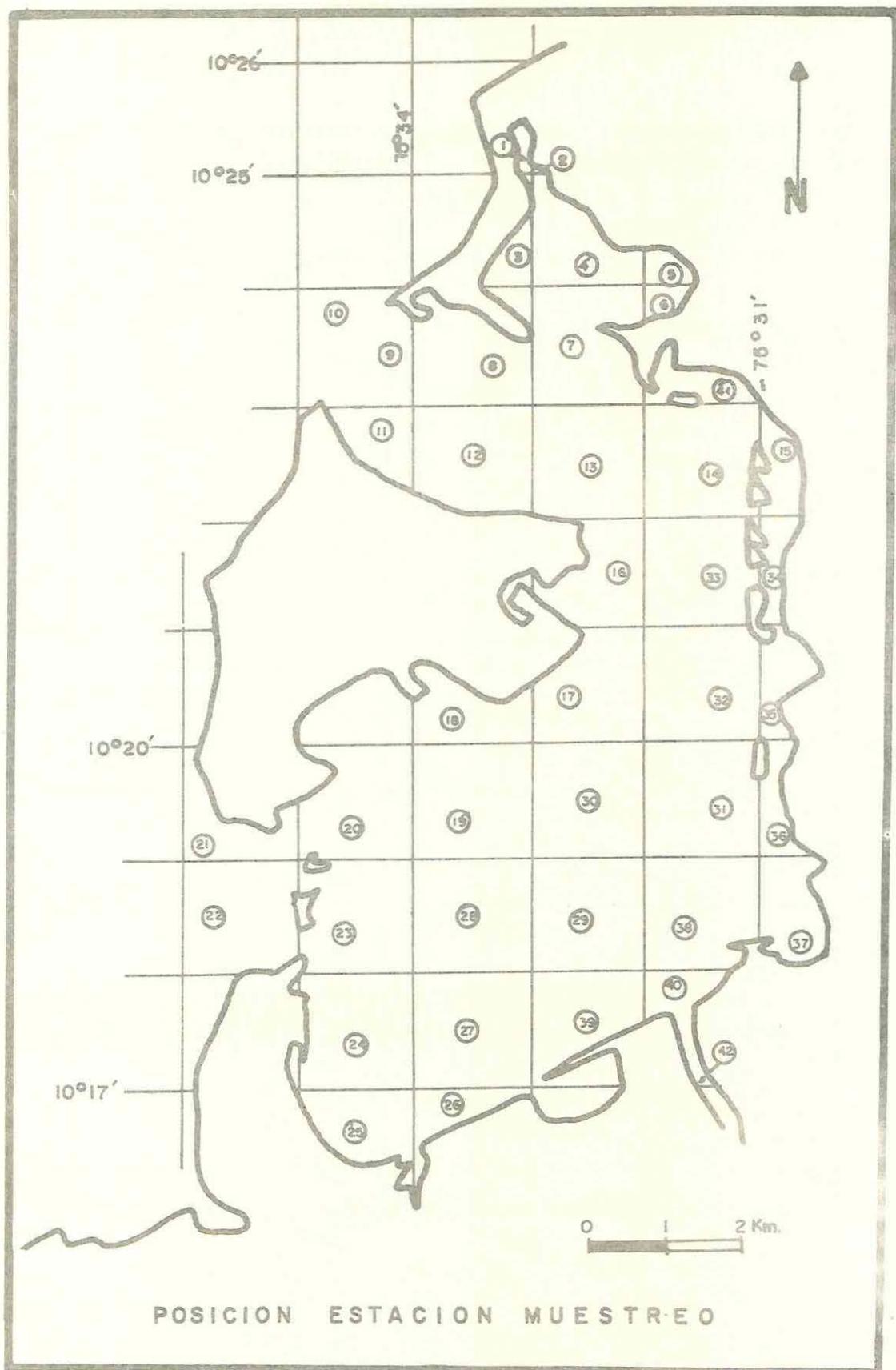
- La repartición, evolución y desaparición de las aguas del Dique.
- Las modalidades de los aportes de agua salada en la Bahía y el papel relativo de las dos entradas (Bocagrande y Bócachica).

Las etapas siguientes se efectuaron con el estudio y el análisis de las reparticiones horizontales a 0.5, 10, 15, 20 y 25m de las isopíneas así como por las variaciones locales de las densidades en relación con el tiempo (ciclo anual) y las profundidades.

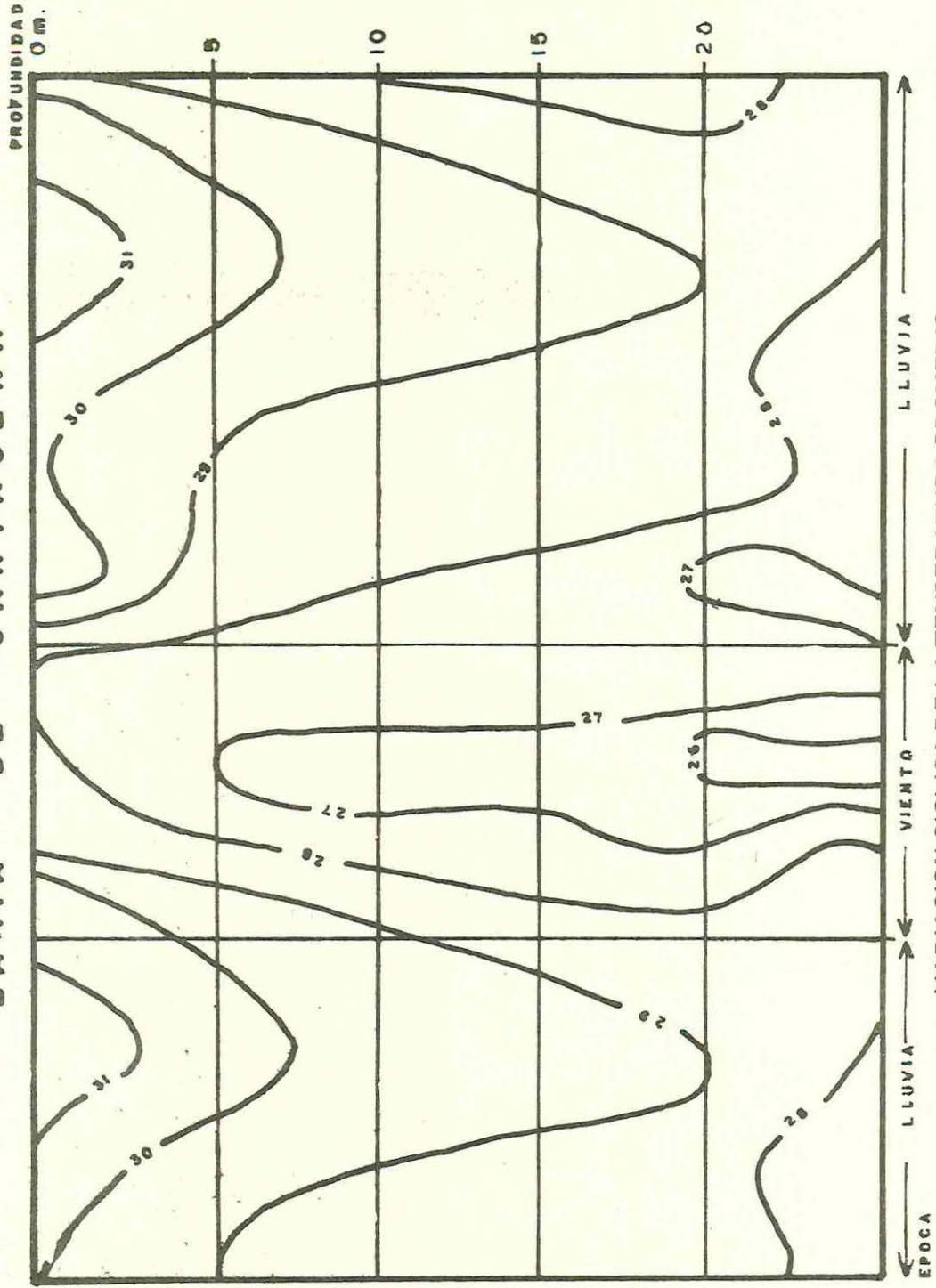
- b. Las aguas del Canal del Dique son las más sencillas para seguir por tener valores muy distintos de la masa de agua global de la Bahía.

Estas aguas afectan sobre todo la capa superficial hasta una profundidad de 15m (a nivel de la desembocadura en los períodos de dinámica activa).

BAHIA DE CARTAGENA



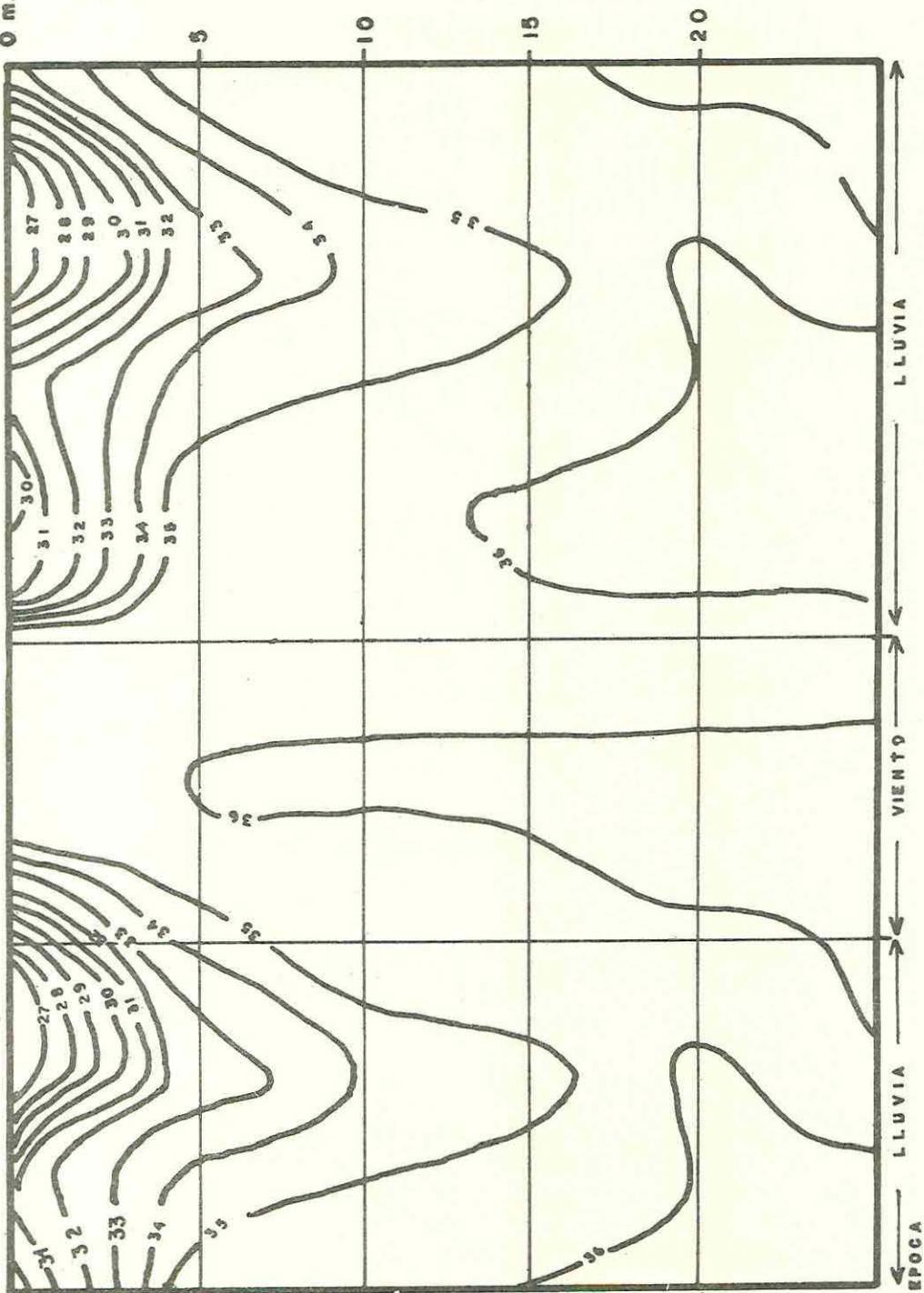
BAHIA DE CARTAGENA



VARIACION CICLICA DE LA TEMPERATURA PROMEDIO
FIG. 9

BAHIA DE CARTAGENA

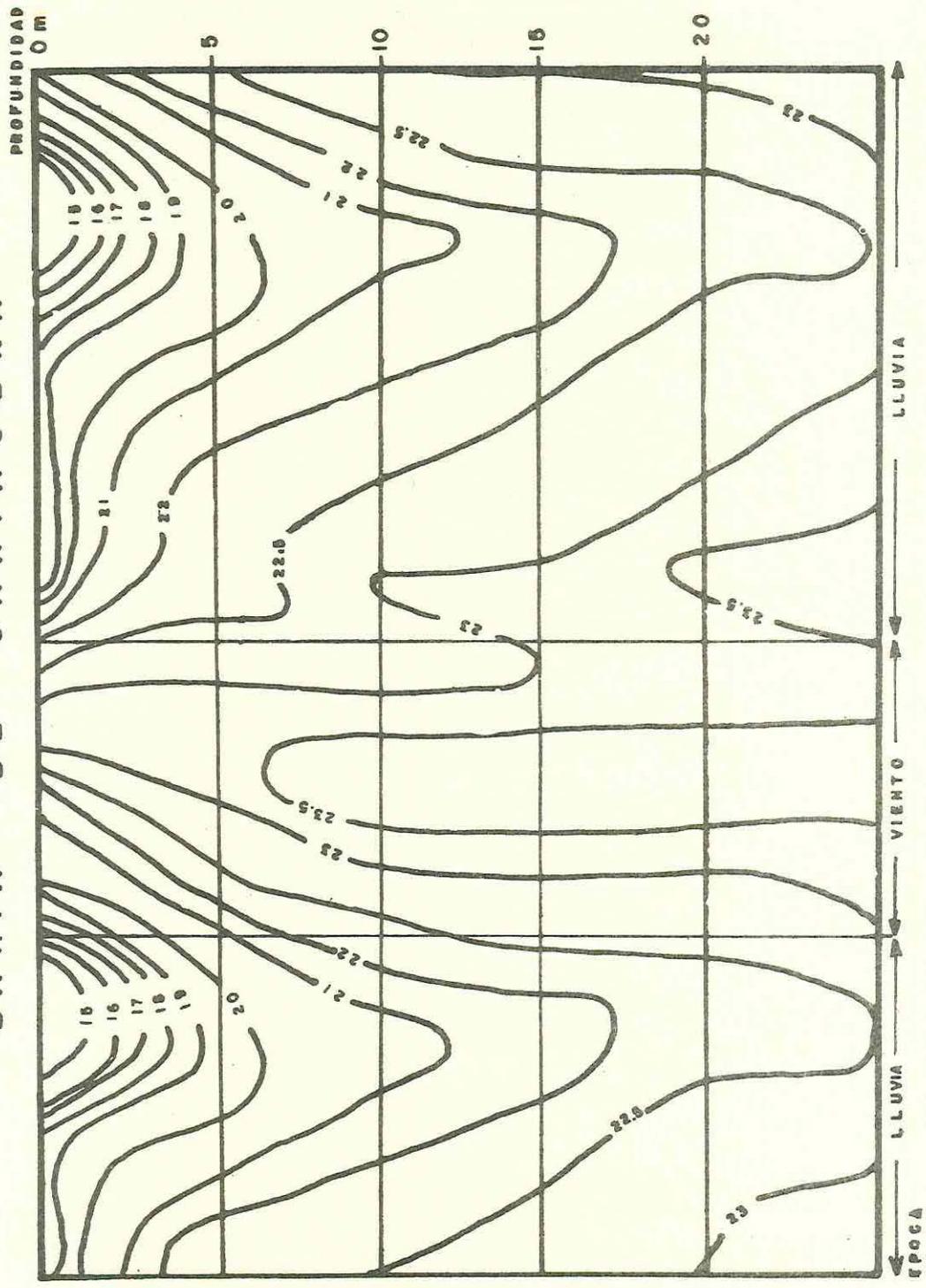
PROFUNDIDAD
0 m.



VARIACION CICLICA DE LA SALINIDAD PROMEDIO

FIG. 10

BAHIA DE CARTAGENA



VARIACION CICLICA DE LA DENSIDAD PROMEDIO

FIG. 11

En la época de vientos las aguas del Dique están pegadas contra la orilla Sur de la Bahía, bajo el efecto del roce del viento en la superficie (Fig. 12). Esto induce en profundidad, una corriente de compensación orientada del Sur hacía el Norte (Fig. 13).

Un poco más tarde en la estación de lluvias las aguas del Dique empiezan a invadir la Bahía.

La progresión de la "Lengua Turbia" se hace subiendo como las agujas de un reloj. Salen por Bocachica y, a medida que las calmas de viento aumentan, y que la dinámica global disminuye, se orientan hacía Bocagrande (Fig. 14), penetrando hasta la Bahía interna.

Siguiendo la progresión en el ciclo anual se llega al veranillo de San Juan: Los vientos recobran fuerza y soplan con más regularidad. Con esta nueva dinámica las aguas del Dique subsisten en los bordes Este y Oeste de la Bahía desapareciendo totalmente en su centro, es un período de acción regresiva.

Al entrar en la parte intensa de la época de lluvia, el mismo proceso se repite: salida de las aguas del Dique por Bocachica y luego Bocagrande. En Octubre las aguas del Dique ($\sigma = 20$) cubren la totalidad de la Bahía sobre un espesor, acercando los 15m; alcanzando 22m en la desembocadura del Canal y biselándose en Bocachica a una profundidad de 5m.

La topografía de la isopignea 18,5, así como la sección en el eje del Canal pone en evidencia la forma y el espesor de la capa de agua salobre: derrame normal en superficie de estas aguas poco densas pero también hundimiento rápido sobre la pendiente del cono del Canal. Esta caída anormal está ligada con la carga en suspensión importante de estas aguas que se derrumban como turbiditas (Fig. 15).

Se observó turbidez más elevada al fondo que en los niveles medios. Una vez deslatradas de sus sedimentos, estas aguas livianas alcanzan su posición de equilibrio en la superficie.

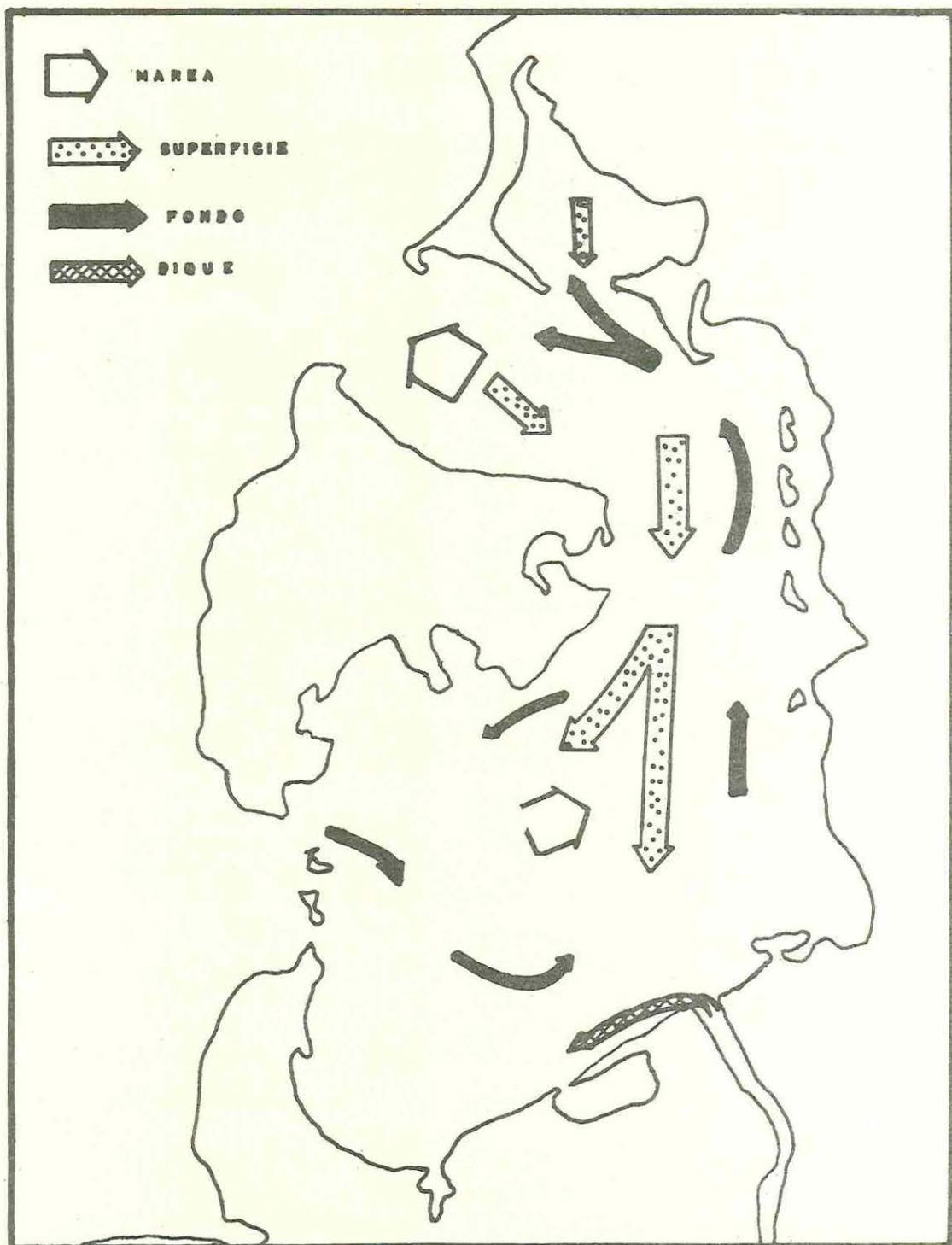
Una vez que regresan los vientos Alisios, la predominancia de las aguas del Dique disminuyen; las aguas vuelven a tener su salida por Bocachica para encontrarse de nuevo contra los flancos Sur de la Bahía.

La desaparición de estas aguas del Dique se hace por mezcla progresiva con las aguas de la Bahía, lo que tiene como resultado una merma en la salinidad global de las aguas. Pero la densidad observada en la época de los vientos ($\sigma = 23.5$) es mucho más elevada que la densidad más fuerte encontrada en la época de lluvia ($\sigma < 22.5$). Esto comprueba la existencia de aportes de aguas del mar dentro de la Bahía.

- c. Llegadas de agua al mar. Debido a la topografía de la Bahía de Cartagena los aportes de agua pueden efectuarse por Bocachica hasta una profundidad de 20m y por Bocagrande hasta una profundidad máxima de 2m.

En mar afuera las masas de agua salada se encuentran por debajo de las capas de agua más livianas que salen de la Bahía. Aún a los 10m de profundidad las aguas marinas no penetran por Bocachica, pero a los 15m ya alcanzan el centro de la Bahía. En la parte Sur siguen hundiéndose por debajo de 15m mientras tanto al Norte se encontraron desde el fondo hasta los 5m (Fig. 16).

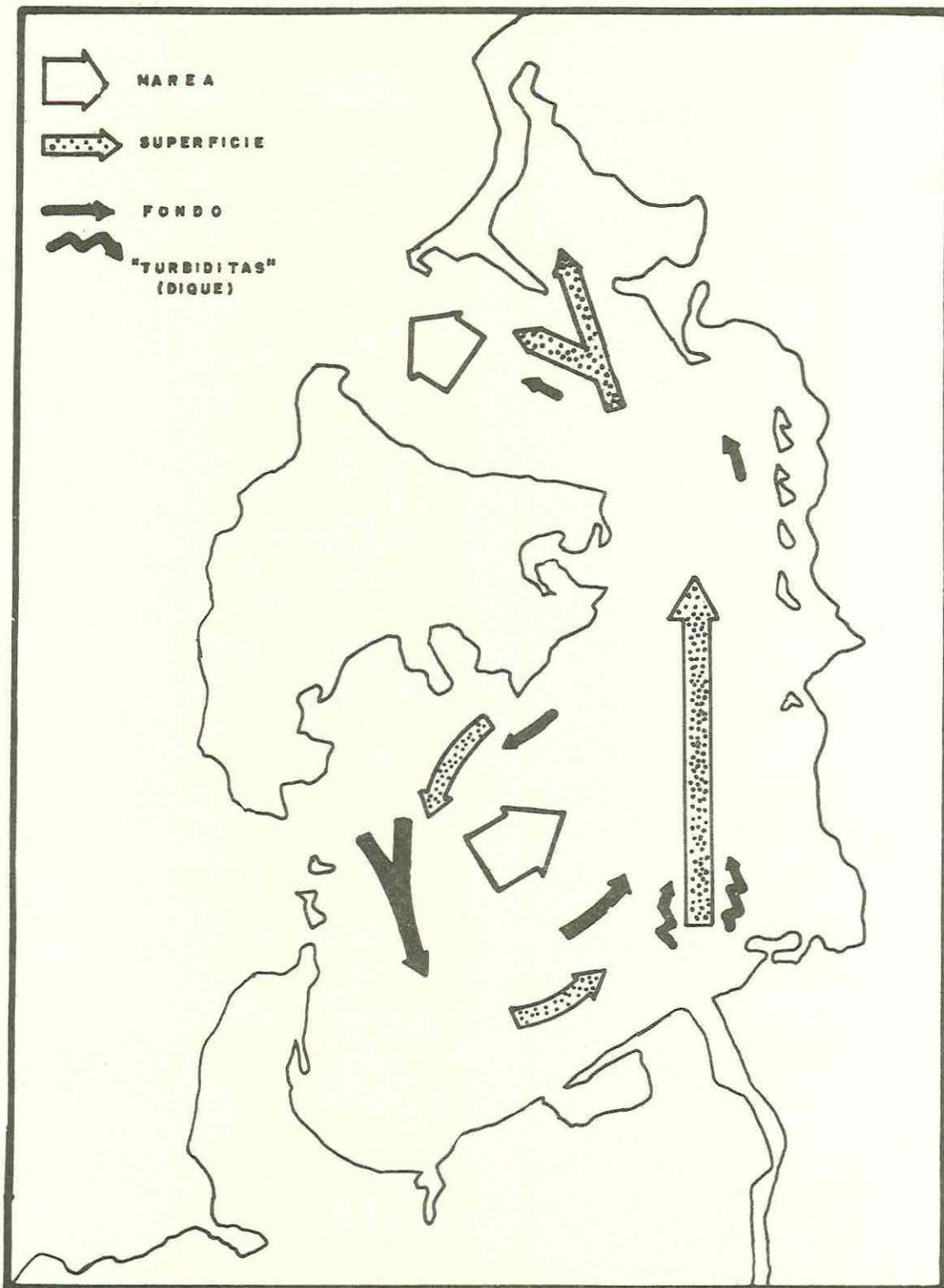
BAHIA DE CARTAGENA



CIRCULACION ESQUEMATIZADA DE LAS AGUAS
— EPOCA DE VIENTOS —

FIG. 12

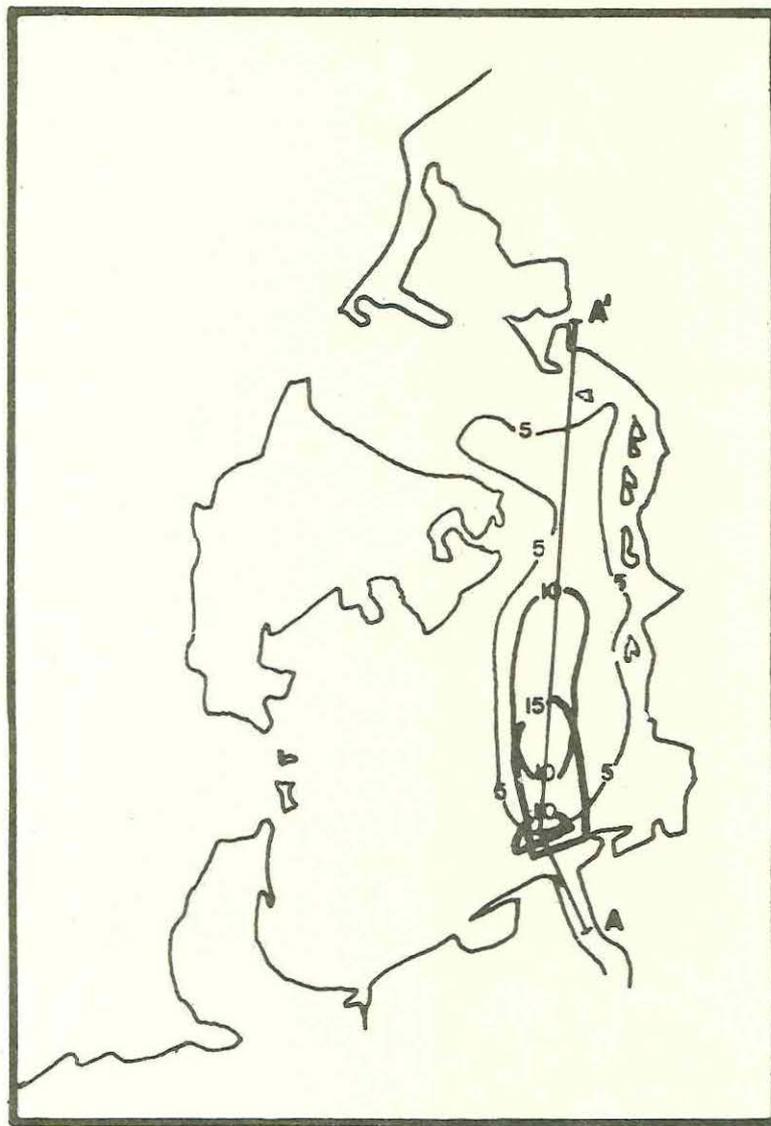
BAHIA DE CARTAGENA



CIRCULACION ESQUEMATIZADA DE LAS AGUAS
— EPOCA DE LLUVIA —

FIG. 14

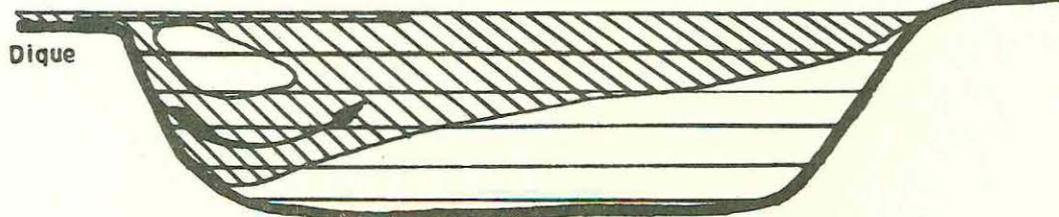
BAHIA DE CARTAGENA



TOPOGRAFIA ISOPIGNEA 10⁵ EPOCA DE LLUVIA

A - SUR

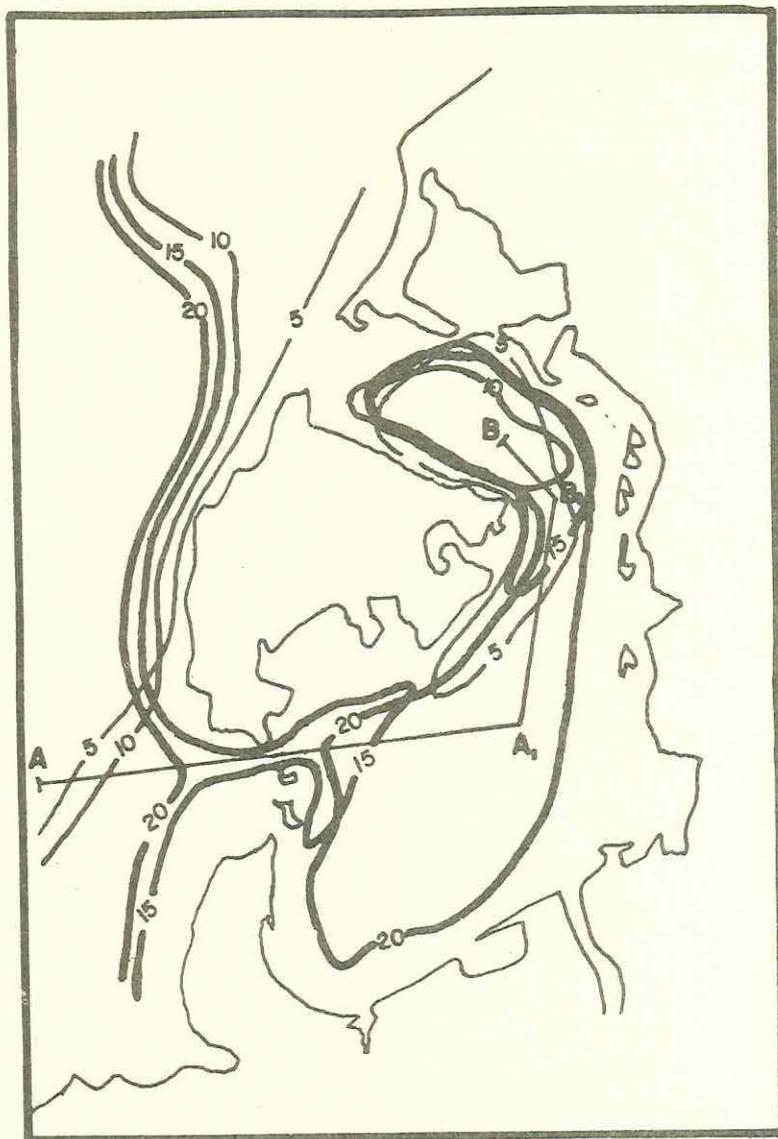
A' NORTE



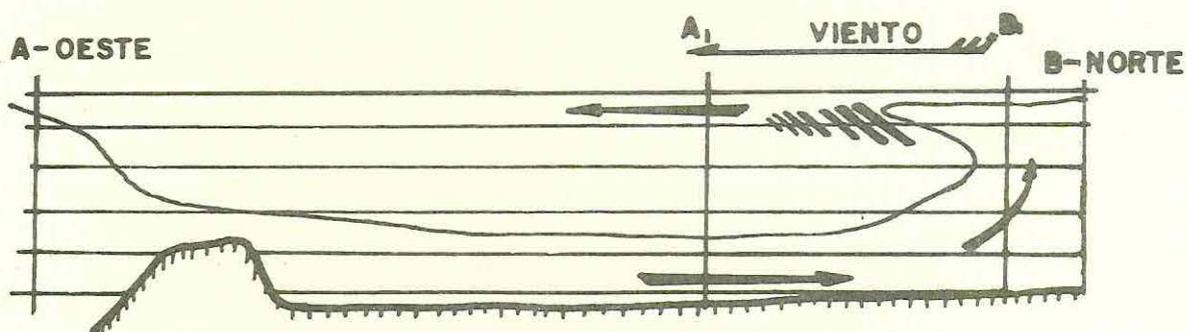
CORTE : A A'

FIG. 15

BAHIA DE CARTAGENA



TOPOGRAFIA ISOPIGNEA 23⁵ — EPOCA DE VIENTOS



CORTE : A A, B, B

FIG. 16



El mecanismo del movimiento de las aguas de la Bahía deducible de las observaciones es el siguiente: empujadas por los vientos, las aguas superficiales son rechazadas hacia el Sur de la Bahía (Fig. 14), lo que induce una circulación convectiva con un regreso hacia el Norte por el fondo.

Una vez que estas aguas densas llegan a los 5m la circulación superficial las toma a cargo y las barre hacia el Sur. Es entonces que colocadas en desequilibrio por encima de agua más livianas, se mezclan con ellas, aumentando poco a poco el valor de la salinidad en la Bahía.

En el sector de Bocachica las aguas de superficie que se escapan de la Bahía, acentúan estos aportes profundos del mar afuera.

Para delimitar mejor estas entradas de agua de mar hay que precisar, además de la morfología de las bocas, las variaciones promedio de la salinidad en toda la Bahía.

En base a las variaciones anuales de salinidad, las comparaciones entre los datos obtenidos afuera de Tierra Bomba, y en las bocas de acceso a la Bahía permite determinar las capas de agua susceptibles de penetrar por Bocachica y Bocagrande (Fig. 17).

Las masas de agua afuera de Tierra Bomba, siendo cercanas al continente, acusan variaciones estacionales parecidas a las de la Bahía.

En la Fig. 18, se agrupó la salinidad promedio de la Bahía y las salinidades de aguas susceptibles de entrar por Bocachica y Bocagrande.

Sobresale nítidamente que las aguas al frente de Bocagrande están siempre menos saladas que el promedio de las aguas de la Bahía.

Parece entonces muy probable que solo los aportes de Bocachica pueden aumentar la salinidad promedio de la Bahía.

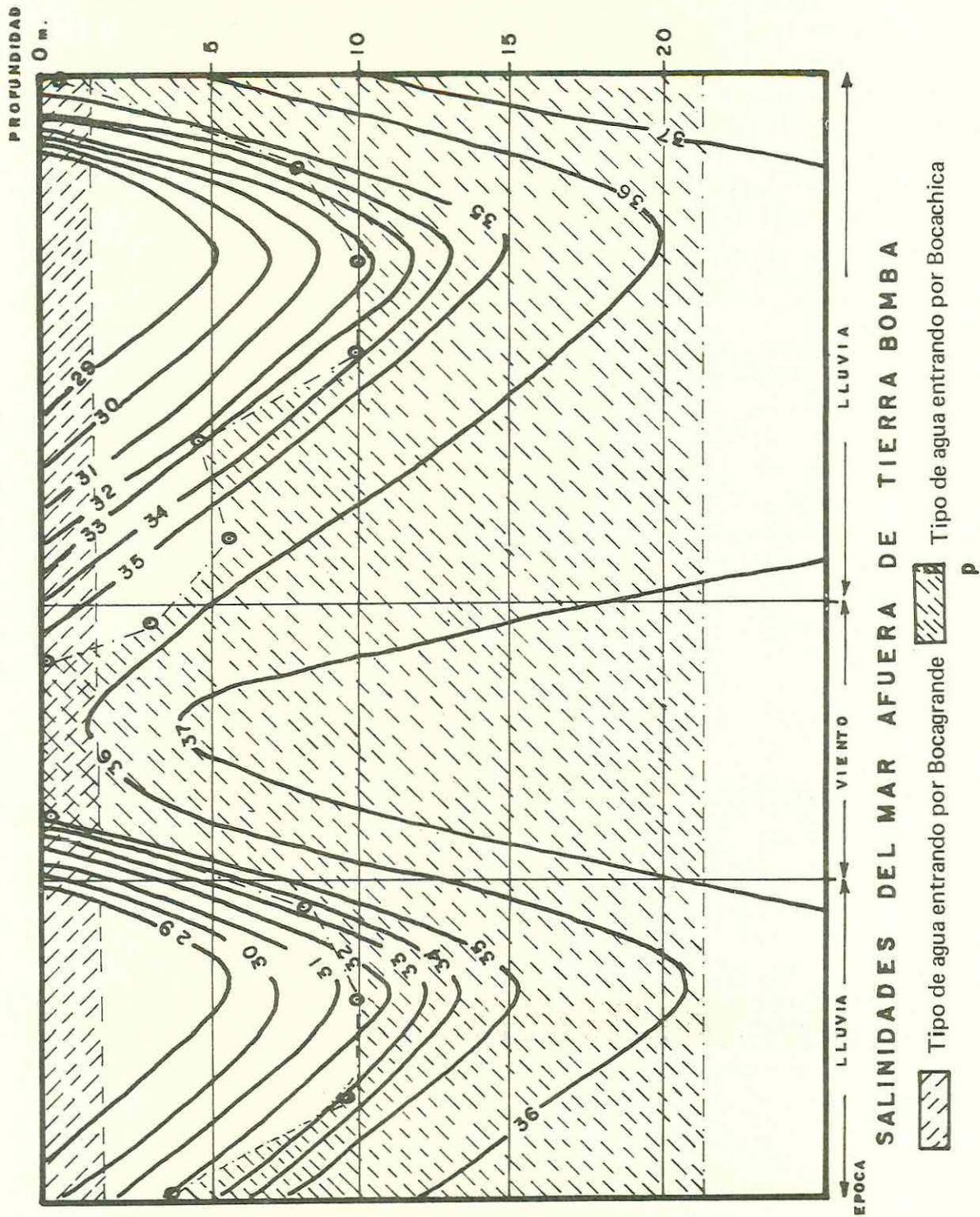
Por otra parte, la salinidad promedio de la Bahía empieza a aumentar antes que se desarrolle la época de los vientos (Fig. 18), se puede entonces pensar que existe otro "motor" para la dinámica de las masas de agua que permita también un aporte de aguas saladas.

La marea, aunque de manera débil, puede tener esa acción no despreciable. La disimetría de las dos bocas puede generar, en respuesta a las variaciones de nivel relativas a la marea, una corriente resultante orientada de Sur hacia el Norte saliendo esencialmente por Bocagrande. Estudios de corrientes más completos permitirán comprobar dicha hipótesis.

d. **Grandes rasgos de la dinámica en la Bahía.** La dinámica de las masas de agua en la Bahía de Cartagena está relacionada esencialmente con los tres factores siguientes:

- En época de lluvia el canal del Dique tiene mucha influencia sobre los movimientos superficiales y genera una capa de agua liviana y salobre que tiene desplazamiento general hacia el Norte.
- El viento por su continuidad y velocidad, favorece el braceaje profundo y completo de las aguas de la Bahía acentuando la llegada de agua al mar por el fondo (Bocachica). Se observa entonces un movimiento superficial de dirección global hacia el Sur y una circulación profunda hacia el Norte.

BAHIA DE CARTAGENA



- La marea que, por la disimetría de las bocas, desempeña el papel de una bomba permanente que atrae aguas saladas profundas en la Bahía, de Bocachica hacia Bocagrande (Fig. 19).

3. 2. CARACTERISTICAS QUIMICAS

- a. **Oxígeno.** El contenido de oxígeno en la superficie del mar, está influenciado por la interacción con la atmósfera, los procesos de fotosíntesis, renovación y mezcla.

La saturación del Oxígeno esta relacionada con la temperatura, la salinidad del agua y la dinámica de la misma.

Para las dos épocas, húmedas (Agosto a Noviembre) y seca (Diciembre a Abril), la distribución de los valores superficiales, muestran un alto contenido de Oxígeno, y su rango estuvo entre 4.0 a 5.0 ml/L.

La distribución vertical de Oxígeno en el perfil estudiado para la época húmeda desciende con la profundidad, desde un valor de 5.0 a 1.0 ml/L (Figs. 20 y 21), mientras que la distribución vertical para la época seca desciende desde un valor de 5.0 a 2.5 ml/L (Figs. 22 y 23).

- b. **Nutrientes**

- 1) **Amonio.** El primer estado de mineralización del Nitrógeno orgánico es el amonio, cuya presencia es característica de la descomposición de materia orgánica nitrogenada. Los iones amonio son directamente utilizados por ciertas plantas, pero la mayor parte es oxidada por acción química, fotoquímica y bacteriana a nitratos, y luego a nitratos (Margalef, 1977).

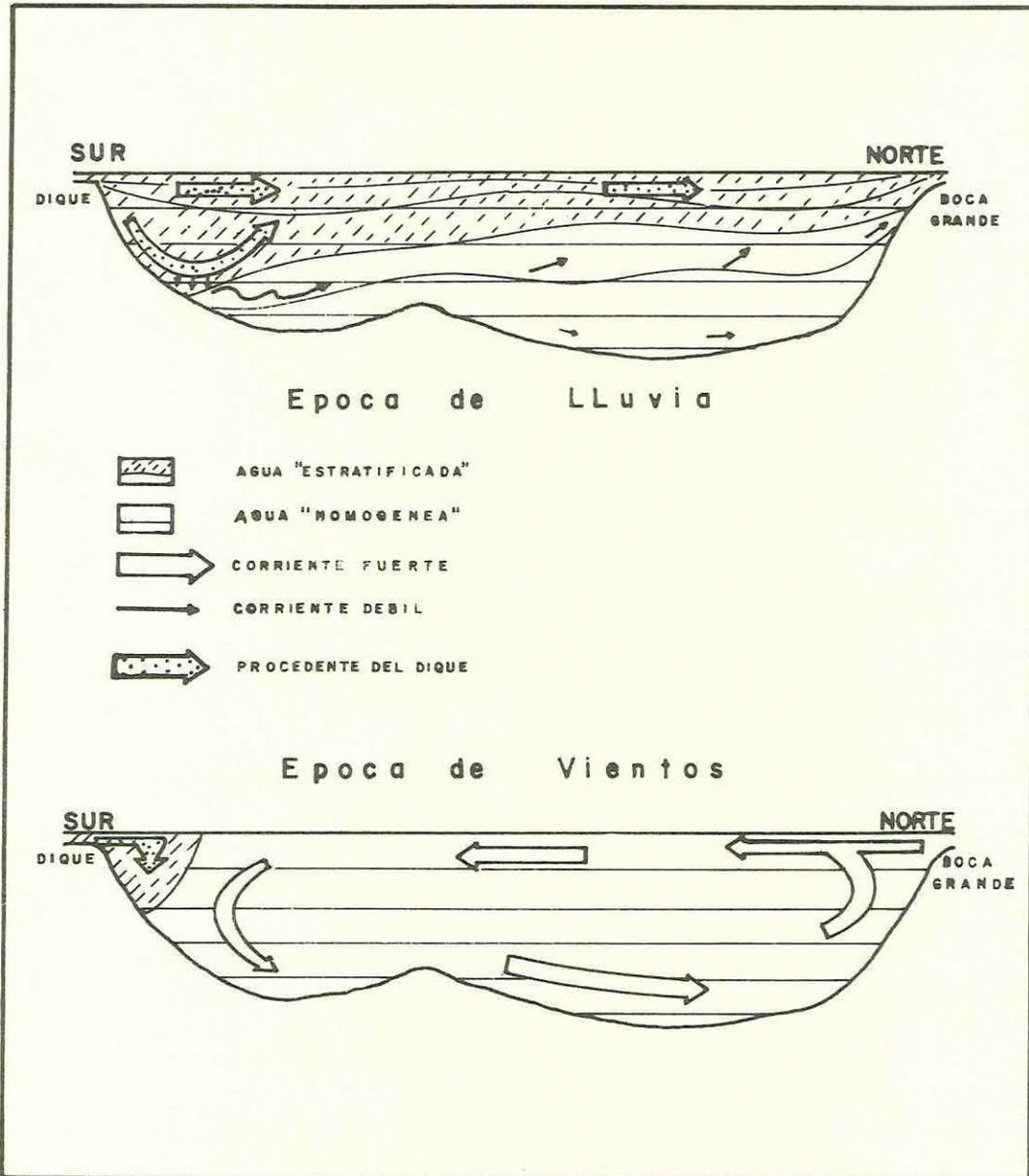
En la Bahía de Cartagena, el contenido de amonio en la capa superficial de 0.5m para la época seca, se encuentra entre un rango de 1.0 - 17.0 $\mu\text{g. at. N-NH}_4^+$ /L, y para la época húmeda entre 0.5 - 15 $\mu\text{g. at. N-NH}_4^+$ /L.

En la época seca (Diciembre a Abril) (Fig. 24), los valores más bajos se encuentran en el sector de Bocagrande, el valor mínimo de 1.0 $\mu\text{g. at. N-NH}_4^+$ /L, fué detectado en la estación 12, el máximo se registró hacia el SE de la Bahía en la estación 31; otros centros de alta concentración se ubican hacia la desembocadura del Canal del Dique, entrada de Bocachica (estación 21), y en la Bahía las Animas (estaciones 1 y 2).

Para la época húmeda (Agosto a Noviembre) (Fig. 25), los valores mínimos se localizan en la entrada de Bocachica, y los máximos vuelven a detectarse en el área Suroriental de la Bahía; y los centros de alta concentración se ubican en las estaciones 30 y 35, (Fig. 25), con concentraciones de 15.0 y 9.0 $\mu\text{g. at. N-NH}_4^+$ /L respectivamente.

Si observamos comparativamente las gráficas de distribución horizontal (Figs. 24 y 25), se aprecia que en la época seca los valores son algo superiores a los de la época húmeda, también en esta última desaparecen los centros de alta concentración (detectados en la época seca), en cambio aparece uno nuevo localizado hacia la estación 8. También se observa como característica común en las dos épocas que los máximos valores de amonio, se ubican en el sector que comprende las estaciones 31, 32, 35 y 36.

BAHIA DE CARTAGENA



CIRCULACION ESQUEMATIZADA DE LAS AGUAS

FIG. 19

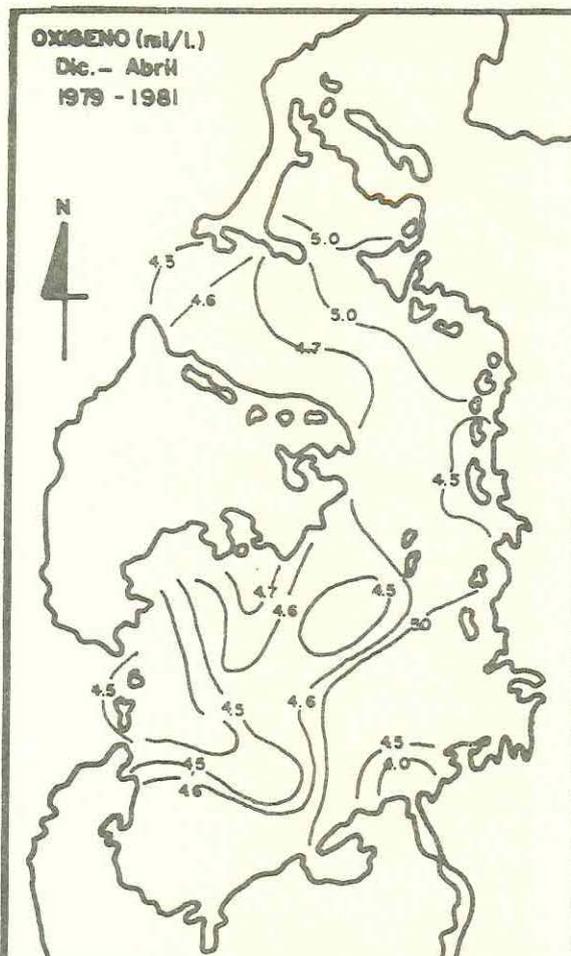


FIG. 20

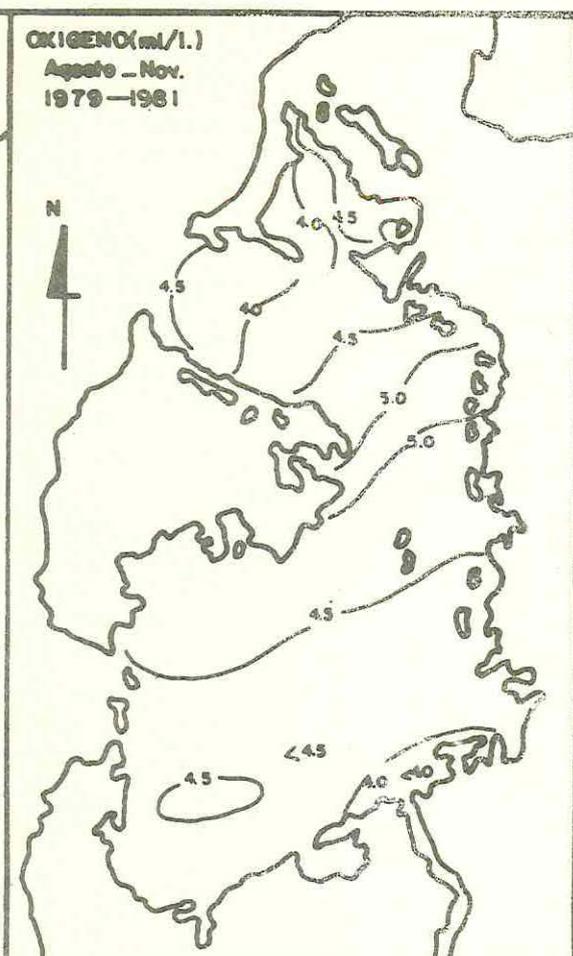


FIG. 21

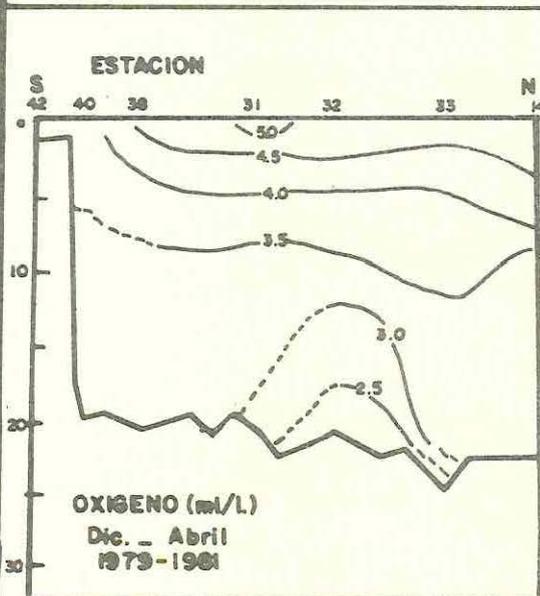


FIG. 22

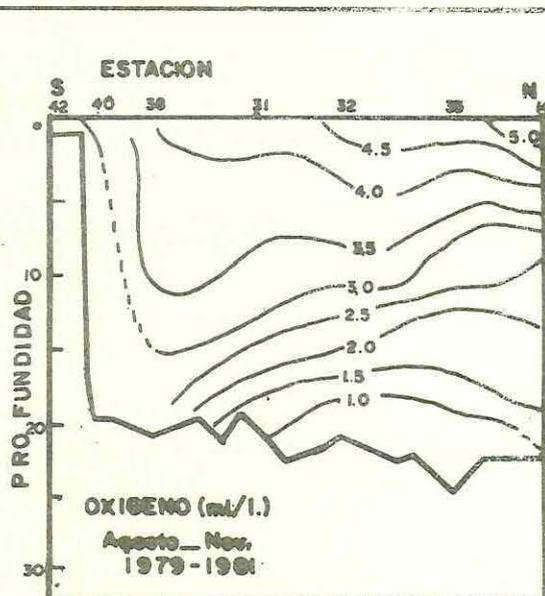


FIG. 23

En los perfiles de las (Figs. 26-27), correspondientes a la época seca y húmeda respectivamente, se nota el decrecimiento significativo en concentraciones que se experimentan en la época húmeda respecto a la seca; pero se conservan algunas características comunes así: en el fondo para la estación 32 se ubica un centro de máxima concentración, y las concentraciones medias se sitúan en las capas intermedias, y las altas en las capas superficiales y de fondo.

- 2) Nitritos. Aunque el Nitrito se considera más o menos tóxico puede ser asimilado por el fitoplancton en presencia de luz, y a las bajas concentraciones a que suele encontrarse. El Nitrito proviene de la oxidación del Amonio o de la reducción del Nitrato, en consecuencia indica la inestabilidad del sistema (Guillen, 1972).

A nivel superficial el contenido de Nitritos en la Bahía de Cartagena, está entre 0.2 y 2.0 $\mu\text{g. at. N-NO}_2^-/\text{L}$ para la época seca (Diciembre a Abril) (Fig. 28) y entre 0.1 - 0.5 $\mu\text{g. at. N-NO}_2^-/\text{L}$ para la época húmeda (Agosto a Noviembre) (Fig. 29).

Como se aprecia, los valores para la época seca son sensiblemente superiores a los registrados en época húmeda y presentan para la primera dos centros de alta concentración; uno localizado en la estación 4, Bahía de las Animas, y el otro al Sur de la Bahía en la estación 39, donde se registran concentraciones hasta de 2.38 y 0.8 $\mu\text{g. at. N-NO}_2^-/\text{L}$ respectivamente.

En la época húmeda las concentraciones superiores se ubican al Este y Sureste de la Bahía, y los mínimos en el sector de Bocachica.

El perfil vertical (Fig. 30), para la época seca, presenta una capa hasta los 5m de profundidad aproximadamente, donde se hallan concentraciones hasta de 0.5 $\mu\text{g. at. N-NO}_2^-/\text{L}$. Para las capas intermedias entre 5-15m de profundidad, se experimenta un incremento en las concentraciones hasta valores algo más de 1.0 $\mu\text{g. at. N-NO}_2^-/\text{L}$. En las capas de fondo se encuentra nuevamente una disminución de valores de concentración.

Durante la época húmeda, al Sur de la estación 38 y a una profundidad de - 5m, se ubica un centro de altas concentraciones de Nitrito, que experimentan luego una disminución al difundirse hacia el Norte y a las capas más profundas. De una forma similar en el Norte y a los 10m de profundidad, el perfil en consideración muestra concentraciones altas que luego disminuyen hacia el Sur, y también hacia las capas más profundas (Fig. 31).

La parte central del perfil presenta concentraciones superiores en las capas intermedias (5 - 15m), y bajas en las capas de fondo y superficie.

- 3) Nitratos. La mayor parte de Nitrógeno en el mar, se halla en forma de iones Nitratos, que es precisamente la forma más oxidada del Nitrógeno. Los Nitratos, son directamente asimilados por las algas o reducidos por acción bacteriana a Nitritos (Ivanoff, 1972).

En la Bahía de Cartagena, para la época seca (Fig. 32), las concentraciones se hallan en un rango de 1.0 - 7.0 $\mu\text{g. at. N-NO}_3^-/\text{L}$, y para la húmeda (Fig.

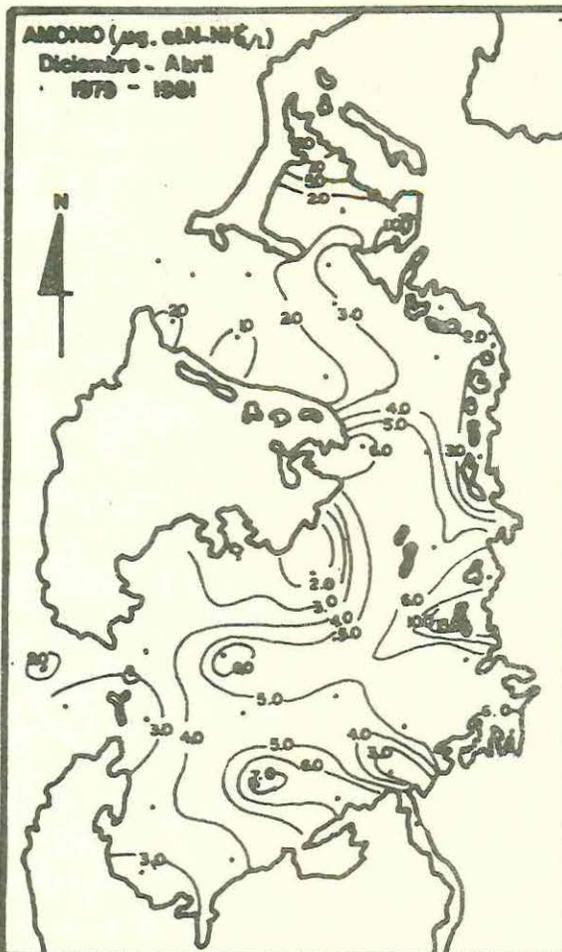


FIG. 24

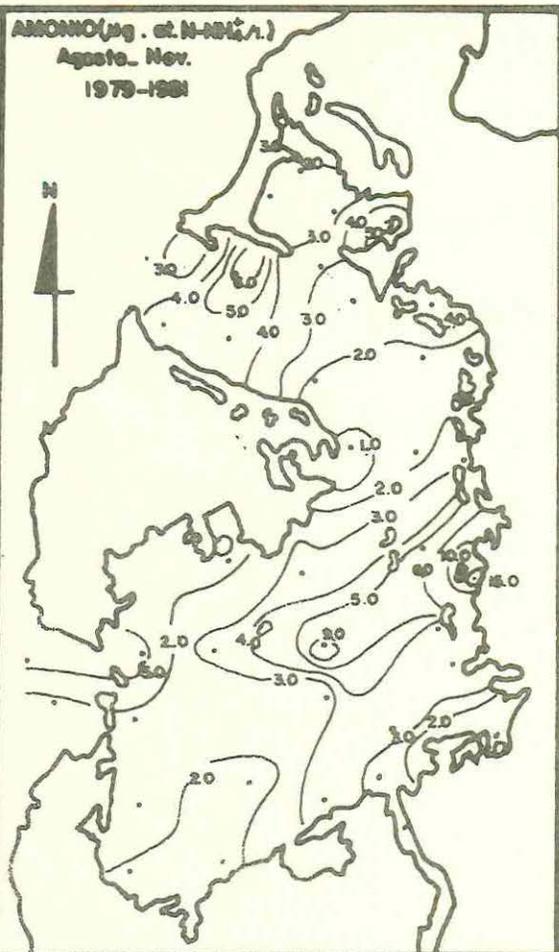


FIG. 25

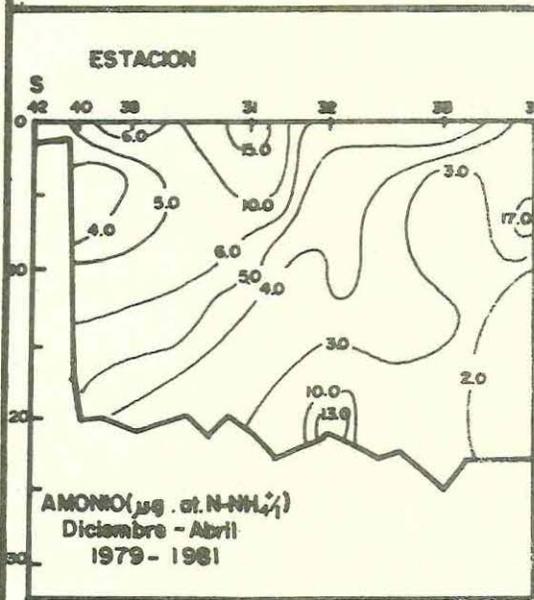


FIG. 26

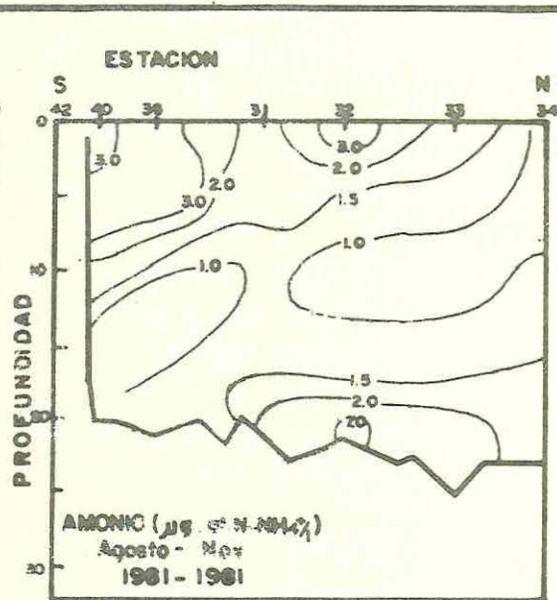


FIG. 27

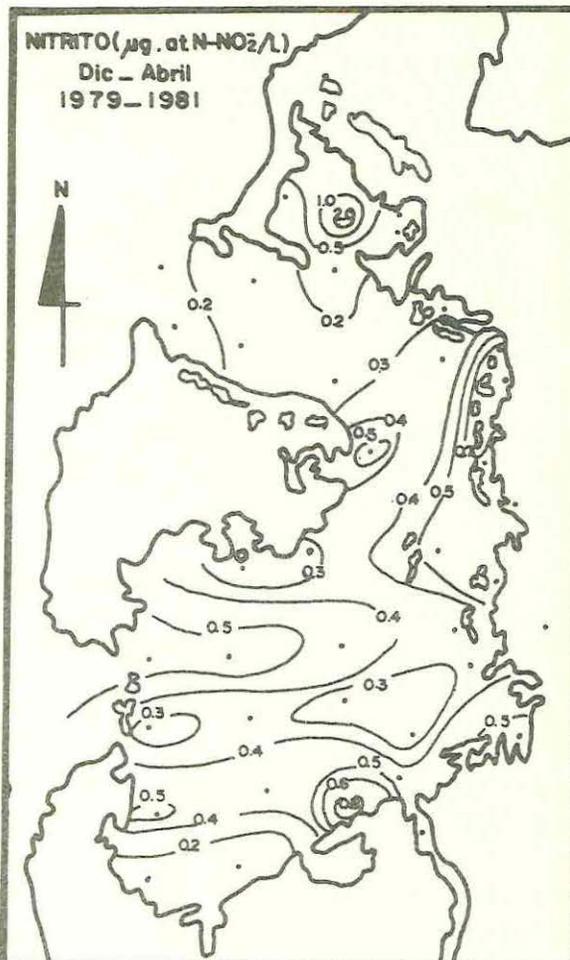


FIG. 28

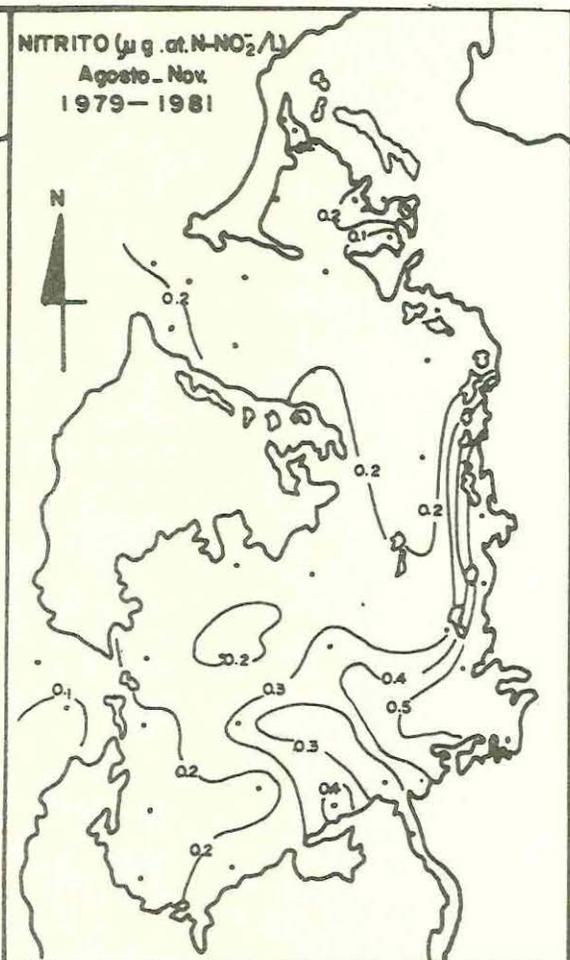


FIG. 29

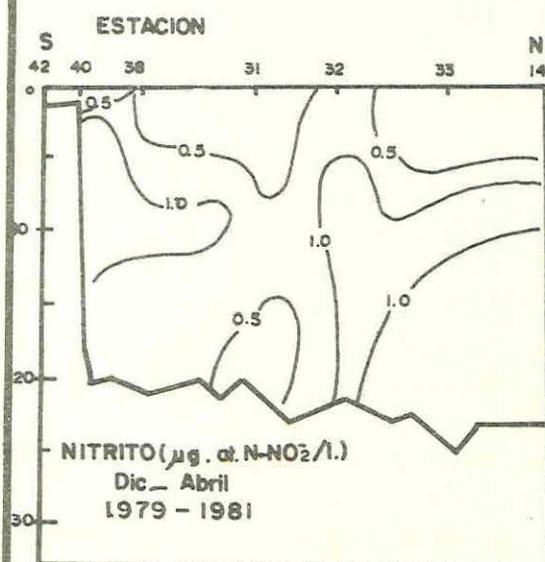


Fig. 30

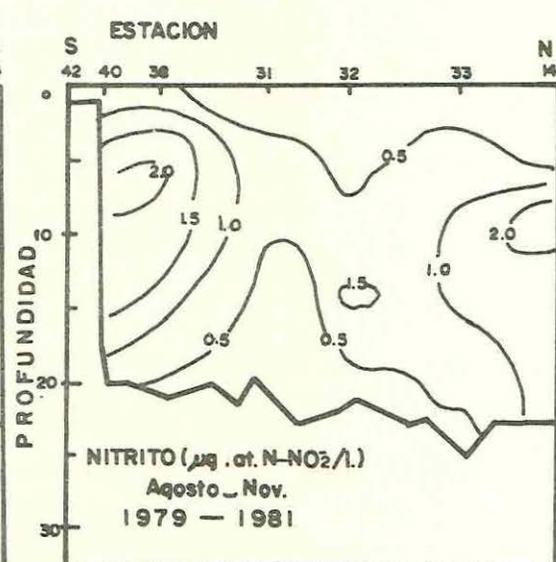


Fig. 31

33), están entre 0.5 - 12.0 $\mu\text{g. at. N-NO}_3^-/\text{L}$, a nivel superficial.

Los valores mínimos para la época seca se registraron hacía el Sur de la Isla Tierra Bomba, sobre la estación 20, y para la húmeda se registraron en el sector de Bocachica con concentraciones de 1.0 y 0.5 $\mu\text{g. at. N-NO}_3^-/\text{L}$ respectivamente.

Los valores máximos para la época seca se encuentran en tres sectores así: al Noreste de Tierra Bomba, desembocadura del Canal del Dique, y al Sureste de la Bahía sobre las estaciones 30 y 31.

Para la época húmeda, solamente se registra un punto de máxima concentración, ubicado frente a la desembocadura del Canal del Dique, sobre la estación 29.

Se observaron además, durante la época seca, concentraciones altas sobre los sectores de Bocagrande y Bahía de las Animas, mientras que en la época húmeda los valores altos se detectan cerca al Canal del Dique.

Durante la época seca (Fig. 34), la distribución vertical del perfil en consideración, muestra concentraciones que disminuyen hasta cerca los 10m posteriormente se experimenta un aumento pequeño. A partir de la estación 31 hacía el Norte se efectúa un aumento con la profundidad, excepto para la estación 33, donde se registra un anillo hacía una profundidad de 10m, con un valor de 5.0 $\mu\text{g. at. N-NO}_3^-/\text{L}$. Para la época húmeda, en el fondo de la estación 31, se presenta un centro de máxima concentración (6.0 $\mu\text{g. at. N-NO}_3^-/\text{L}$), el cual alcanza a influenciar un vasto sector por debajo de los 10m de profundidad, entre las estaciones 33 y 38 (Fig. 35).

- 4) Silicatos: En el contenido de silicatos que se detectó en la superficie de las aguas de la Bahía se encontró una variación dependiendo de la época.

En la época seca (Diciembre a Abril) (Fig. 36), se encontró un rango de 115.0 a 10.0 $\mu\text{g. at./L}$ en la distribución superficial y en la época húmeda (Agosto a Noviembre) (Fig. 37), un rango de 221 a 45 $\mu\text{g. at./L}$ en la distribución superficial.

En las dos épocas, tanto seca como húmeda, la distribución superficial muestra un aumento de concentración en la parte del Canal del Dique, y una disminución al centro de la Bahía; la mayor concentración de silicatos se encuentra en la Boca del Canal del Dique, estaciones 40 y 42.

La distribución vertical (Figs. 38 y 39) va disminuyendo con la profundidad, encontrándose los mayores valores en la época húmeda 220.5 $\mu\text{g. at./L}$, en la parte media a 10 m, muestra un incremento con la profundidad hasta un valor de 70 $\mu\text{g. at./L}$.

En la época seca, se encontraron los mayores valores 115.0 $\mu\text{g. at./L}$, en la estación 40 frente al canal del Dique, disminuye con la profundidad hasta la parte media, para luego incrementarse el valor hasta el 45 $\mu\text{g. at./L}$.

- 5) Fosfatos. Las células fitoplanctónicas se desarrollan en base al fosfato inorgánico que se encuentra disponible en el ambiente marino.

En la distribución superficial para la época seca, se encontró un rango de 2.0

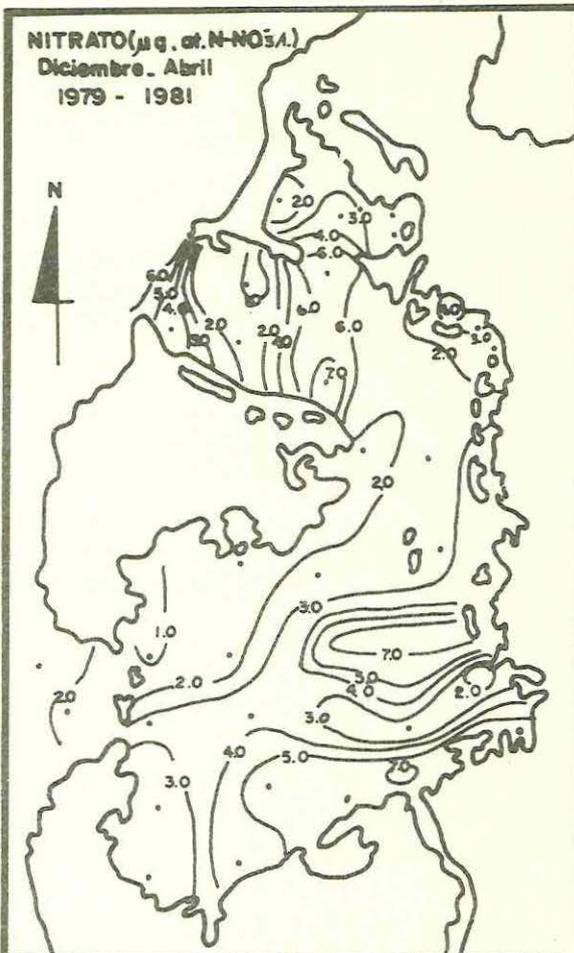


Fig. 32

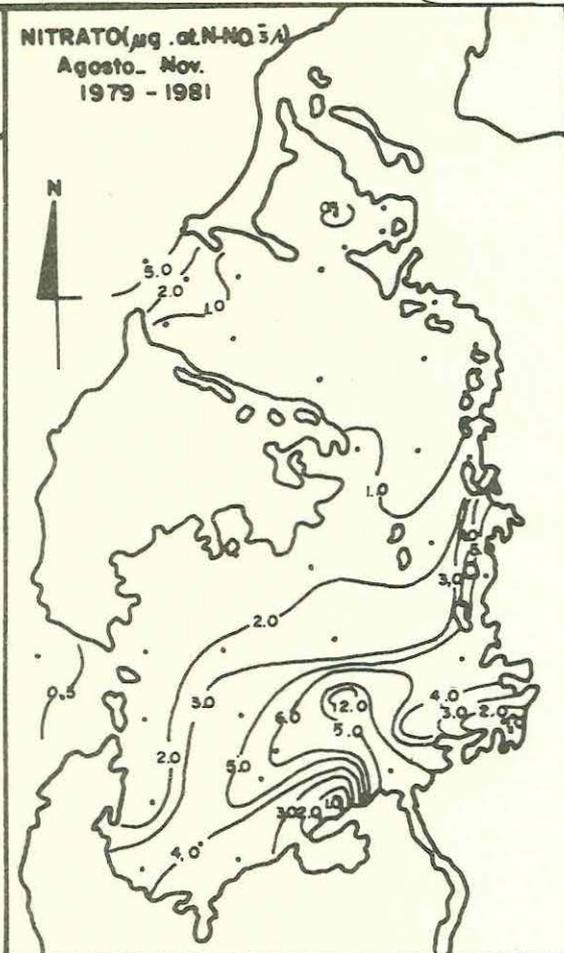


Fig. 33

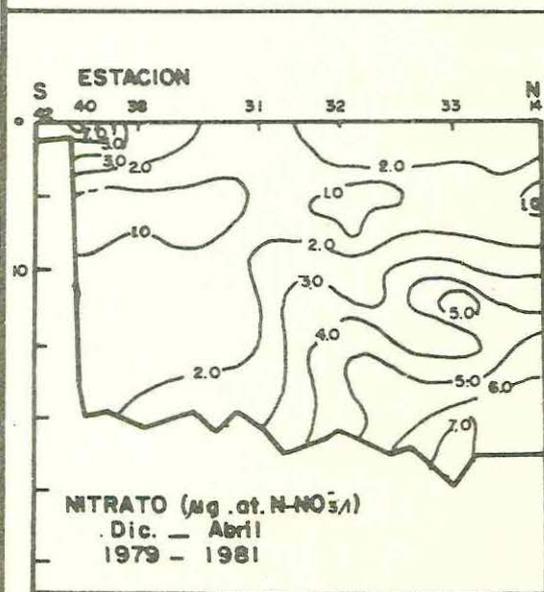


FIG. 34

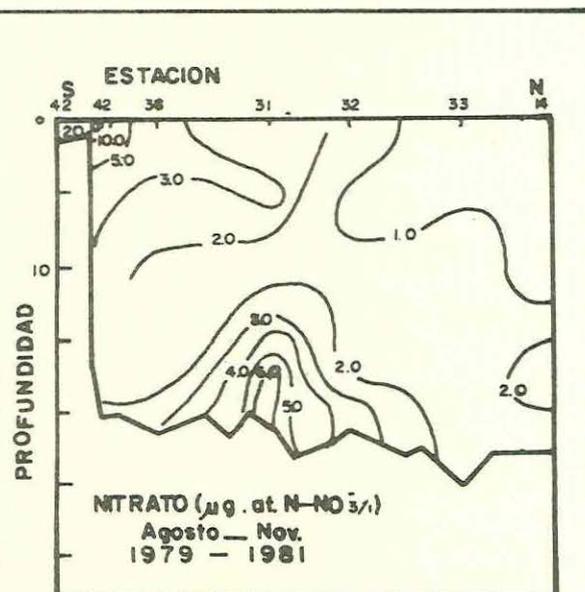


Fig. 35

a $0.5 \mu\text{g. at.P} - \text{PO}_4^{3-}/\text{L}$ (Figs. 40 y 41), mientras que en la época húmeda el rango es de $1.0 - 0.5 \mu\text{g. at.P} - \text{PO}_4^{3-}/\text{L}$.

La distribución vertical de fosfato, muestra un incremento con la profundidad en la época húmeda alcanzando valores de $4.0 \mu\text{g. at.P-PO}_4^{3-}/\text{L}$ por debajo de los 15m de profundidad; la disponibilidad de fosfatos es mayor en el período Agosto Noviembre, (Fig. 42).

En la época seca se alcanzó en la estación 38 una concentración de $5.0 \mu\text{g. at.P-P} - \text{O}_4^{3-}/\text{L}$, pero en algunas otras, teniendo la misma profundidad, solo alcanzó hasta $3.0 \mu\text{g. at.P-P} - \text{O}_4^{3-}/\text{L}$, (Fig. 43).

c. Metales Pesados.;

El estudio de los metales pesados, es de gran importancia en todo problema que se relacione con la contaminación, si consideramos la toxicidad que algunos de estos metales pesados tienen sobre los organismos.

1) Mercurio total en agua: En agua marina se considera que el nivel normal de Mercurio se encuentra entre 0.1 y $0.3 \mu\text{g. Hg/L}$, generalmente en forma del anión complejo soluble $(\text{Hg Cl}_4)_2$ aunque también se le puede encontrar en forma orgánica absorbido en las partículas de sedimento.

El Mercurio puede ser acumulado por los organismos en forma de Metil Mercurio, que es la forma orgánica a la cual puede pasar el Mercurio Metálico en el ambiente marino.

En la época seca (Diciembre a Abril), (Fig. 44) se observaron las máximas concentraciones en el sector Sur, especialmente en la estación 37 con niveles de concentración de $2.0 \mu\text{g. Hg/L}$, y en la estación 31 con concentraciones de $1.4 \mu\text{g. Hg/L}$.

Observando la distribución horizontal para la época húmeda (Agosto- Noviembre), (Fig. 45), se aprecian tres grandes focos de dispersión de Mercurio en aguas superficiales, que son: el primero y mayor en la estación 3, con niveles promedio de $1.445 \mu\text{g. Hg/L}$; el segundo en la estación 36 con $1.180 \mu\text{g. Hg/L}$ y el tercero en la estación 40 en la desembocadura del Canal del Dique.

Es importante anotar que las mayores concentraciones se encuentran en la parte Suroriental de la Bahía, es decir, la Zona Industrial de Mamonal y el Canal del Dique.

El análisis de un perfil vertical, (Fig. 46 y 47), (a lo largo de la Bahía de Sur a Norte), permite observar que el Canal del Dique en esta época es el principal factor de la distribución de Mercurio por la gran cantidad de partículas en suspensión que aporta. Existe también un transporte desde el fondo a la superficie, es decir de los sedimentos al agua, especialmente en sitios como la estación 33, este transporte es grandemente beneficiado por los cambios en características físico-químicas de la interfase sedimento-agua.

2) Cobre en solución: El Cobre es un elemento indispensable para la vida, pero cuando las concentraciones se hacen muy elevadas, se convierte en tóxico de gran peligro para los organismos acuáticos. Los niveles normales pueden estar por debajo de 0.05 mg/L , para agua de mar (Mekee), nivel máximo permisible, mientras que el nivel normal es de $0.0003 - \text{mg/L}$. (Goldberg).

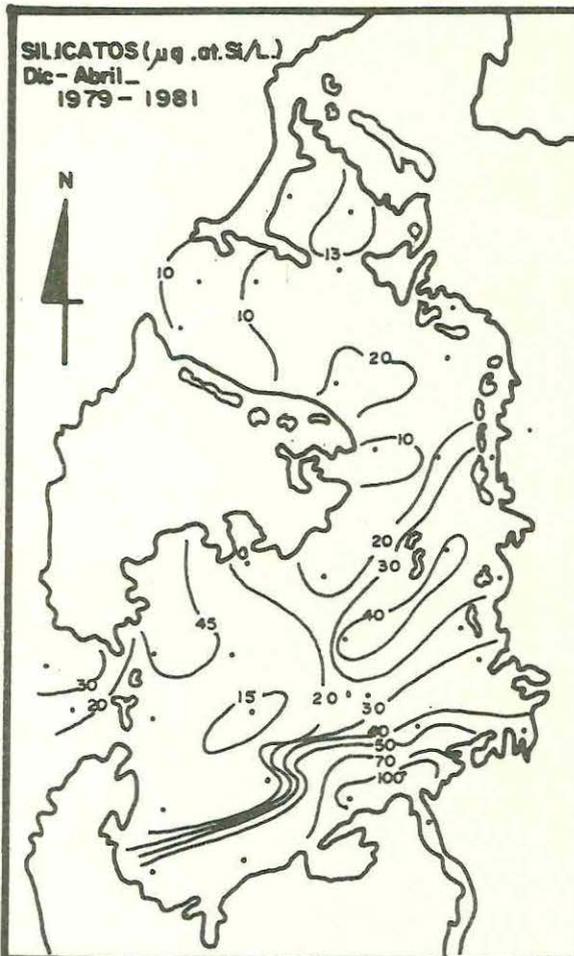


Fig. 36

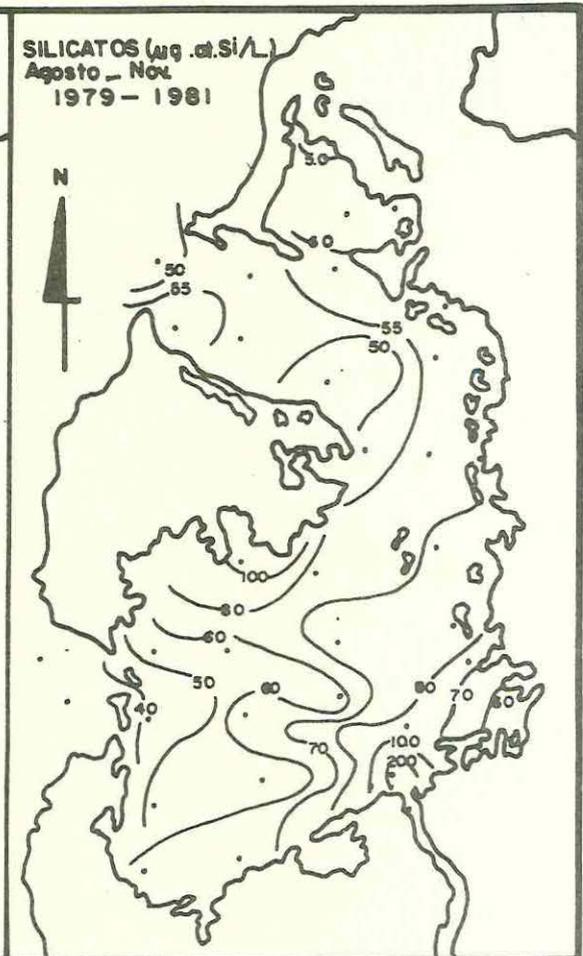


Fig. 37

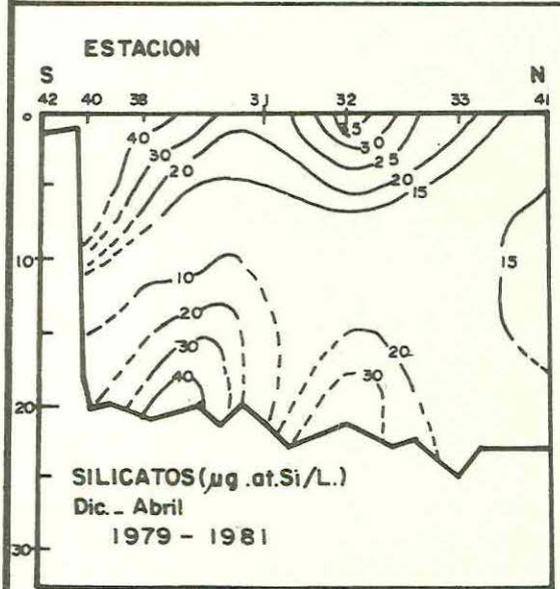


Fig. 38

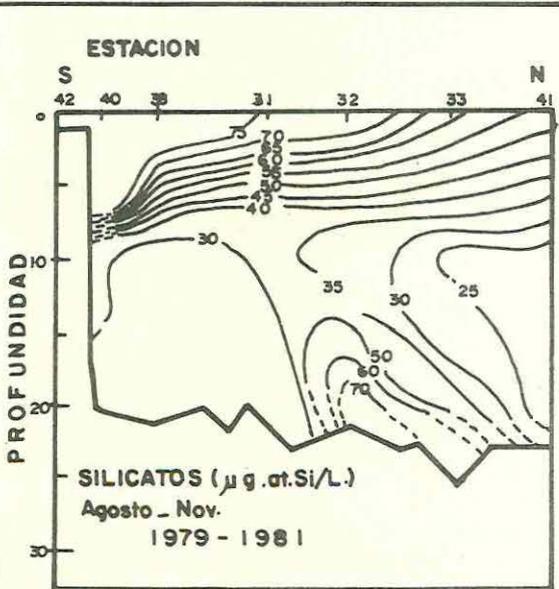


Fig. 39

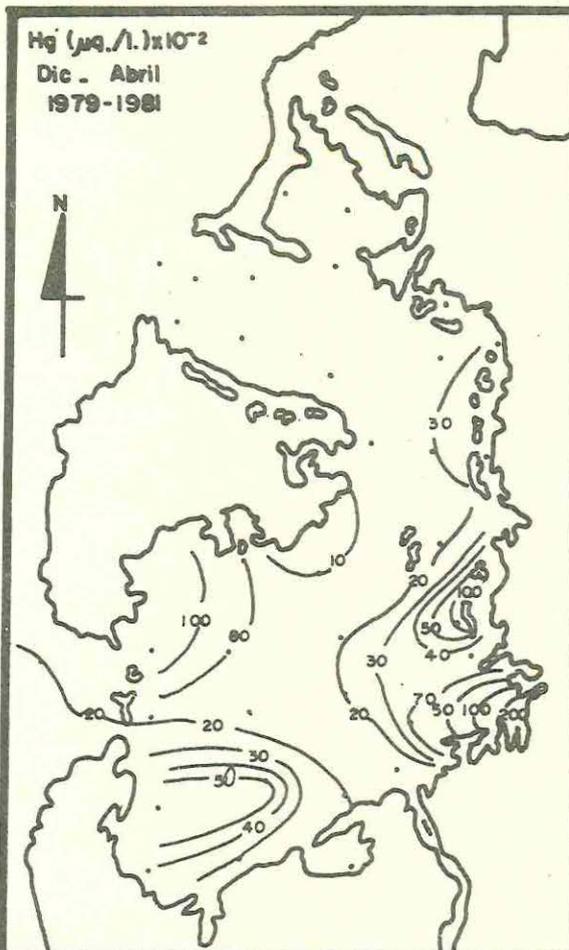


Fig. 44

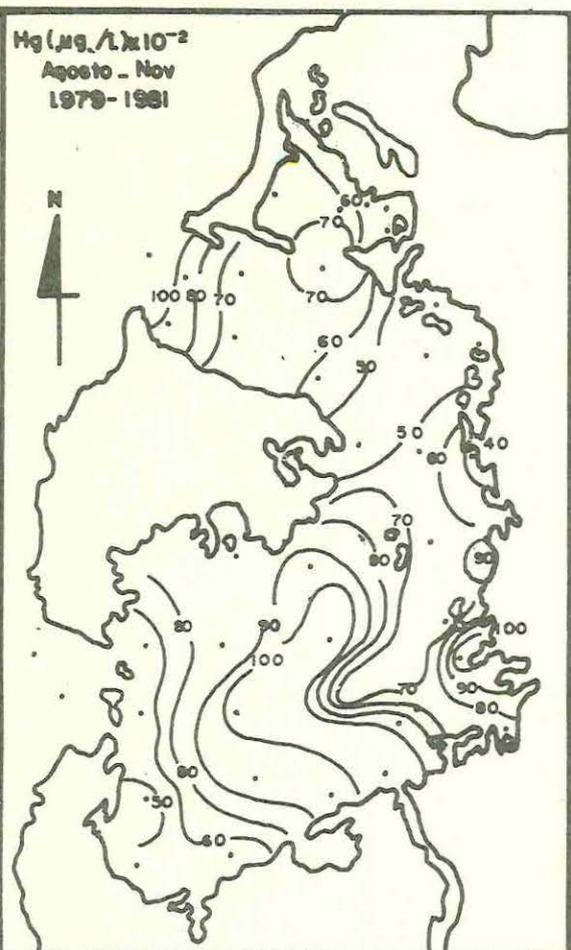


Fig. 45

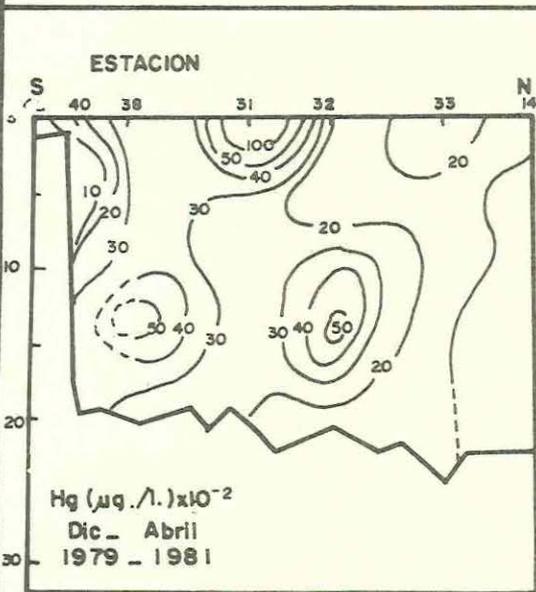


Fig. 46

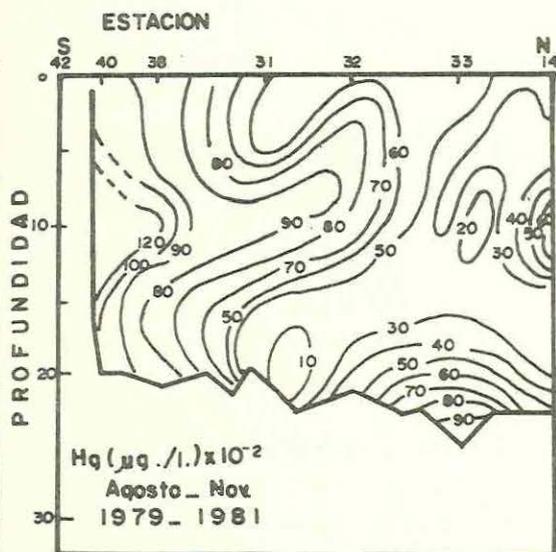


Fig. 47

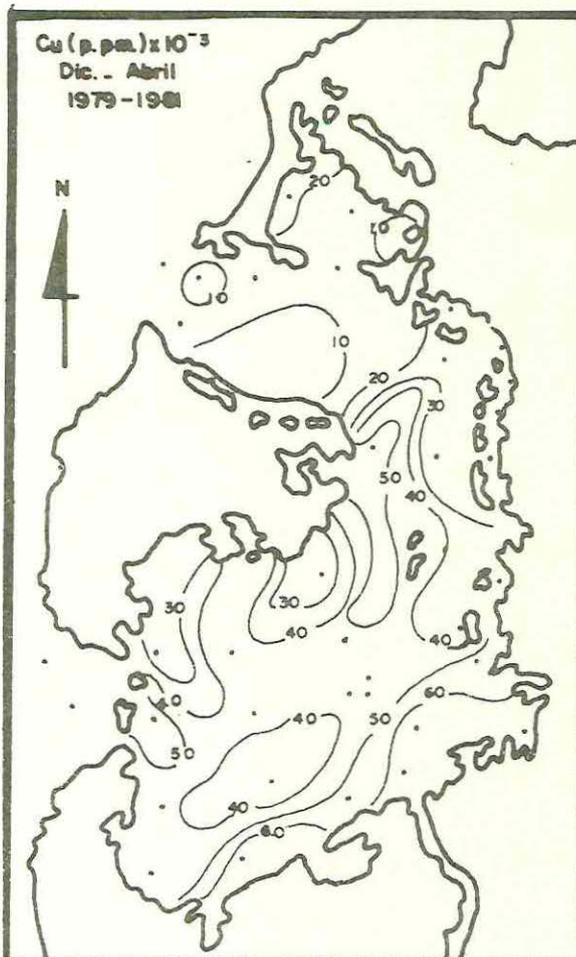


Fig. 48

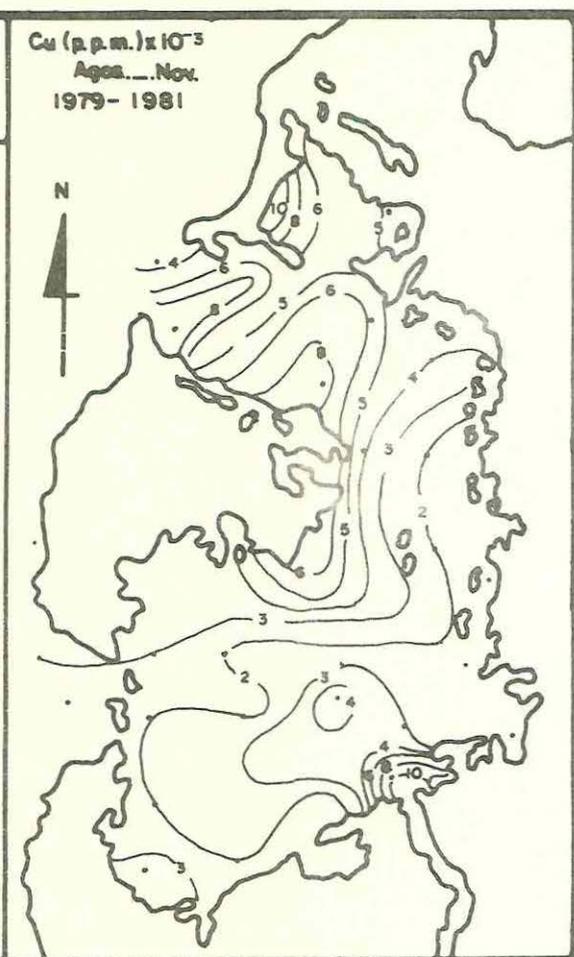


Fig. 49

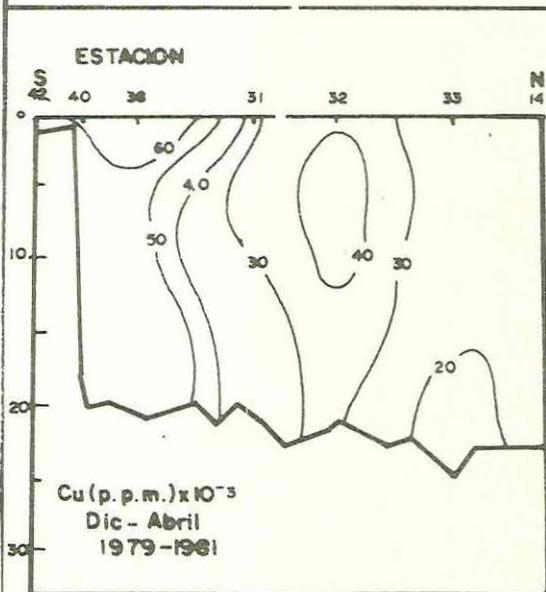


Fig. 50

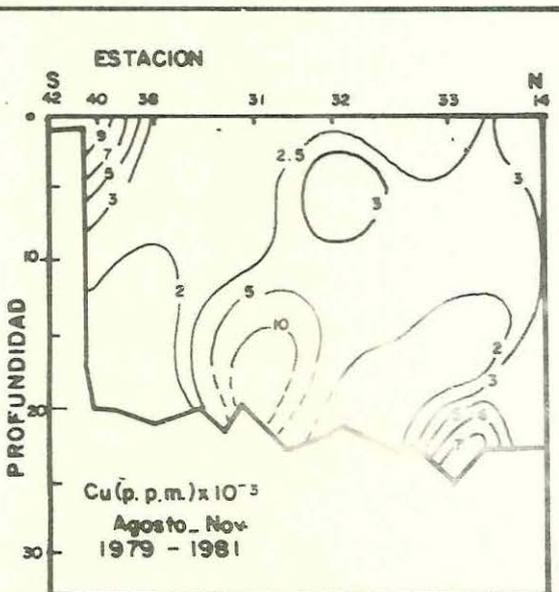


Fig. 51

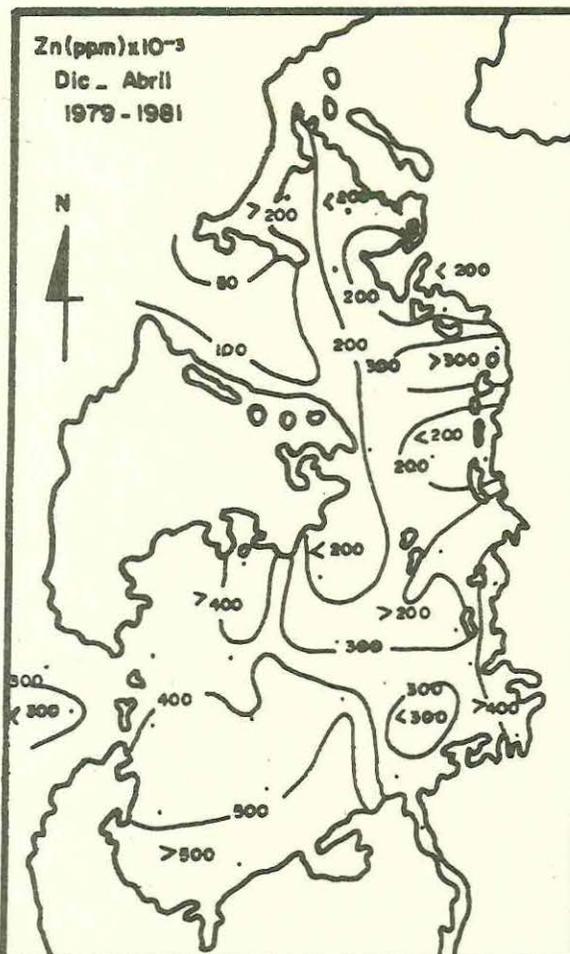


Fig. 52

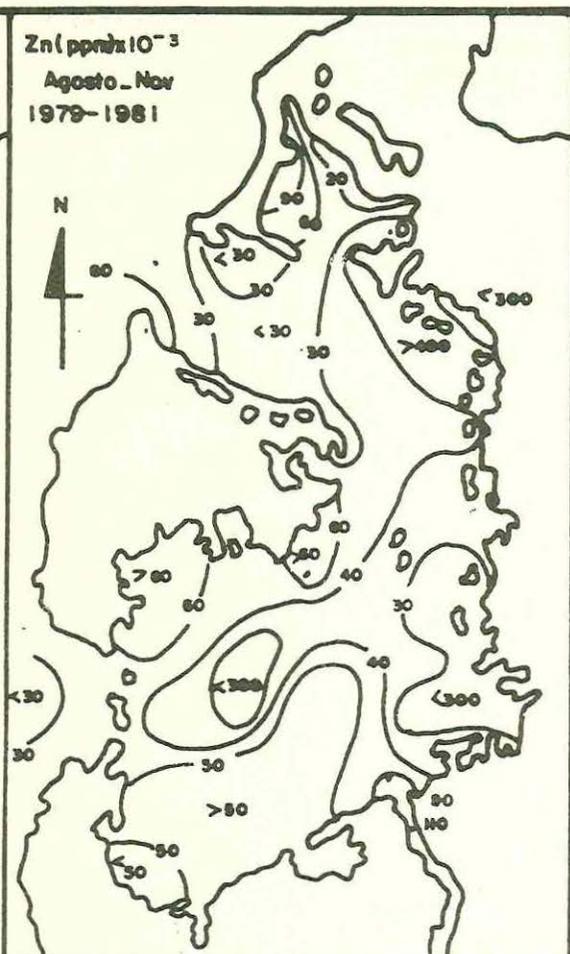


Fig. 53

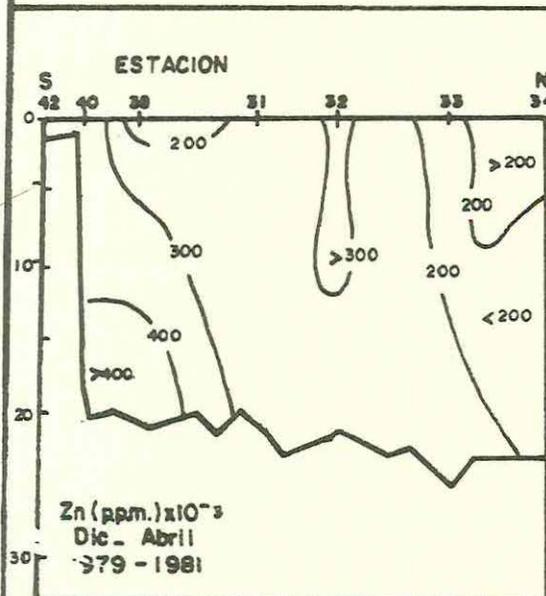


Fig. 54

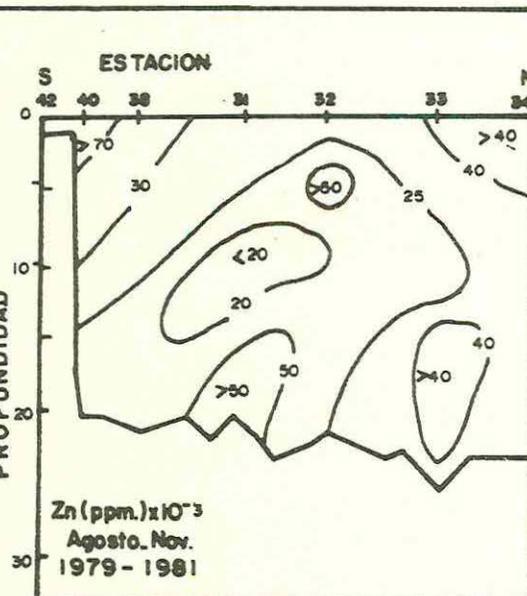


Fig. 55

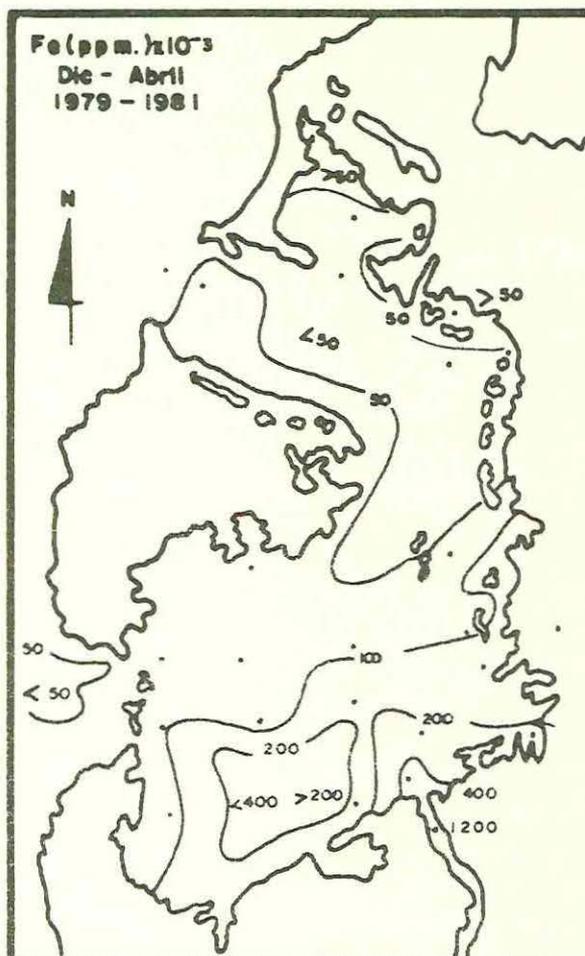


Fig. 56

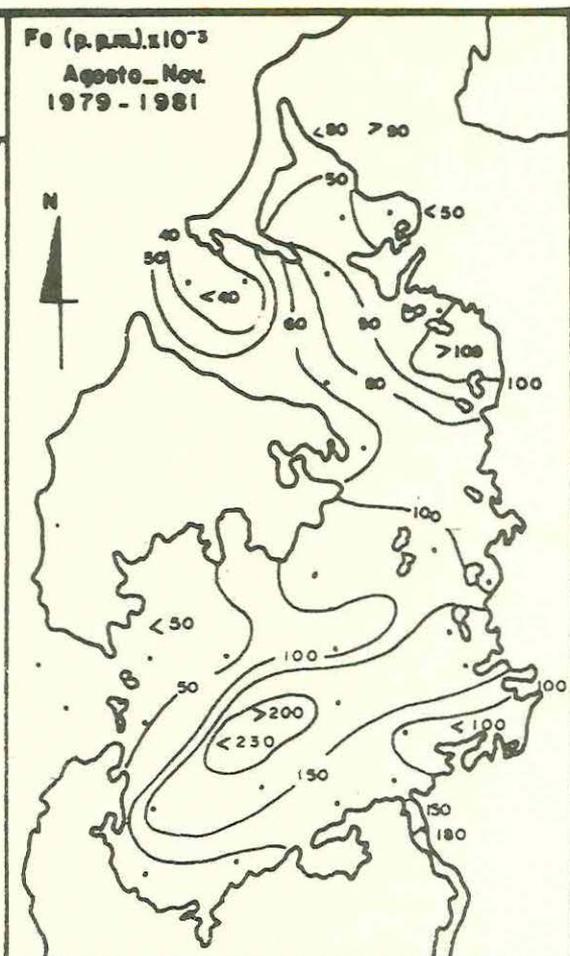


Fig. 57

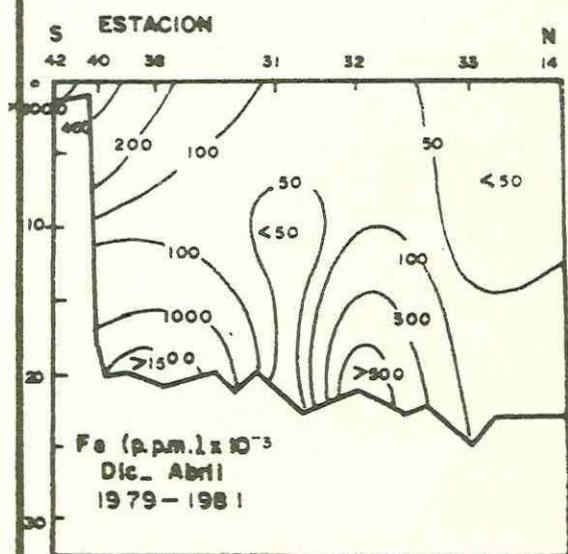


Fig. 58

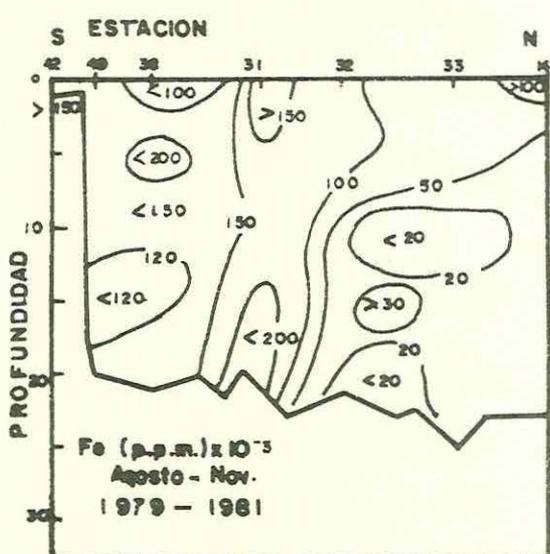


Fig. 59

Epoca húmeda (Agosto a Noviembre), (Fig. 53), a nivel superficial, se observa que las mayores concentraciones se encuentran en la boca del Canal del Dique (0.11-0.08 mg/L) y frente a la Base Naval ARC "Bolívar" (0.09 mg/L) la concentración tiende a distribuirse irregularmente en la Bahía, las menores concentraciones (0.02 mg/L) se encuentran en algunas áreas de la costa oriental.

A nivel medio (10m) y profundo (20m), la tendencia en la distribución de la concentración es bastante irregular, en general se observa que la concentración media de Zinc en la época seca es aproximadamente cinco veces mayor que su correspondiente en la época húmeda (0.04 mg/L) (Fig. 55).

- 4) Hierro en solución: Su principal fuente son los productos de corrosión y puede encontrarse en los desechos industriales y domésticos. Los niveles normales recomendados por la Internacional Standards (2328) permiten concentraciones máximas para desechos industriales de 0.3 mg/L.

En época seca (Diciembre a Abril), (Fig. 56), a nivel superficial, se observa que las mayores concentraciones (> 0.5 mg/L), se encuentran en la boca del Canal del Dique; la concentración disminuye hacia el Norte de la Bahía las menores concentraciones (< 0.05 mg/L) se encuentran al Sur de la Bahía interna (Islas del Diablo y Manzanillo).

A nivel medio (10m) y profundo (20m), la tendencia en la distribución de la concentración es bastante irregular, sobre todo en el fondo, observándose una zona de alta concentración en la estación 38 (> 1.5 mg/L) (Fig. 58).

Epoca húmeda (Agosto a Noviembre), Fig. 57), las mayores concentraciones a nivel superficial, (> 0.02 mg/L) se encuentran alrededor de la estación 28, la concentración disminuye en las entradas de Bocachica y Bocagrande, allí la concentración varía entre 0.03 y 0.05 mg/L.

A nivel medio (10m) y profundo (20m), la tendencia en la distribución de la concentración es similar a la superficial, con una ligera tendencia al aumento de la concentración con la profundidad (Fig. 59).

En general se observa que la concentración media de hierro en la época seca, es aproximadamente 2 veces mayor que su correspondiente en la época húmeda (0.1 mg/L).

d. Pesticidas organoclorinados en la Bahía de Cartagena.

Los pesticidas organoclorinados constituyen una clase importante de contaminantes marinos. El uso de estos compuestos, como plaguicidas en los campos agrícolas y sanidad pública, trae como consecuencia la presencia de residuos en el ambiente, en los cultivos y en los alimentos. Compuestos como el DDT, Aldrín, Heptacloro - Epóxido, etc., poseen diferencias químicas apreciables y afectan al ecosistema marino de diferentes formas.

En Colombia se emplean estas sustancias muy corrientemente en agricultura y prácticas sanitarias. El medio más común de aplicación suele ser la fumigación aérea, de donde solo una parte llega a la zona prevista, el resto se pierde en la atmósfera y va al mar transportado por inundaciones, evaporación y vientos, erosión, lavado de rocas por las lluvias. (Tabla 1).

De los pesticidas analizados durante el primer muestreo (Octubre 80, época húmeda) (Fig. 60), se detectaron concentraciones de Aldrín, Heptacloro - Epóxido,

TABLA No. 1

COMPARACION DE LAS NORMAS PARA PESTICIDAS EN AGUAS Y MAXIMAS CONCENTRACIONES ENCONTRADAS

LAS CONCENTRACIONES ESTAN DADAS EN p.p.t. (ng/L)

COMPUESTO	U.R.S.S. 1970	CANADA 1972	U. S. N.A.S./N.A.S.	AUSTRALIA 1974	EPA 1976	_ MAXIMAS CONCENTRACIONES ENCONTRADAS EN COLOMBIA	
						BOCATOMA RIO MAGDALENA BARRANQUILLA	_ BAHIA CARTAGENA CIOH
ALDRIN	2.000	17.000	1.000	1.000	—	10	0.13
HEPTACLORO EPOXIDO	50.000	18.000	100	100	—	10	0.30
DDT Y METABOLITOS	100.000	42.000	50.000	50.000	—	140	0.18
LINDANO	—	56.000	5.000	5.000	4.000	N. D.	N. A.
HEPTACLORO	50.000	18.000	100	100	—	N. D.	N. A.
DIELDRIN	—	17.000	1.000	1.000	—	N. D.	0.02
ENDRIN	—	1.000	500	500	200	N. D.	0.32

FUENTE: : REEDER W. S. , "GUIDELINES FOR SURFACE WATER QUALITY, 1977"

U.R.S.S. : UNION DE REPUBLICAS SOCIALISTAS SOVIETICAS

EPA : UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

U.S.N.A.S. : UNITED STATES NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE

N. D. : NO SE DETECTO

N. A. : NO SE ANALIZO

encuentran cerca de los acantilados y morros del lado abierto al mar en la isla de Tierra Bomba. Un estudio más detallado permitió evidenciar que son partículas de constitución cuarzítica de grano muy fino.

- 2) Arenas. Las arenas están localizadas esencialmente en las playas pero también en ciertas zonas infralitorales de pendiente suave y sometidas al tránsito arenoso (Bocagrande, Laguito y Castillogrande).

Las características granulométricas y la constitución de las partículas permiten diferenciar dos tipos: arenas cuarzosas grises y arenas calcáreas de color claro (Fig. 63).

— Arenas Grises. Estas partículas se localizan en las playas abiertas directamente al mar (Bocagrande), en los fondos vecinos de pendiente suave sometido a una deriva litoral activa (zona infralitoral) así como en los sectores del Laguito y Castillogrande.

Además, tales partículas se encuentran esporádicamente en algunas playas del lado externo de la isla de Tierra Bomba, así como en la parte norte del lado interno hasta Punta Arena. En estas zonas la acumulación de arenas grises está sujeta a la variación climática estacional y produce una estratificación vertical alternativamente oscura (arenas detríticas grises) y clara (arenas calcáreas).

Las arenas cuarzosas grises son finas ($110\mu < \phi < 180\mu$), típicamente unimodales y con una desviación estándar cerca de 0.5.

La constitución promedio de las partículas es la siguiente:

79 o/o de cuarzo en su mayor parte brillante y subangular.

9 o/o en minerales pesados y opacos.

6 o/o en micas

6 o/o en biodetrítos (bivalvos etc) que corresponden a la fracción de mayor tamaño del sedimento ($\phi > 500\mu$).

El contenido en carbonato de calcio de estas arenas es siempre inferior al 5 o/o y directamente proporcional a la fracción gruesa del sedimento.

— Arenas Calcáreas. Son las arenas más representativas de la Bahía de Cartagena. Son partículas de color claro cuyo tamaño puede abarcar desde arenas muy finas hasta muy gruesa.

A pesar de que son generalmente unimodales, la selección es muy variable. Las más homogéneas se encuentran en la zona mediolitoral.

Las arenas calcáreas están constituidas casi exclusivamente por residuos coralinos, algas calcáreas y biodetrítos. La fracción mineral (cuarzo, minerales pesados, mica) es muy escasa (inferior al 1 o/o):

50 o/o de residuos coralinos

27 o/o en restos de algas calcáreas (*Halimeda sp.* en mayoría)

12 o/o en biodetrítos (bivalvos los más frecuentes)

10 o/o partículas calcáreas indeterminadas.

El contenido en carbonato de calcio es obviamente muy grande y sobrepasa generalmente el 90 o/o.

— Arena Mixta. En los pocos sitios donde se mezclan los dos tipos de arena

previamente descritas, se puede apreciar un sedimento arenoso de características intermedias (Fig. 64).

- 3) Lodos. En la Bahía de Cartagena los lodos ocupan una extensión muy grande, tanto en las áreas profundas del centro, como en los lugares tranquilos protegidos por los islotes cubiertos de manglares (Fig. 65).

Dos tipos de lodos se encontraron:

— Lodo fino gris. Son lodos finos, poco compactos, homogéneos y generalmente de color gris, están cubiertos a veces por una fina capa negra orgánica. Las curvas densimétricas indican un tamaño promedio inferior a $2\ \mu\text{m}$ (lodo arcilloso).

En las áreas profundas del centro de la Bahía los lodos son homogéneos y generalmente no tienen fracción gruesa ($\phi > 63\ \mu\text{m}$), cuando esta fracción existe, está constituida en su mayoría de microfauna (ostracodos, foraminíferos) y biodetrítos.

Los lodos situados en los lugares protegidos por los islotes de manglares no son tan homogéneos y vienen mezclados con residuos coralinos y vegetales.

— Lodo Marrón. Son lodos compactos, de color marrón encontrados en la desembocadura del canal del Dique en el sur de la Bahía. La parte más gruesa del sedimento contiene cuarzos angulosos y brillantes, la fracción biodetrítica es de poca importancia.

La característica esencial de este tipo de lodo es la presencia de residuos vegetales. Las curvas densimétricas indican un diámetro medio clasificando el sedimento como limo ($2\ \mu\text{m} < \phi < 63\ \mu\text{m}$).

El contenido en carbonato de calcio de los lodos está generalmente inferior al 10 o/o siendo inferior al 5o/o para los limos marrón.

- b. Fuente de partículas y tipo de transporte. La variedad de los sedimentos encontrados en la Bahía de Cartagena se explica por los intercambios que tienen tanto con el medio marino como del continente vecino.

- 1) Los Aportes Marinos. Los vientos dominantes en esta región del Caribe Colombiano son los Alisios soplando del N-NE. En el mar, las olas generadas por estos vientos tienen una acción resultante en la costa dirigida hacia el sur (deriva litoral).

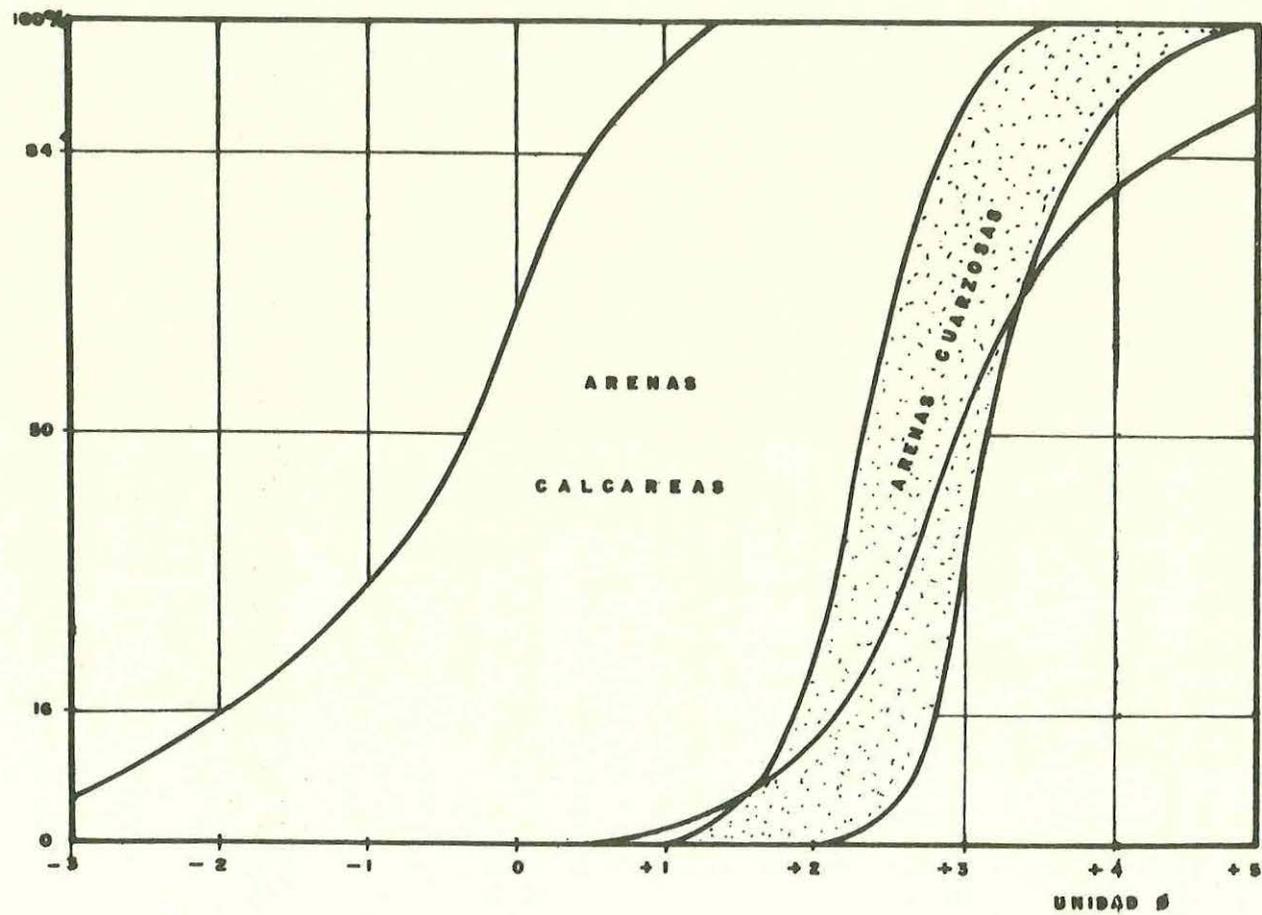
— El transporte en Suspensión. Esta deriva litoral genera un transporte en suspensión de las partículas finas cuya mayoría provienen del río Magdalena y se depositan poco a poco en la plataforma como se pudo comprobar por estudio de las características sedimentológicas de unas muestras de tubo de esta región (Klingebiel y Vernet, 1978).

Una parte de las suspensiones pueden entrar por Bocagrande y depositarse en la parte Norte de la Bahía lo que explicaría el poco contenido en carbonato de calcio de los sedimentos finos de este sector.

— El Transporte por Saltación. En la zona más cercana de la costa, la deriva litoral influye en la distribución de los sedimentos arenosos cuarzosos muy abundantes en este sector.

El tránsito progresivo se hace principalmente por saltación al fondo (Fig. 66)

DISTRIBUCION GRANULOMETRICAS
DE LAS ARENAS



BAHIA DE CARTAGENA

Fig. 63

BAHIA DE CARTAGENA

Relación: Desviación - %Carbonatos

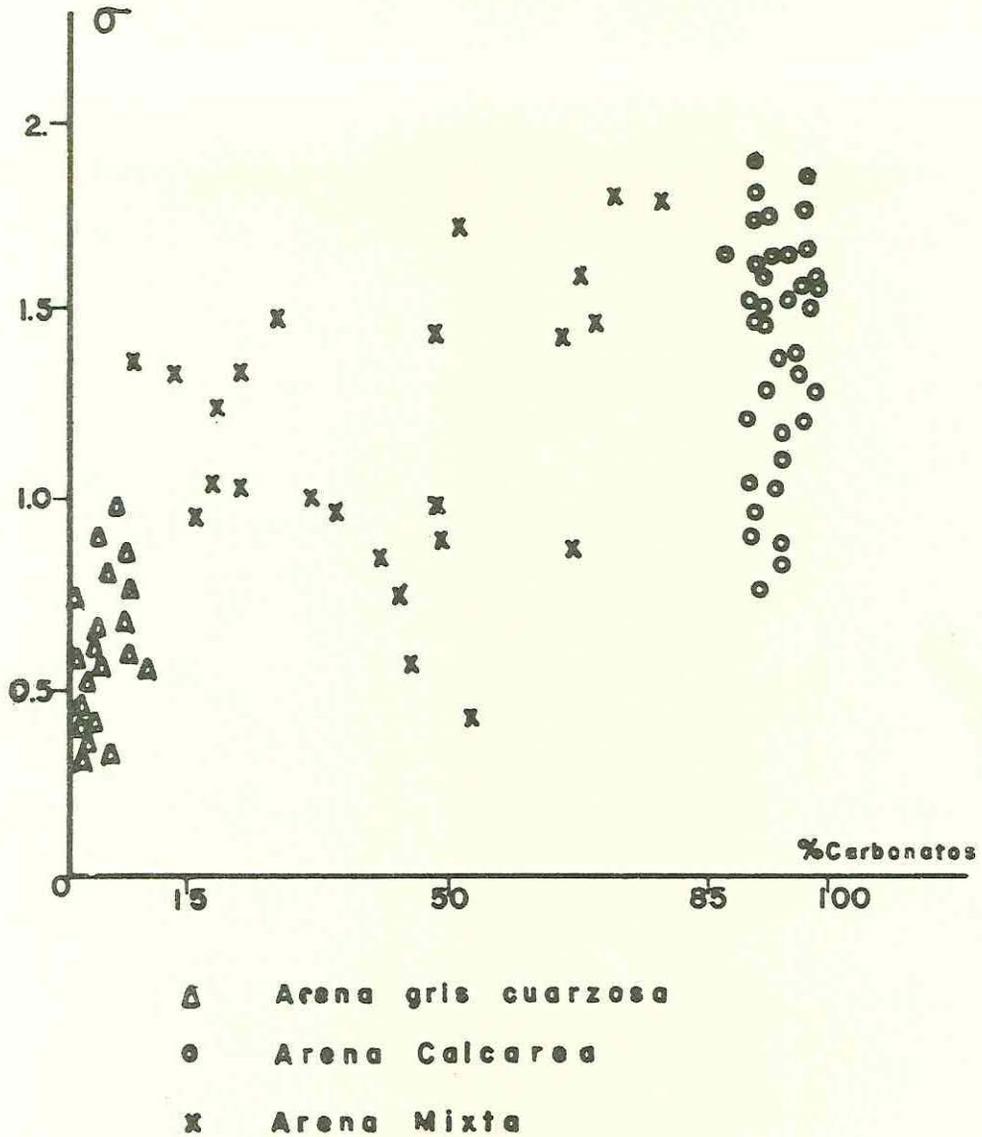


Fig. 64

CURVAS DE CALIBRACION DE CAUDALES CANAL DEL DIQUE

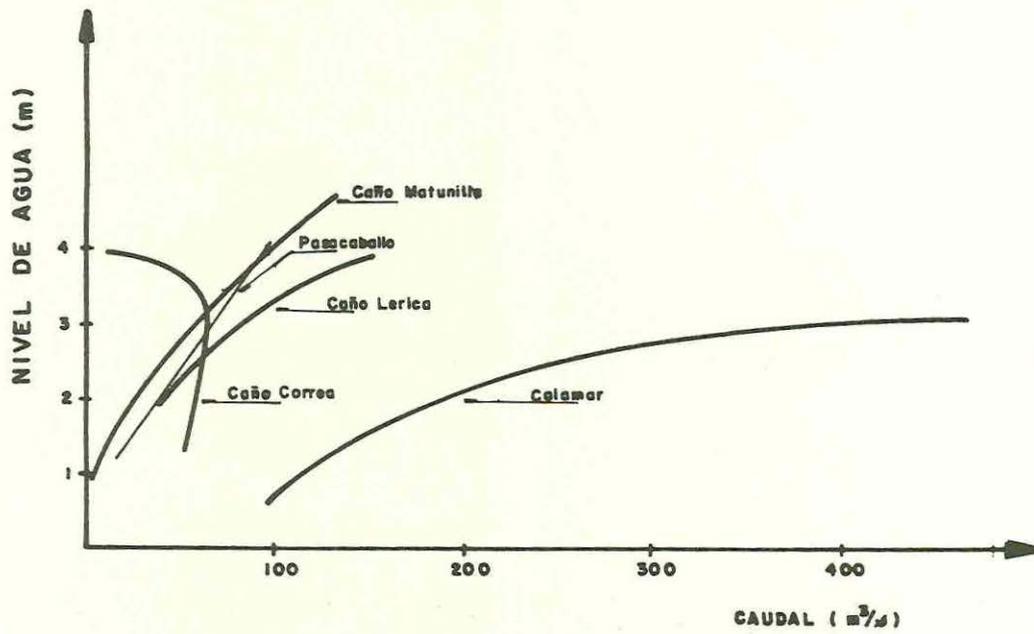


Fig. 67

DESEMBOCADURA
CANAL DEL DIQUE

TURBIDEZ (Abril-1978)

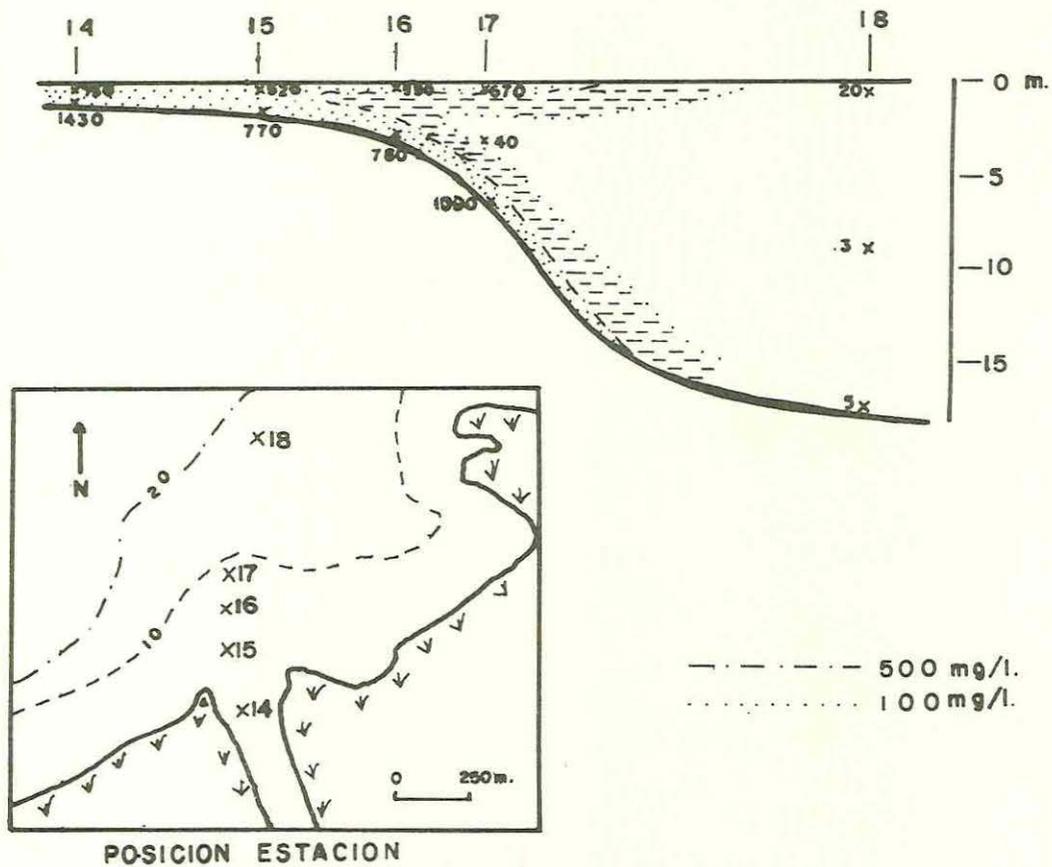


Fig. 68

BAHIA DE CARTAGENA

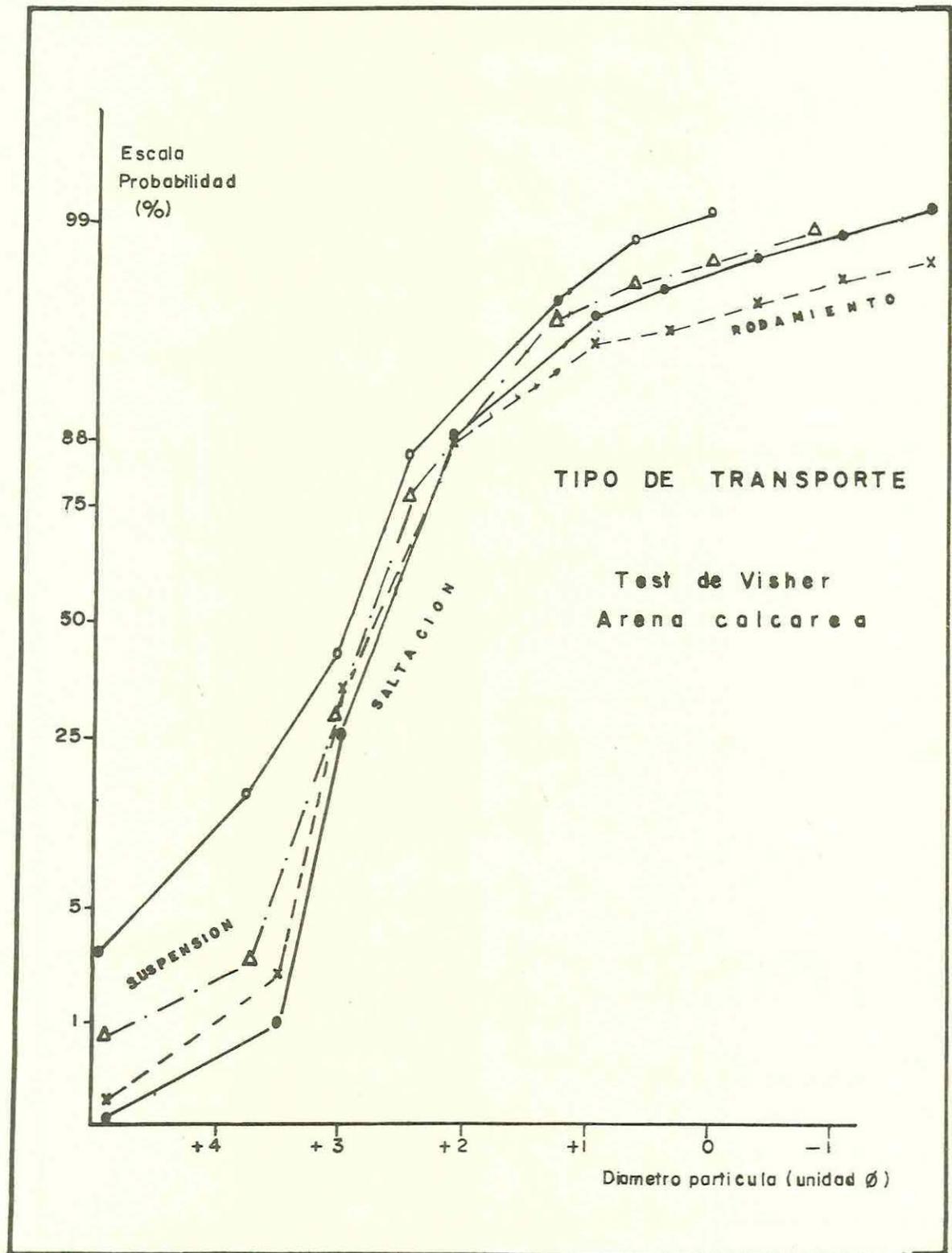


Fig. 69

REFERENCIAS

- AMARIS C. R. et al (1975).
Estudio Físico y Químicos en Aguas de la Bahía de Cartagena.
Tesis de Grado Química y Farmacia Universidad de Cartagena.
- BUITRAGO J. CAMPOS N., LLANO M., VERNETTE G. (1977).
Variaciones Morfológicas de las Costas de la Bahía de Cartagena a partir del Siglo XVI.
Boletín Científico CIOH - Cartagena, Colombia No. 1 pp 21-39.
- BÜRGL H., (1965).
El límite oligo-mioceno en el Terciario Marino de Colombia Rev. Acad. Col. Ciencias Exactas, Bogota, Vol. XII, No. 47, p. 245-258.
- DE PORTA J., SOLE DE PORTA N. (1960).
El Cuaternario Marino de la Isla de Tierra Bomba (Bolívar).
Bol. Geol. Univ. Indust. Santader, Bucaramanga, No. 4, p. 19-44.
- GARAY J. A., JURADO E. A. (1981).
Contribución al Estudio Oceanográfico químico de la Bahía de Cartagena.
Tesis de grado. Universidad Nacional Bogota.
- GUILLEN O., RONDAN R. I. (1972).
Análisis Químico y de Productividad en el Agua de Mar.
IMARPE, LIMA.
- GUILLEN O. AQUINO R. (1977).
Análisis Químico de Agua de Mar por Instrumentación.
Proyecto Multinacional de Ciencia del Mar.
OEA -IMARPE - CALLAO - PERU.
- EPA (1979).
Handbook for Analytical Quality Control in Water and Wastewater.
Lab. U. S. E. P. A., USA.
- PERKIN ELMER CO. (1979).
Instrucción Mercury Analysis System.
Perkin Elmer co, Reu May, USA.
- IVANOFF A. (1977).
Introduction à l'Océanographie.
Librairie Vuibert Paris.
- KLINGEBIEL A., VERNETTE G. (1976).
Marine Geology Research on the Colombian Caribbean Shelf.
Symposium CICAR II, Caracas, Venezuela, p. 393 - 398.
- LARRAS J. (1971).
Estuaires, Lagunes et delta.
Edition Eyrolles Paris.
- LECLERC J. P. (1972).
Playas de Cartagena. Estudio en Modelo Reducido.
Rapport LCHE - LEH. Bogota, 57p.

- LESUEUR P., VERNETTE G. (1978).
 Descripción y Representación de las características Sedimentológicas de la Bahía de Cartagena.
 Segundo Congreso Colombiano de Geología. Bogotá.
- EPA (1977).
 Manual of Analytical Methods for The Analysis of Pesticide Residues in Human and environmental Samples.
 U. S. E. P. A., Editorial Ponel, USA.
- MARGALEF R. (1977).
 Ecología.
 Ediciones Omega S. A., Barcelona España.
- MCKEE & WOLF (1973).
 Water Quality Criteria.
 California State Water resources Control. Board, USA. 1973.
- MINISTERIO DE SALUD.
 Estudio sobre la ubicación de la Bocatoma para el nuevo acueducto alternativo de Barranquilla en las Flores.
 Sección de Control de Contaminación de Aguas. Bogotá 1980.
- MORRIS A. W., RILEY J. P. (1963).
 The Determination of Nitrate in Sea Water.
 Analitic Chimica Acta, No. 29.
- REEDER W. S. (1977).
 Guidelines for surface water Quality.
 Vol. 1.
- SANTACRUZ H., PARRA R. (1973).
 Estudio Oceanográfico Preliminar de la Bahía de Cartagena.
 DIMAR - CIOH, Cartagena.
- US. ARMY. (1973).
 Shore Protection Manual.
 Us. Army Coastal Engineering Research Center. Vol. 1, II, II.
- SVERDRUP H.U.S., (1962).
 The Oceans.
 Prentice Hall. USA, 242 p.
- TAIT R. V. (1971).
 Elementos de Ecología Marina.
 Editorial Acribia, Madrid.
- VERNETTE G., LESUEUR P. (1978).
 El problema de la Erosión de las Isla de Manzanillo y su relación con el sector de Bocagrande en la Bahía de Cartagena.
 Segundo Congreso Colombiano de Geología, Bogotá.
- VISHER G. S. (1969).
 Grain size Distribution and Depositional Processes.
 J. S. P. Tulsa, Vol. 39, No. 3, p. 1074 - 1106.