

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS

DETERMINACION DE SILICE DISUELTO EN LAS  
AGUAS INTERSTICIALES DE UNA LAGUNA COSTERA  
EN BAJA CALIFORNIA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

O C E A N O L O G O

PRESENTA

MARIA DE JESUS CREEN RUIZ

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, 1983.

## Contenido

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 1&INTRODUCCION .....                              | 1  |
| 2& ANTECEDENTES.....                              | 3  |
| 3&AREA DE ESTUDIO.....                            | 8  |
| 4&METODOS Y MATERIALES.....                       | 11 |
| 4. 1                   MUESTREO .....             | 12 |
| 4. 2                   EXTRACCION.....            | 13 |
| 4. 3                   ANALISIS.....              | 17 |
| 5&RESULTADOS.....                                 | 22 |
| 5. 1&                   columna de agua.....      | 22 |
| 5. 2&                   aguas intersticiales..... | 25 |
| 6&DISCUSIONES.....                                | 31 |
| 7&CONCLUSIONES.....                               | 44 |
| 8&BIBLIOGRAFIA.....                               | 46 |

# LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

|         |                                                                                                                           | Página |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Fig. 1  | Ciclo de sílice en el océano propuesto por Wollast (1921) ( $10^{15} \text{ g SiO}_2 \text{ año}^{-1}$ ).                 | 2a     |
| Fig. 2  | Estero de Punta Banda. Localización de la zona de muestreo. Punto A                                                       | 9a     |
| Fig. 3  | Nucleador manual.                                                                                                         | 12a    |
| Fig. 4  | Extractor para sedimentos.                                                                                                | 14a    |
| Fig. 5  | Distribución vertical de $\text{SiO}_2 (\mu\text{M})$ para la columna de agua, en julio.                                  | 22a    |
| Fig. 6  | Distribución vertical de pH, $\text{SiO}_2 (\mu\text{M})$ y $\text{S} \%$ para la columna de agua, a mediados de octubre. | 22b    |
| Fig. 7  | Distribución vertical de pH, $\text{SiO}_2 (\mu\text{M})$ y $\text{S} \%$ para la columna de agua, a finales de octubre.  | 22c    |
| Fig. 8  | Distribución vertical de pH, $\text{SiO}_2 (\mu\text{M})$ y $\text{S} \%$ para la columna de agua, en diciembre.          | 23a    |
| Fig. 9  | Distribución vertical de $\text{SiO}_2 (\mu\text{M})$ en aguas intersticiales, en julio.                                  | 25a    |
| Fig. 10 | Distribución vertical de pH, $\text{SiO}_2 (\mu\text{M})$ y $\text{S} \%$ en aguas intersticiales, a mediados de octubre. | 26a    |
| Fig. 11 | Distribución vertical de pH, $\text{SiO}_2 (\mu\text{M})$ y $\text{S} \%$ en aguas intersticiales, a finales de octubre.  | 26b    |
| Fig. 12 | Distribución vertical de pH, $\text{SiO}_2 (\mu\text{M})$ y $\text{S} \%$ en los núcleos B y BB a finales de octubre.     | 26c    |

|   |                                                                                                            |     |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3 | Distribución vertical de pH, $\text{SiO}_2$ ( $\mu\text{M}$ ) y S % en aguas intersticiales, en diciembre. | 27a |
| 4 | Distribución vertical de la porosidad y tipo de sedimento, para octubre y diciembre.                       | 30a |
| 1 | Valores de Gradientes de sílice ( $\Delta$ ), porosidad ( $\phi$ ) y Flujo de sílice (J).                  | 31a |



## 1 INTRODUCCION

México cuenta con una gran variedad de lagunas costeras y estuarios donde, hasta la fecha, la mayoría de los estudios de variables fisicoquímicas se han dedicado a la columna de agua. Otros temas de interés como la composición de las aguas intersticiales y la estimación de las transferencias que ocurren a través de la interfase agua-sedimento han recibido poca atención.

Las aguas intersticiales se definen como soluciones acuosas que ocupan los espacios porosos entre partículas de sedimento. La composición de estas aguas intersticiales asociadas con sedimentos marinos está influenciada por la hidroquímica del área, su diagénesis, la advección de fluidos, el movimiento difusivo de iones disueltos y la bioturbación (Manheim y Sayles, 1974, Berner, 1980).

El estudio de las aguas intersticiales es importante para el entendimiento de la compleja actividad química que ocurre en los sedimentos y de los ciclos biogeoquímicos de los elementos dentro de un cuerpo de agua protegido (Presley y Treftrey, 1980).

Las investigaciones que se han realizado en lagunas costeras a nivel mundial en la interfase agua-sedimento también han sido pocas, y se han enfocado al estudio de la liberación de amoníaco y en menor grado sobre fosfatos (Allen, Mandelli y Zimmermann, 1981). En nuestro país se han estudiado estos últimos por Arenas y De La Lanza (1981). ✓

En estos estudios se muestran evidencias de regeneración de nutrientes que, como consecuencia, permiten intercambios químicos en la interfase agua-sedimento que pueden controlar el aporte de nutrientes a la columna de agua. El flujo de sustancias disueltas a través de la interfase es determinado parcialmente por los gradientes de concentración entre la columna de agua y las aguas intersticiales. La medición de estos flujos y de su variación estacional es esencial para entender cuantitativamente el papel de las aguas intersticiales en el ciclo de producción de los componentes del agua de mar (Allen et al., 1981). Otros factores que pueden afectar estos flujos son la advección y turbulencia en la columna de agua en contacto con el sedimento.

Wollast (1974, 1981) propuso un ciclo geoquímico para el sílice dentro del océano. En este modelo se observa el papel que desempeñan las aguas intersticiales como un aportador de nutrientes (Fig. 1).

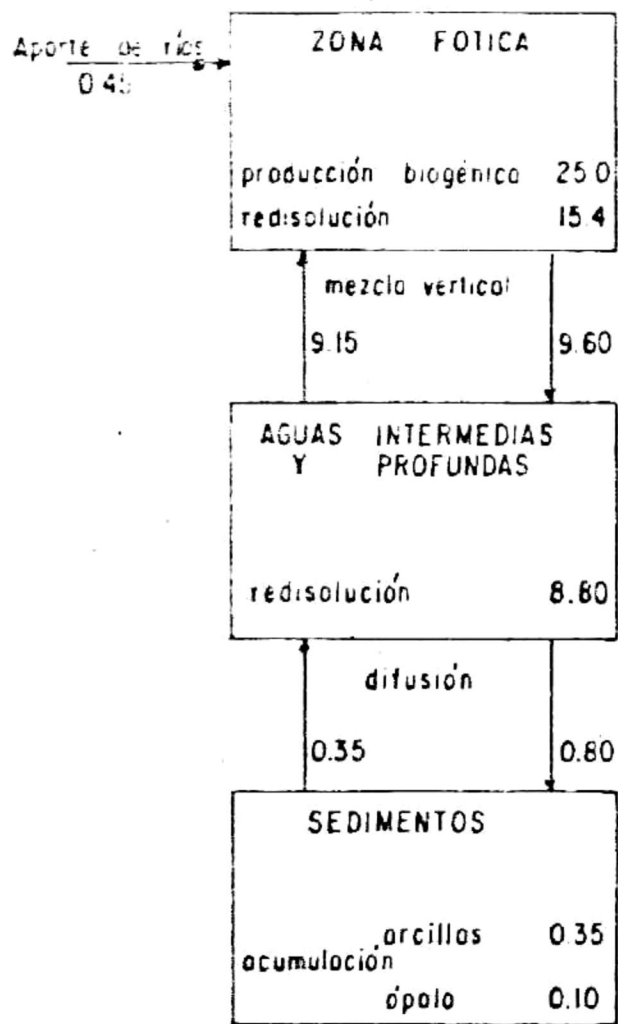


FIG : - Ciclo del Silicio en el océano - propuesta por Wallast (1981)  
( $10^{15}$  g  $\text{SiO}_2$  año $^{-1}$ ).

En la literatura se cita algunas veces a los sedimentos como aportadores de especies disueltas. Esto se refiere en conjunto a las aguas intersticiales y al sedimento en que se encuentran. Aquí se menciona a las aguas intersticiales como el elemento que realiza esta función.

El sílice se encuentra en la mayoría de los minerales formadores de rocas y es parte esencial de la estructura sólida de las diatomeas, un grupo importante del fitoplancton marino. Por esto el estudio de la concentración de sílice en aguas intersticiales en una laguna costera es un tema de interés.

## 2 ANTECEDENTES

Los estudios sobre especies disueltas en aguas intersticiales de sedimentos marinos de mar profundo son muy variados y con fines diversos, sin embargo, como ya se ha mencionado, son pocos en lagunas costeras y es debido a esto que la información que se tiene sobre el comportamiento de las especies disueltas en aguas intersticiales es referente a núcleos

de gran longitud y de grandes profundidades .

Se han hecho investigaciones sobre la concentración de especies disueltas para determinar la composición de las aguas intersticiales, en las que el sílice disuelto es uno de los elementos estudiados (Siever, Beck y Berner, 1965, Bischoff, Greer y Luistro, 1970, Gieskes, 1973, Wollast, 1974, Manheim y Sayles, 1974). En estos trabajos se muestra que la concentración de sílice disuelto en las aguas intersticiales es mayor que la concentración encontrada en la columna de agua. Generalmente los perfiles verticales de concentración muestran un incremento conforme aumenta la profundidad en el sedimento hasta los 5 ó 10 cm. A partir de este punto algunos perfiles muestran un valor constante y otros un decremento en la concentración.

Otros estudios tanto de laboratorio como de campo, han sido sobre la interacción de las aguas intersticiales con el sedimento en donde la concentración de sílice disuelto juega un papel muy importante en la interacción de estas aguas con las arcillas y con los restos de esqueletos de organismos que se encuentran en el sedimento ( Krauskopf, 1959, Lewin, 1961, Hurd, 1972, 1973, Burton y Liss, 1973, Berner, 1974, Schink, Fanning y Pilson, 1974, Wollast, 1974).

Otros trabajos que se han hecho en aguas intersticiales tratan sobre la difusión de especies disueltas en la interfase agua-sedimento. En el caso específico del sílice, el flujo de iones disueltos se efectúa del sedimento hacia la columna de agua (Manheim, 1970; Fanning y Pilson, 1974; Hollast, 1974; Schink et al., 1974; Schink, Guinasso y Fanning, 1975; Berner, 1980).

La transferencia de masa vertical es proporcional al gradiente de concentración de sílice. El valor de este gradiente depende del valor de la concentración de sílice disuelto en  $z=0$ , en el agua intersticial y en la columna de agua que se encuentra por encima. Donde  $z=0$  es la interfase.

En los sedimentos cercanos a la interfase los cambios de la composición de las aguas intersticiales con la profundidad son mucho mayores que los cambios laterales. Predominan entonces los gradientes de concentración vertical y hacen posible aplicar una ecuación de difusión unidimensional, como la primera ley de Fick, para calcular el flujo del sílice en la interfase tomando la profundidad  $z$  como si fuese la  $x$ . Esta ecuación se modifica para su uso en los sedimentos. La difusión de especies disueltas se ve afectada por las colisiones e interacciones de estas especies con el sedimento, por lo que sufren entonces una retardación comparada con la difusión que se efectúa fuera del sedimento.

Esta retardación se expresa en términos de porosidad y tortuosidad del sedimento. Quedando la ecuación de la forma siguiente (Berner, 1971).

$$J = - \frac{D \phi}{\theta^2} \frac{\partial C}{\partial z} \quad (1)$$

Donde:

- J es el flujo (moles  $\cdot$  seg<sup>-1</sup>  $\cdot$  cm<sup>-2</sup>).
- D es el coeficiente de difusión molecular del sílice en agua de mar y depende de la temperatura (cm<sup>2</sup>seg).
- $\phi$  es la porosidad del sedimento (Adimensional, dada en %).
- $\theta$  es el grado de empaque de los sedimentos, tortuosidad (Adimensional).
- C es la concentración de sílice disuelto (moles-cm<sup>-3</sup>).
- z es la profundidad medida positivamente hacia abajo a partir de la interfase (cm).

Se han estimado flujos significativos de sílice disuelto en el océano. Schink (1968) (citado por Fanning y Pilson, 1974) estimó que el flujo anual era aproximadamente el 10% del sílice que se encuentra en toda la columna de agua del océano. Fanning y Pilson (1971) estimaron flujos aproximados de 14 % de la cantidad de sílice que aportan los ríos y Heat (1974) calculó

flujos excediendo la entrada de los ríos. Wollast (1974, 1981) calculó que este flujo era de  $0.35 \times 10^{15}$  g/año que es de magnitud semejante al aportado por los ríos de todo el mundo,  $0.45 \times 10^{15}$  g/año.

Los estudios de la concentración de las especies disueltas en las aguas intersticiales en sedimentos marinos de cuerpos protegidos mexicanos necesitan del conocer y desarrollar técnicas de muestreo y análisis particulares al ambiente bajo interés y que permitan alcanzar las metas deseadas.

El objeto del presente trabajo es introducir las bases sobre el tema de aguas intersticiales en nuestro medio académico, mediante la medición de la concentración de sílice disuelto, pH y salinidad en aguas intersticiales de un punto del Estero de Punta Banda y su aplicación para el cálculo del flujo de sílice disuelto en la interfase agua-sedimento.



### 3 AREA DE ESTUDIO

El Estero de Punta Banda, Ensenada B. C., es una laguna costera situada a lo largo de la parte SE de la Bahía de Todos Santos B. C., está localizada entre los  $31^{\circ} 43'$  y  $31^{\circ} 46'$  de Latitud Norte y los  $116^{\circ} 35'$  y  $116^{\circ} 40'$  de Longitud Oeste en la costa del Océano Pacífico y situado a 13 km del Puerto de Ensenada. El Estero tiene forma de L con un brazo de longitud aproximada de 3 km orientado en dirección SE y un brazo largo de 7.5 km orientado en dirección NNE. La cuenca del Estero está separada de la Bahía por una barra de arena que parte de la base de una cadena de cerros que conforman la Punta Banda y tiene una abertura permanente en su extremo Norte que constituye la comunicación con la Bahía de Todos Santos. A lo largo del Estero se extiende un canal principal, también en forma de L, y se encuentra situado junto a la barra de arena.

La profundidad mas grande que se ha detectado en el Estero es de 7.5 mts cerca de la boca, decreciendo hasta alcanzar un metro en el canal principal en el codo de la L. El ancho promedio en el Estero es de 345 mts en baja mar media inferior aumentándo hasta unos 1100 mts en pleamar media superior,

evidenciando la existencia de amplias zonas de marismos, que se cubren y descubren cíclicamente con las mareas. El área superficial total es de 9.8 km<sup>2</sup> en baja mar media inferior y de 11.63 km<sup>2</sup> en pleamar media superior (Pritchard, De La Paz Vela, Cabrera Muro, Farreras Sanz y Morales, 1978).

De manera general el Estero se clasifica como una laguna neutra según Pritchard (1967) (citado por Millán Nuñez, Ortiz Cortés y Álvarez Borrego, 1981). Las densidades de sus aguas son semejantes a las de Bahía de Todos Santos y el movimiento del agua es causado principalmente por las mareas y el viento. El Estero es una cuenca de evaporación, no tiene aporte continuo de agua dulce. Sin embargo las lluvias de invierno pueden aportarla en cantidad considerable, como ocurrió en los inviernos de 1978, 1980 y 1983 en los que hubo elevadas lluvias.

A partir de 1980, el Estero de Punta Banda es una región cambiante con respecto a sus rasgos topográficos y batimétricos, por lo que a la fecha del presente trabajo se observa que la configuración de la boca del Estero y la posición del canal en esta zona han cambiado. Es debido a esto que el mapa del Estero se encuentra modificado en esta porción, basado solamente en observaciones visuales (Fig. 2).

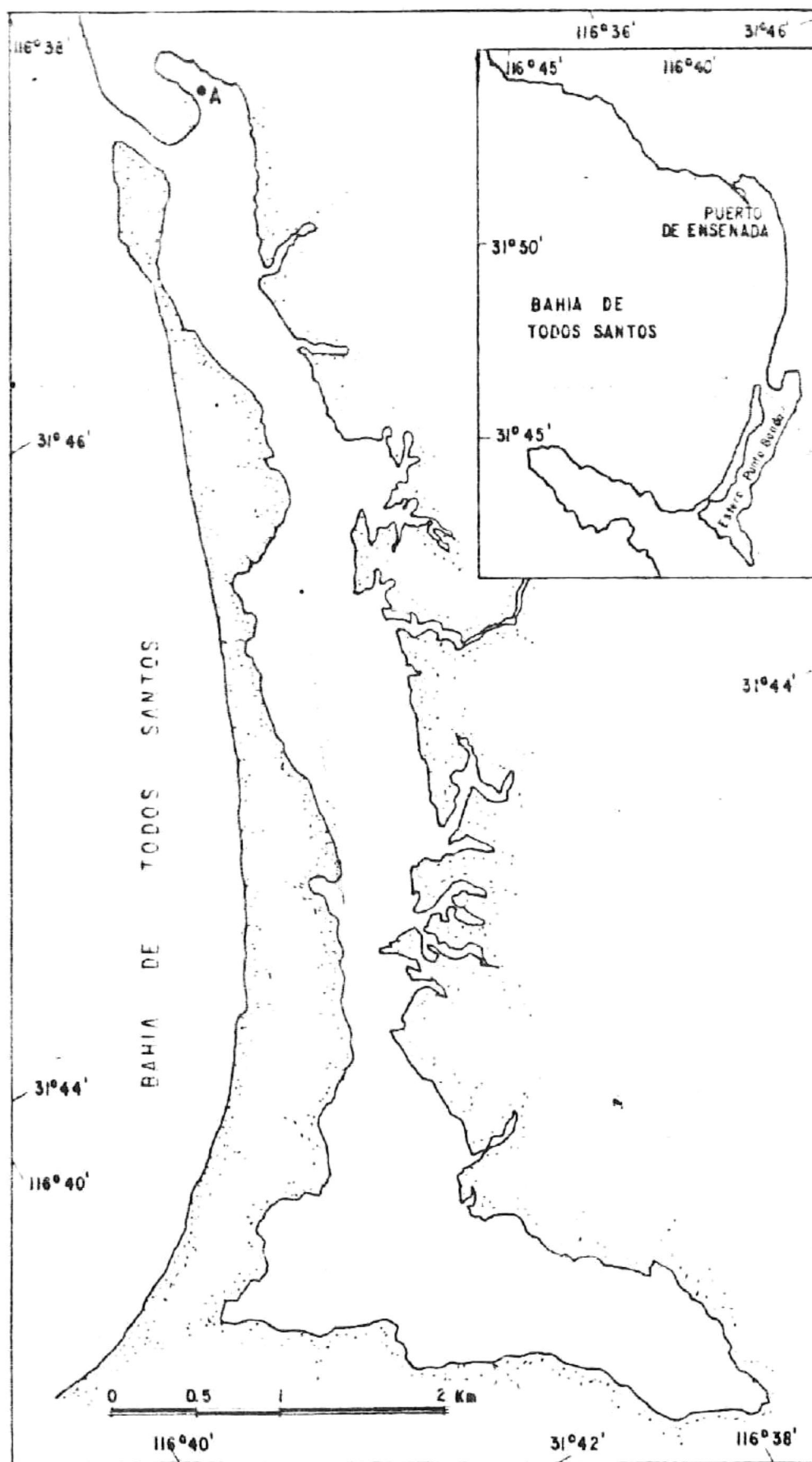


FIG. 2.- Estero de Punta Banda. Localización de la zona de muestreo. Punto A.

Se han realizado varias investigaciones en el Estero sobre sus condiciones hidrográficas y variables fisicoquímicas. Acosta Ruiz y Alvarez Borrego (1974), Celis Cessa y Alvarez Borrego (1975), Alvarez Borrego, Acosta Ruiz y Lara Lara (1977), Alvarez Borrego, Lara Lara y Acosta Ruiz (1977), Zertuche Contróles y Alvarez Borrego (1978), Sánchez Hernández (1978) (citado por Millón et al., 1981), Pritchard et al. (1979), Millón Nuñez et al. (1981) han reportado mediciones sobre la  $T^{\circ}$ ,  $ES$ , pH,  $O_2$ ,  $PO_4$ ,  $SiO_2$ ,  $NO_3$ . Estos autores mencionan que en general, durante todo el año existen gradientes horizontales de salinidad y temperatura con valores aumentando hacia el interior del Estero, lo mismo ocurre con los valores de  $SiO_2$  y  $PO_4$  presentando estos nutrientes un incremento mayor en la época de verano y descendiendo las concentraciones en la época de invierno. En cambio el  $O_2$  y el pH disminuyen de la boca hacia el interior del Estero.

El gradiente vertical de temperatura en la boca del Estero cambia con las corrientes de marea. En general, la temperatura disminuye con la profundidad. Generalmente no hay un gradiente vertical de salinidad, y cuando existe la salinidad es mayor en la superficie (Alvarez Borrego, Acosta Ruiz y Lara Lara, 1977).

#### 4 METODOS Y MATERIALES

Las muestras de la columna de agua y los núcleos de sedimento se tomaron en las cercanías de la boca, frente al hotel del Estero Beach (Fig. 2). Se realizaron cuatro muestreos en 1981, en los que se obtuvieron muestras de la columna de agua de mar y muestras de sedimentos. Los muestreos se hicieron el 7 de julio, 19 de octubre, 30 de octubre y 12 de diciembre con altura de marea de 2, 0.7, 1 y 1 metros respectivamente, con referencia al nivel de marea-media inferior. Se tomaron 4 núcleos en julio y 3 en los demás muestreos. El lugar de muestreo presentó un sedimento lodoso libre de flora y con organismos de la infauna tales como poliquetos e invertebrados. En uno de los núcleos de octubre y en uno de diciembre se encontraron poliquetos.

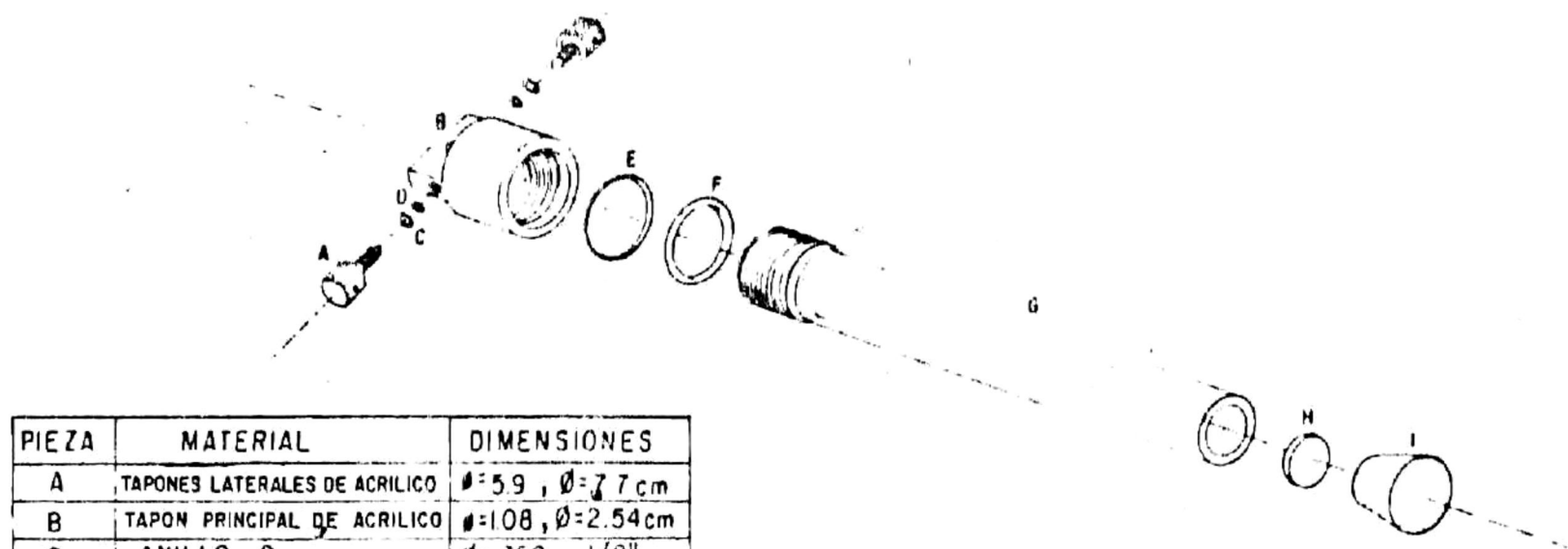
El trabajo se realizó en forma manual mediante buceo contándose con una embarcación Zodiac y equipo del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Los análisis de las muestras se desarrollaron en el laboratorio de Oceanografía Química del mismo Centro de Investigación. Los datos fueron procesados en una computadora PRIME 400.

#### 4.1 SISTEMATICA DE MUESTREO

Los muestras se obtuvieron con nucleadores hechos con cilindros de acrílico de 5 cm por 33 cm con un espesor de pared de 3 mm. La longitud promedio de los núcleos fue de 25 cm. Se utilizó un disco de plástico de 4.5 cm de diámetro y de 0.5 cm de espesor que se colocó sobre la superficie del sedimento para minimizar la perturbación al momento de clavar el nucleador, y que sirviera de pistón al momento de sacar el núcleo del muestreador (Fig. 3).

La forma en que se obtuvo el núcleo fue colocando el disco de plástico (H) sobre la superficie del sedimento, se puso el nucleador sobre el disco con el tapón principal (E) cerrado y sin los tapones laterales (A), se clavó el nucleador golpeando con una barra octédica, se pusieron los tapones laterales (A), se sacó el nucleador y rápidamente se le puso el tapón de fondo (I) sin empujar el sedimento demasiado, se aseguró el cabo que rodea al nucleador. Este es un cabo que asegura que no se salga el tapón (I).

Los núcleos fueron almacenados a temperatura promedio de



| PIEZA | MATERIAL                      | DIMENSIONES                                    |
|-------|-------------------------------|------------------------------------------------|
| A     | TAPONES LATERALES DE ACRILICO | $\varnothing = 5.9$ , $\varnothing = 7.7$ cm   |
| B     | TAPON PRINCIPAL DE ACRILICO   | $\varnothing = 1.08$ , $\varnothing = 2.54$ cm |
| C     | ANILLO O                      | $\varnothing = 7.50$ , $1/8"$                  |
| D     | ANILLO O                      | $\varnothing = 5.00$ , $1/16"$                 |
| E     | ANILLO O                      | $\varnothing = 1.900$ , $1/16"$                |
| F     | ANILLO O                      | $\varnothing = 2.312$ , $1/8"$                 |
| G     | TUBO DE ACRILICO              | 30 x 5 cm                                      |
| H     | DISCO DE PLASTICO             | 4.5 x 0.5 cm                                   |
| I     | TAPON DE HULE                 | # 10                                           |

FIG. 3 - NUCLEADOR MANUAL

4°C y a la oscuridad, evitando el movimiento hasta la extracción de las aguas intersticiales. *parados.*

Las muestras de agua de mar de la columna de agua fueron tomadas con jeringas de 50 ml cada 50 cm desde el fondo hasta la superficie, tomándose dos muestras en el fondo. Esto también fue hecho por tucan. En la emborcación, las muestras se vaciaron en botellas de polipropileno de 60 ml pasando por un filtro de membrana de 0.45  $\mu$ m, colocadas a una temperatura de 4°C en la oscuridad.

#### 4.2 SISTEMATICA DE EXTRACCION

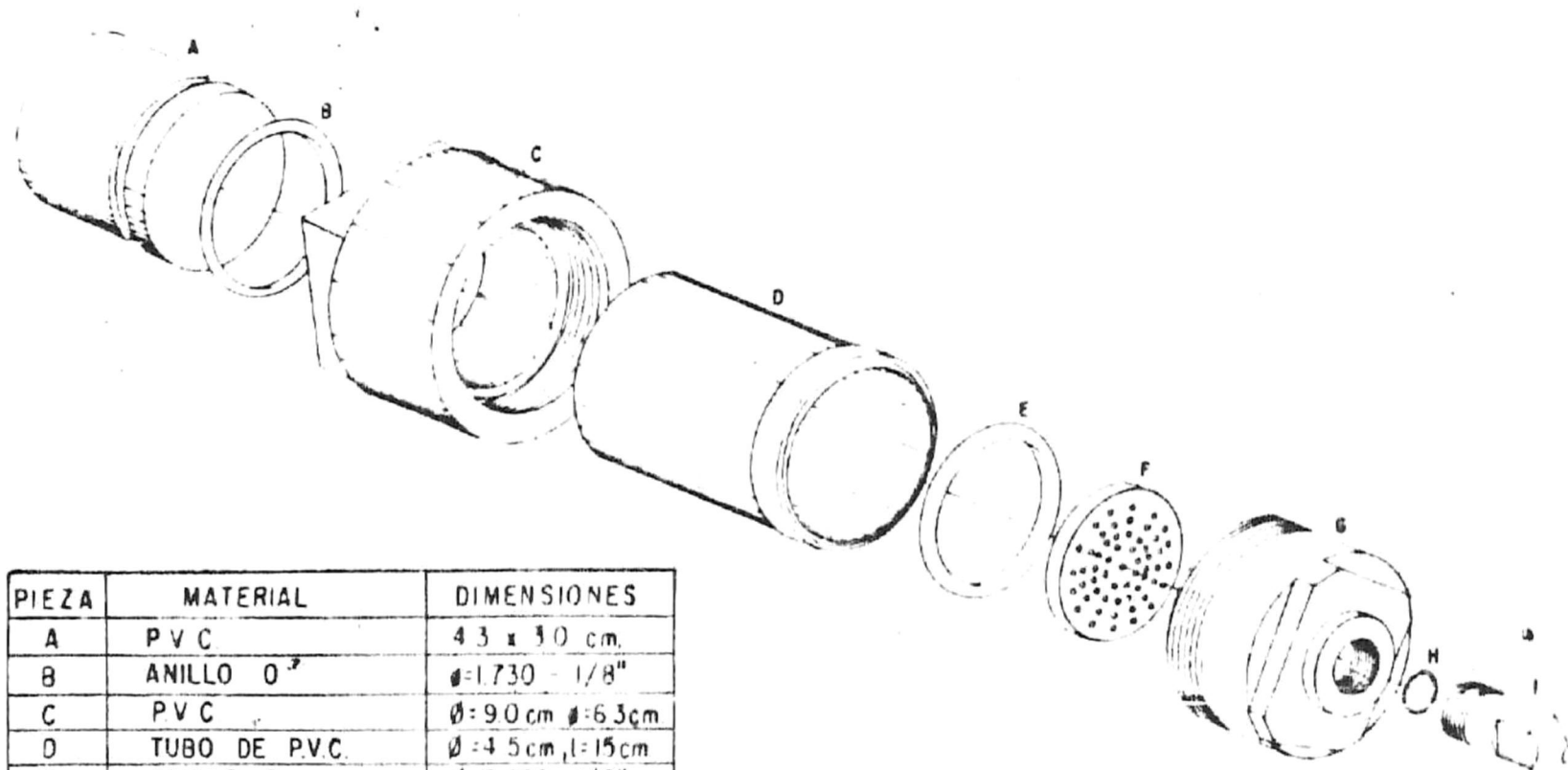
En el laboratorio, a los núcleos se les sacó el agua sobrenadante y se guardó para su análisis posterior. Los núcleos de julio fueron medidos antes y después de ser extraídos del nucleador, los demás núcleos ya no se midieron antes de la extracción pues la variación en la longitud del núcleo antes y después de este proceso no era significativa. Los núcleos fueron sacados de los cilindros empujando el disco



a manera de pistón y se cortaron en rebanadas de 1 cm de espesor los primeros 6 cm tomando como origen la interfase agua-sedimento y el resto del núcleo en rebanadas de 2 cm. Los núcleos de julio se cortaron en rebanadas de 1 cm los primeros 4 cm cada 2 cm los 6 cm siguientes y cada 4 cm el resto del núcleo. Un núcleo del muestreo del 30 de octubre se partió en dos a lo largo antes de ser rebanado. En cada muestreo se utilizó un núcleo para medir la porosidad del sedimento.

La notación empleada para los muestreos fue tomando la localidad, la fecha de muestreo y la letra correspondiente al núcleo, quedando EPBU781A, EPBU781B, EPBU781C para julio, EP201981A, EP201981B, EPBU3081A, EPBU3081B, EPBU3081BB, para los dos muestreos de octubre y EP201281A y EP201281B para diciembre. La distancia de separación entre los núcleos fue aproximadamente de 10 m en todos los muestreos.

A las rebanadas de los núcleos de julio, 19 de octubre y EPBU3081A del 30 de octubre se les extrajo el agua intersticial unas horas después del muestreo a través de un sistema de compresión del sedimento. Se utilizó un sistema de extracción de Teflón-PVC con filtro Whatman # 1 (Fig. 4). El sedimento se comprimió bajo una presión de 1/2 ó 1 tonelada



| PIEZA | MATERIAL       | DIMENSIONES                                              |
|-------|----------------|----------------------------------------------------------|
| A     | PVC            | 43 x 30 cm.                                              |
| B     | ANILLO O       | $\varnothing=1.730 - 1/8"$                               |
| C     | PVC            | $\varnothing=9.0\text{ cm } \varnothing=6.3\text{ cm}$   |
| D     | TUBO DE P.V.C. | $\varnothing=4.5\text{ cm, l}=15\text{ cm}$              |
| E     | ANILLO O       | $\varnothing=2.055 - 1/8"$                               |
| F     | TEFLON         | $\varnothing=4.7\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$         |
| G     | TEFLON         | $\varnothing 6.2\text{ cm, } \varnothing 1.7\text{ cm.}$ |
| H     | ANILLO O       | $\varnothing=.50 - 1/8"$                                 |
| I     | TEFLON         | $\varnothing=1.7\text{ cm, l}=5.0\text{ cm.}$            |

FIG 4 - EXTRACTOR PARA SEDIMENTOS

según grueso de la rebanada de sedimento puesto en una prensa hidráulica Carver con capacidad de 12 toneladas métricas. La forma de extraer las aguas intersticiales es poniendo el sedimento dentro del tubo de PVC (D, Fig. 4) en el sistema ya armado (partes C, D, E, F, G, H e I unidas y con un filtro Whatman # 1 entre D y F). En la parte superior del tubo de PVC (D) se pone, a manera de pistón, una barra de PVC (A) sobre la cual se ejerce la presión de la prensa hidráulica. A la parte inferior del sistema (I) se le conecta una manguera y una jeringa que se succiona continuamente para obtener el agua intersticial. El agua se pasó a una botella de Teflón de 10 ml a través de un filtro de membrana de  $0.45 \mu m$  y se almacenó en atmósfera saturada de agua a 4 °C en la obscuridad hasta su análisis. Durante este proceso la temperatura controlada del laboratorio fue de 18 °C.

Debido a que el extractor de Teflón-PVC se rompió en la parte del tubo de PVC (D) los demás núcleos fueron centrifugados a 9 000 rpm a una temperatura de 15 °C en la Ultracentrífuga DAKIN TEC 8-20A CENTRIFUGE del Departamento de Química de la Escuela Superior de Ciencias Marinas. Los núcleos de octubre se centrifugaron el 8, 9 y 10 de noviembre, el núcleo de diciembre EPBD12B1A se centrifugó el 14 y 15 del mismo mes y el núcleo EPBD12B1B el 15 de enero de 1982. En

cada tubo de centrifugación se usó un sistema de embudo con una base de plástico sobre la cual se tenía un filtro Whatman # 1. Esta base servía como soporte para el sedimento y también evitaba el contacto del sedimento y el agua intersticial después de centrifugada la muestra. Las muestras de aguas intersticiales se obtuvieron también con jeringa y se almacenaron de la manera ya descrita.

La temperatura del laboratorio debe controlarse porque al aumentar la temperatura in situ del sedimento a la temperatura ambiental del laboratorio en el momento de la extracción conduce a un incremento en la concentración de sílice disuelto de hasta un 51 % (Bischoff, 1970, Fanning y Pilson, 1971). Otro elemento que debe controlarse es la presión a la cual los sedimentos son comprimidos (Auciais, comunicación personal). En este trabajo la presión ejercida sobre los sedimentos será mínima debido a que la cantidad de sedimento es poca en cada rebanada, lo que hace a este factor el tener un efecto mínimo.

#### 4.3 SISTEMATICA DE ANALISIS

Se determinó  $\text{SiO}_2$ , pH, S‰ de las aguas intersticiales y de la columna de agua de mar. Al sedimento se le determinó la porosidad y el tamaño de grano. A las aguas sobrenadantes se les determinó pH y  $\text{SiO}_2$ .

Los análisis de  $\text{SiO}_2$  para los núcleos se hicieron después de tiempos diferentes. Para los núcleos de julio, del 19 de octubre y EPRD12B1A los análisis se hicieron lo mas rápidamente posible después de la extracción. Para los núcleos EPB030B1A y EPR000B1B se hizo la medición después de mes y medio de la extracción. Para el núcleo EPB030B1B después de tres meses y para el núcleo EPRD12B1B después de un mes de la extracción. Estas diferencias en tiempo se hicieron para ver el posible efecto del tiempo de espera en los análisis.

La determinación de sílice disuelto en muestras de la columna de agua se hizo según el método de Mullin y Riley (1955), con las modificaciones descritas por Strickland y Parsons (1977), variando la forma de preparar el agua de mar

sintética, esta agua se hizo según Koroleff (citado por Grasshoff, 1976). Se utilizó un estándar de la casa Anderson Laboratories Inc. (Banco standardized) 1 ml = 1 mg Si (1000 ppm), diluido para su uso, 10 ml (1 g Si l) en 100 ml agua deionizada, con una concentración stock de  $3561 \mu\text{M}$ , para los estándares. Se prepararon curvas de calibración en un rango igual al que se esperaba encontrar en las muestras. La determinación de sílice en aguas intersticiales se hizo según Mann y Gieskes (1975), también con las modificaciones ya mencionadas, además se puso la solución de Molibdato-HCl primero que la muestra y el tiempo de espera para la formación del complejo amarillo se cambió a 10 min.

Las lecturas se hicieron en un espectrofotómetro Spectronic 210 UV, Shimadzu, Bausch and Lomb, en celdas de cuarzo de 1 cm para las muestras de agua intersticial y de 10 cm cilíndricas para las muestras de la columna de agua y agua sobrenadante, a 810 nm y por comparación con agua deionizada. Se tomaron 10 valores para cada lectura con intervalos de 5 segundos y se utilizó la media como dato teniendo, en el rango de 0.000 a 1.000, una desviación estándar promedio de 0.003. La precisión del método fue de 1.5 % y el límite de detección fue de  $0.3 \mu\text{M}$ .

Los valores de pH se obtuvieron con un potenciómetro Orion Research 611 con un electrodo combinado de doble unión, siguiendo a Hansson (1973). Todas los análisis de esta variable se hicieron lo mas rapidamente posible después de la extracción, la medición mas tardada fue a los tres dias y fue para el núcleo EF200081BB.

La determinación de salinidad se hizo siguiendo el método Knudsen, citado por Strickland y Parsons (1977), incluyendo una dilución debido a la poca cantidad de muestra disponible. El mismo factor de dilución se utilizó para el agua estándar (Agua de Copenhague) y para las muestras, 0.5 ml en 10 ml. El tiempo de medición para cada muestreo varió. Para los dos de octubre las mediciones se hicieron después de 15 días y para diciembre la medición se hizo después de 8 meses.

Para la porosidad se tiene que, mediante pérdida de peso a 110° C, en horno Precision, se obtuvo el peso del agua dulce contenida en el sedimento, conociendo la salinidad y la densidad del agua intersticial y utilizando la siguiente formula, se obtiene esta variable.

$$\phi = \frac{\left( \frac{\text{Peso agua} + \text{Peso sales}}{\rho_{\text{agua}}} \right)}{\left[ \left( \frac{\text{Peso agua} + \text{Peso sales}}{\rho_{\text{agua}}} \right) + \left( \frac{\text{Peso total} - \text{Peso agua} - \text{Peso sales}}{\rho_{\text{sed}}} \right) \right]} \quad (2)$$

Se utilizó una densidad promedio del sedimento de 2.6 g/cm .

Se determinó el tamaño del grano contenido en el sedimento. Esto se hizo haciendo pasar el sedimento seco, el utilizado para porosidad, a través de un juego de tamices de 250 y 177 micrones, se pesó cada una de las fracciones retenidas en los tamices y el receptor y se obtuvo el porcentaje de cada uno y se clasificó el sedimento de acuerdo a Folk (1954).

Para el cálculo del Flujo de sílice disuelto en la interfase agua-sedimento se utilizó la fórmula (1). En donde el coeficiente de difusión  $D$  y la tortuosidad  $\theta$  se integran en un coeficiente  $D_c$  que es el utilizado por Schink et al. (1975). Este coeficiente tiene un valor de  $4 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \cdot \text{seg}^{-1}$ .

Las siguientes asunciones fueron hechas para el cálculo del flujo de sílice disuelto. Basadas en Anikouchine (1967) y Tzur (1966)

La razón de acumulación de sedimentos es constante.

Los minerales son homogéneos y tienen composición



mineralógica y química igual.

Existe homogeneidad lateral en el sistema, lo que permite un tratamiento unidimensional de la muestra.

El flujo de agua intersticial es laminar.

La porosidad utilizada en los cálculos de flujo de sílice fue la obtenida para cada muestreo y para julio se utilizó la del 30 de octubre ya que en este mes se encontraron las mas altas salinidades y es de esperarse que en verano se encuentren mayores salinidades en el agua intersticial. El gradiente de concentración de sílice varió para cada uno de los núcleos y se obtuvo con los valores de la columna de agua y de las aguas intersticiales mas cercanos a la interfase y por medio de la siguiente fórmula.

$$\Delta C = \frac{C_{\text{agua intersticial}} - C_{\text{agua de la columna}}}{0.5 \text{ cm}} \quad (3)$$

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Determinación en la columna de agua

En la columna de agua el sílice disuelto tiene un comportamiento diferente para cada muestreo. Para julio se tienen valores menores de  $1 \mu M$  en toda la columna, con un valor mínimo en el primer metro y un máximo de  $0.6 \mu M$  a los 3 metros de profundidad ( Fig. 5 ). Para mediados de octubre esta variable tiende a disminuir conforme aumenta la profundidad con un gradiente de  $0.6 \mu M m^{-1}$  hasta los 4 metros para incrementarse ligeramente en la parte mas cercana a la interfase ( Fig. 6 ). A finales de octubre el sílice se incrementa  $4.1 \mu M$  en el primer metro de profundidad para decrecer en el siguiente medio metro cerca del valor inicial ( $5.9 \mu M$ ) y permanecer constante hasta las cercanías de la interfase en donde tiene un ligero aumento y luego un descenso ( Fig. 7 ). En diciembre se tiene una variación irregular con la profundidad, en forma de zig-zag, teniéndose valores máximos y mínimos a diferentes profundidades, siendo el valor

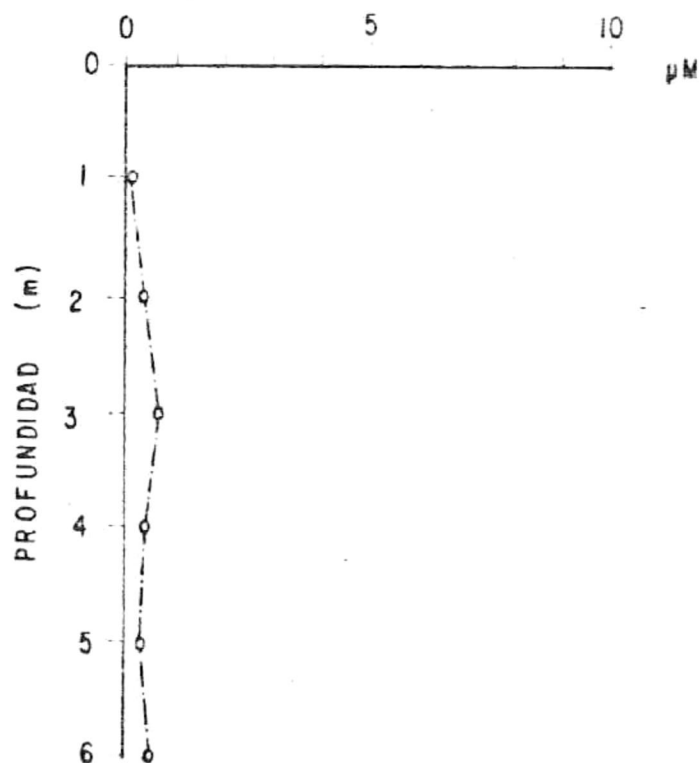


FIG. 5.- Distribución vertical de  $\text{SiO}_2$  ( $\mu\text{M}$ ) para la columna de agua en Julio.

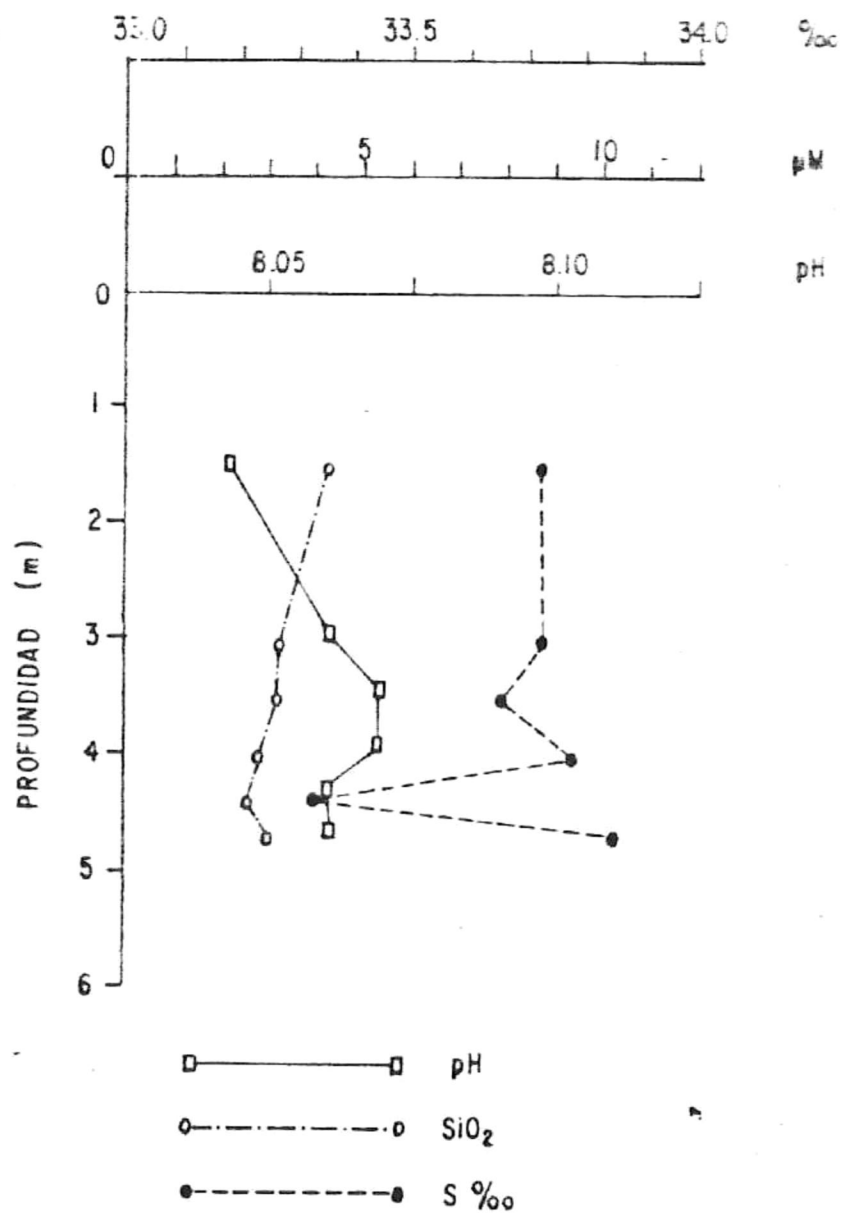


FIG. 6.- Distribución vertical de pH,  $\text{SiO}_2$  ( $\mu\text{M}$ ) y  $\text{S } \text{‰}$  para la columna de agua a mediados de Octubre.

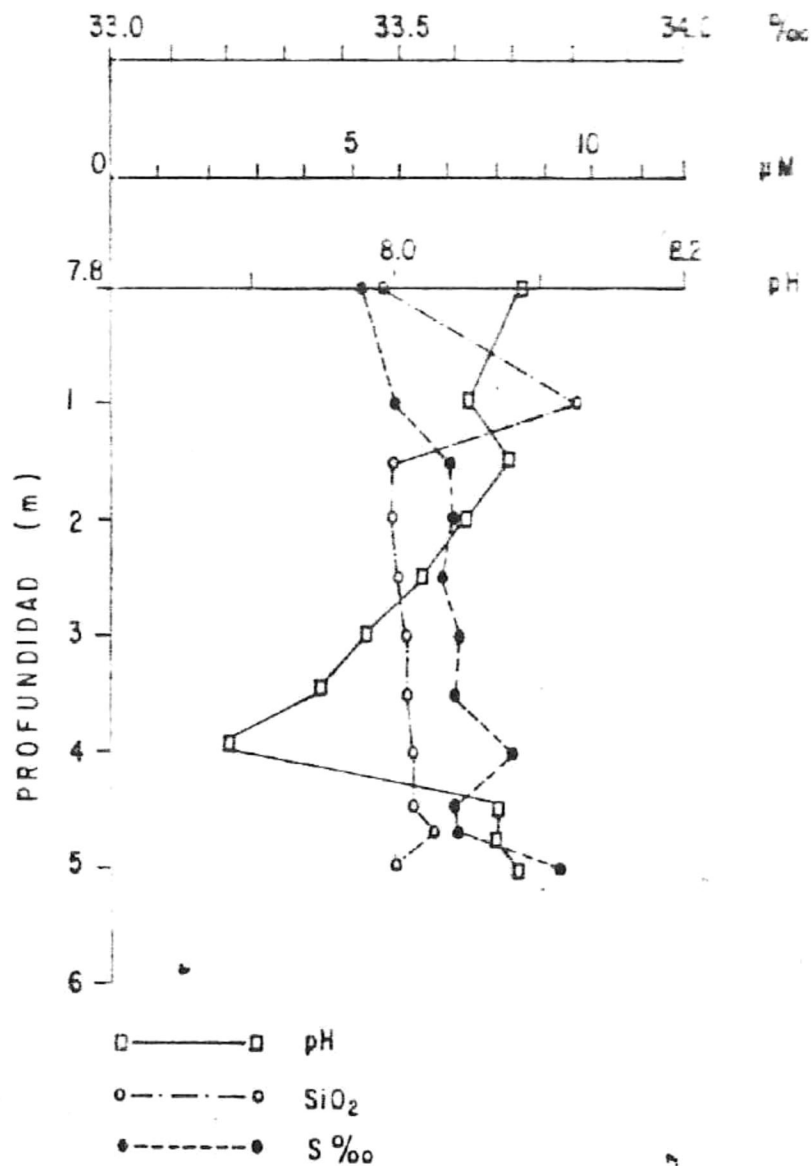


FIG. 7.- Distribución vertical de pH, SiO<sub>2</sub> (μM) y S ‰ , para la columna de agua a finales de Octubre.

máximo de  $11 \mu\text{M}$  a los 0.5, 3.5 y 5.5 m y valores mínimos de  $6.5 \mu\text{M}$  a los 2 m y  $7.4 \mu\text{M}$  a los 4 m (Fig. 5). Mientras que para finales de octubre tiende a disminuir con la misma

Para mediados de octubre el  $pH$  tiene, a partir del primer metro y media, un aumento de  $0.01 \text{ m}^{-1}$  hasta los 3.5 mts de profundidad, a los 4 m tiene un decremento de 0.01 y alcanza un valor de 8.04 en las cercanías a la interfase (Fig. 6). A finales de octubre tiene un valor alto en la superficie de la columna y muestra un descenso con la profundidad con un gradiente de  $0.05 \text{ m}^{-1}$  alcanzando un mínimo a los 4 m, y teniendo un marcado incremento con gradiente de  $0.2 \text{ m}^{-1}$  para el resto de la columna, alcanzando un valor de 8.06 en la interfase (Fig. 7). En diciembre esta variable nuevamente tiende a incrementarse con la profundidad teniendo un gradiente de  $> 0.01 \text{ m}^{-1}$  desde la superficie hasta los 2.5 m, se mantiene constante hasta los 3 m y a partir de este punto el comportamiento es irregular, en forma de zig-zag, con aumentos y descensos de  $0.01 / 0.5 \text{ m}$  hasta tener un valor de 8.11 cerca de la interfase (Fig. 8).

La salinidad muestra diferencias en el comportamiento en cada uno de los muestreos. Para mediados de octubre el comportamiento es irregular, a partir de los 3 m tiene un

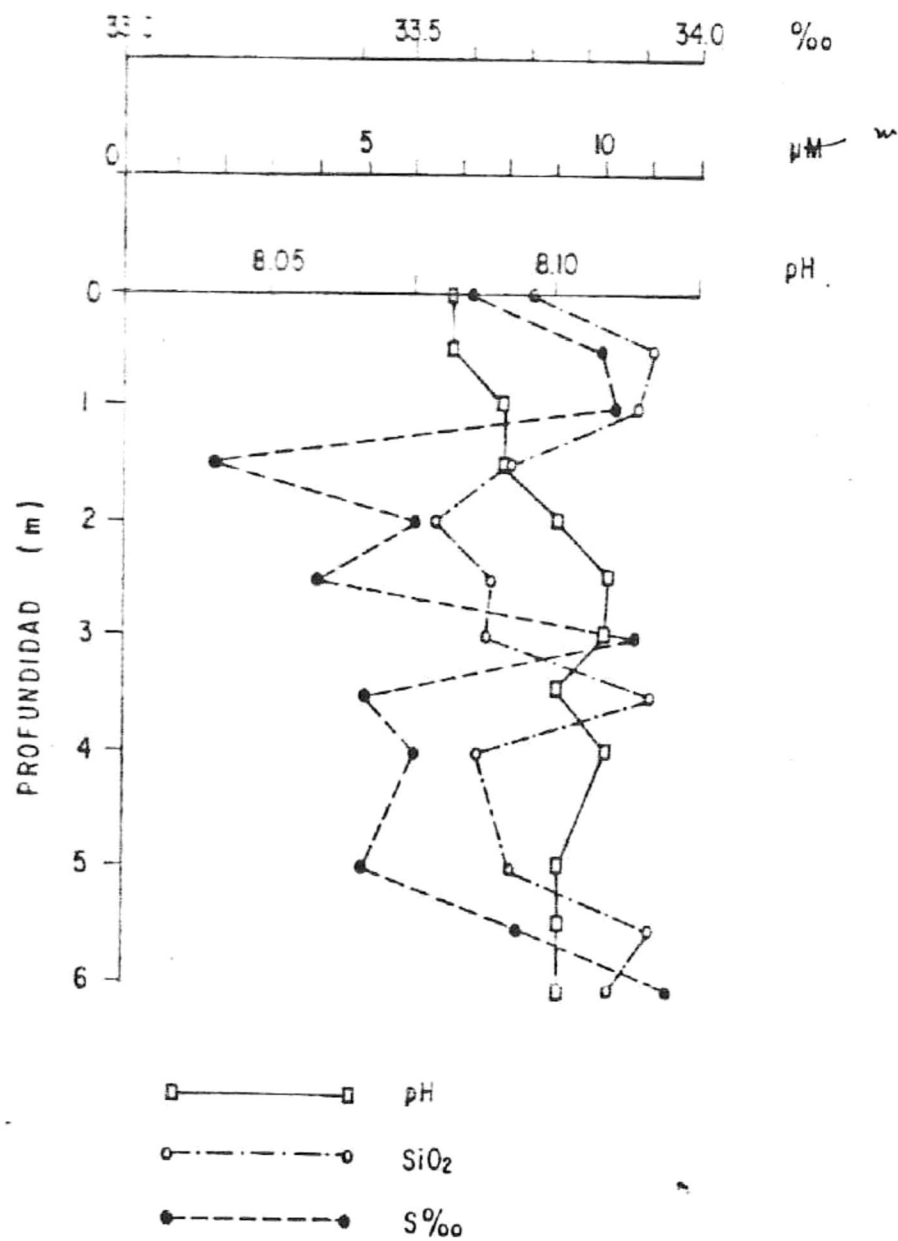


FIG. 8.- Distribución vertical de pH,  $\text{SiO}_2$  ( $\mu\text{M}$ ) y  $\text{S}\text{‰}$  para la columna de agua en Diciembre.

ligero decremento luego aumenta nuevamente , mostrando un mayor descenso a los 4.5 m y elevándose nuevamente en las cercanías de la interfase ( Fig. 6 ). A finales de octubre esta variable tiende, en forma general, a aumentar con la profundidad, teniendo un gradiente de  $0.11\% \cdot m^{-1}$  en el primer metro y medio de profundidad. De esta parte a los 3.5 m la salinidad se mantiene constante, a partir de este punto el comportamiento es en forma de zig-zag, aumentando a los 4 m en  $0.10\%$ , disminuyendo este mismo rango en el siguiente medio metro. En la parte final de la columna se incrementa de nuevo en  $0.18\%$  alcanzando un valor de  $33.78\%$  (Fig. 7). La salinidad en diciembre tiene un comportamiento muy similar al del sílice disuelto teniendo una variación irregular en forma de zig-zag, con valores máximos superiores a  $33.8\%$  a los 1, 3 y 6 m y con valores mínimos de  $33.15\%$  al metro y medio,  $33.33\%$  a los 2.5 m y  $33.42\%$  a los 3.5 y 5 m ( Fig. 8 ).

La relación directa entre la salinidad y el sílice disuelto y la relación inversa de ambos con el pH es claro en los tres muestreos. Se tienen comportamientos semejantes de sílice disuelto y salinidad, mientras que para el pH es diferente, correspondiendo aumentos de valores de sílice y salinidad a descensos del valor del pH y viceversa.



## 5.2 Determinación en aguas intersticiales

El sílice disuelto en las aguas intersticiales muestra, en general, valores ~~menores~~ de un orden de magnitud mas altos que los encontrados en la columna de agua, encontrándose los valores máximos en la parte superior de los núcleos. Para julio se tiene que el núcleo EPBU7B1A muestra un decremento con un gradiente de  $16.5 \mu\text{M cm}^{-1}$  hasta los 7 cm, a partir de este punto los valores pueden considerarse constantes para el resto del núcleo. El núcleo EPBU7B1B tiene en la superficie valores menores que los otros núcleos del muestreo mostrando un pequeño descenso (de 90 a  $75 \mu\text{M}$ ) en los primeros 2 cm del núcleo y luego se eleva con un gradiente de  $3 \mu\text{M cm}^{-1}$  hasta los 17 cm y en la parte final del núcleo decrece nuevamente. El núcleo EPBU7B1C tiene un comportamiento irregular, en forma de zig-zag, teniendo valores máximos de 142, 100 y  $123 \mu\text{M}$  en la superficie y a los 10 y 21 cm respectivamente, y valores mínimos de 88 y  $54 \mu\text{M}$  a los 5, 14 y 34 cm respectivamente (Fig. 9). Para mediados de octubre esta variable muestra para el núcleo EPBU14B1A un descenso de  $103 \mu\text{M}$  a  $71 \mu\text{M}$  en el primer centímetro, luego se incrementa fuertemente con un gradiente de  $52 \mu\text{M cm}^{-1}$  hasta los 4 cm, de

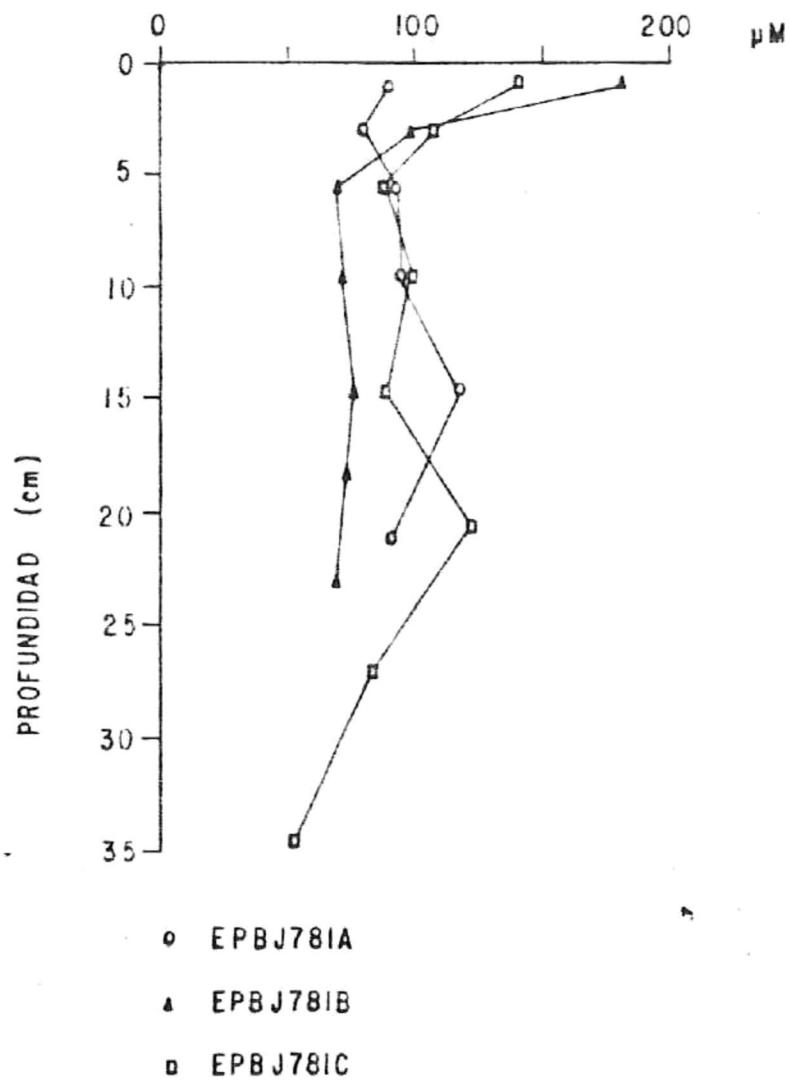


FIG. 9.- Distribución vertical de SiO<sub>2</sub> (µM) en aguas intersticiales en Julio.

esta profundidad a los 9 cm desciende con un marcado gradiente de  $18.5 \mu\text{M cm}^{-1}$ , de este punto hasta el fondo el sílice aumenta con un gradiente de  $2.4 \mu\text{M cm}^{-1}$ . Para el núcleo EPBQ1981B esta variable aumenta en el primer centímetro de  $97 \mu\text{M}$  a  $127 \mu\text{M}$ , después disminuyen los valores en forma gradual hasta alcanzar  $75 \mu\text{M}$  a los 12 cm y nuevamente elevarse, en forma marcada, hasta los 16 cm alcanzando un valor de  $121 \mu\text{M}$  y después permanecer constante (Fig. 10). A finales de octubre esta variable tiene un comportamiento irregular para los dos núcleos. En el núcleo EPBQ3081A el sílice manifiesta una variación en zig-zag, pero con una tendencia a incrementarse desde la superficie hasta los 17 cm en donde alcanza un valor máximo de  $118 \mu\text{M}$  y para el resto del núcleo el comportamiento es constante (Fig. 11). Para los núcleos EPBQ3081B y EPBQ3081BB, que son un sólo núcleo partido en dos a lo largo, el comportamiento del sílice es muy semejante entre sí (Fig. 12). Haciendo un promedio de sus valores se obtiene el núcleo EPBQ3081PRQ en donde el comportamiento del sílice es en forma irregular pero en general tiende a disminuir, presentando un aumento de  $94$  a  $156 \mu\text{M}$  en el primer centímetro, descendiendo en el siguiente centímetro para ligeramente incrementarse de los 3.5 a los 5.5 cm, de este punto hasta los 9 cm tiene un marcado decrecimiento con gradiente de  $27.4 \mu\text{M cm}^{-1}$ , para aumentar de nuevo con un gradiente de  $8.5 \mu\text{M cm}^{-1}$  y en la

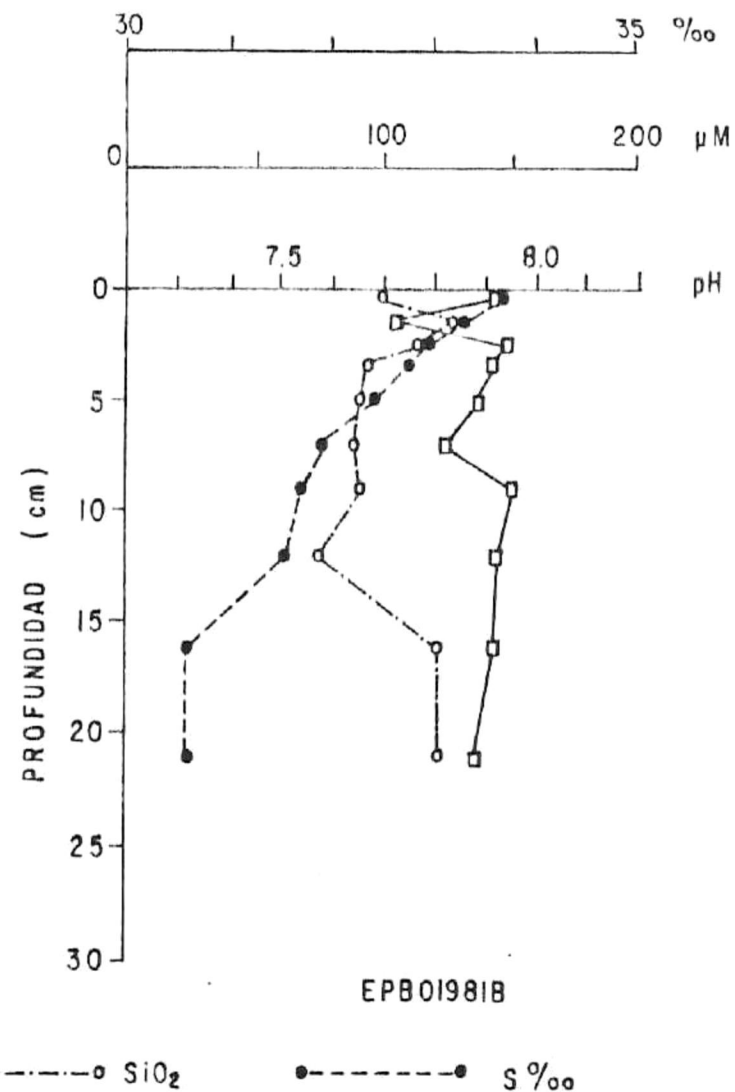
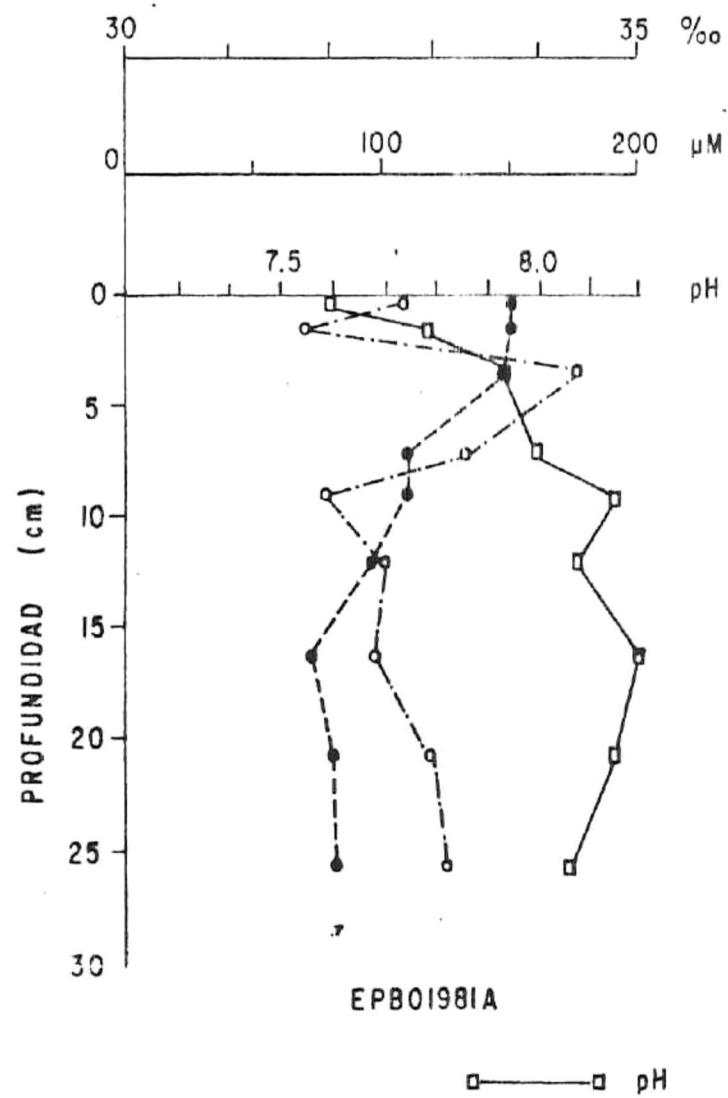
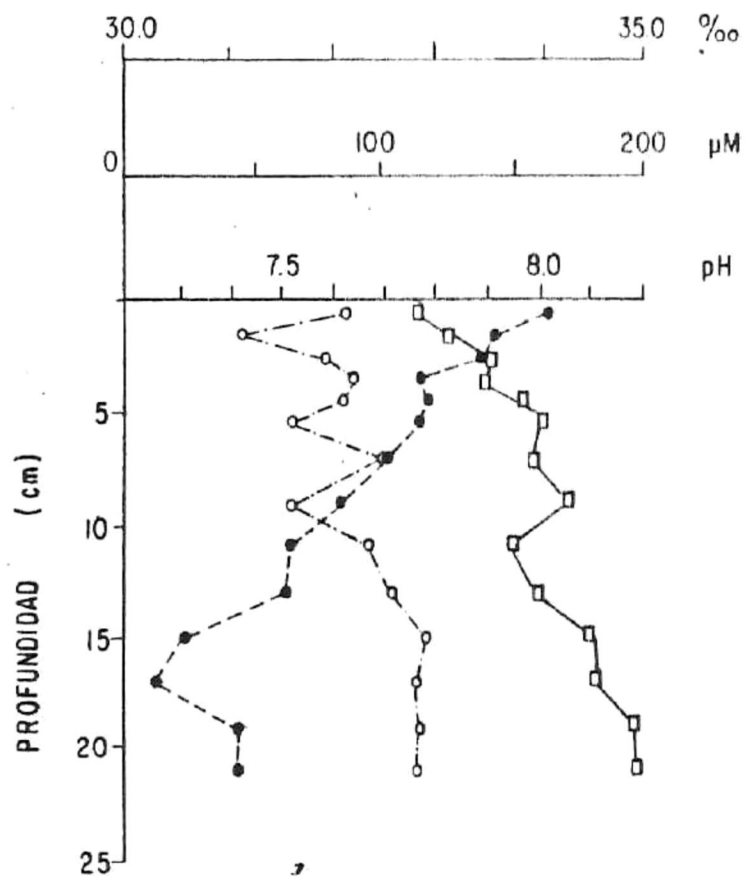
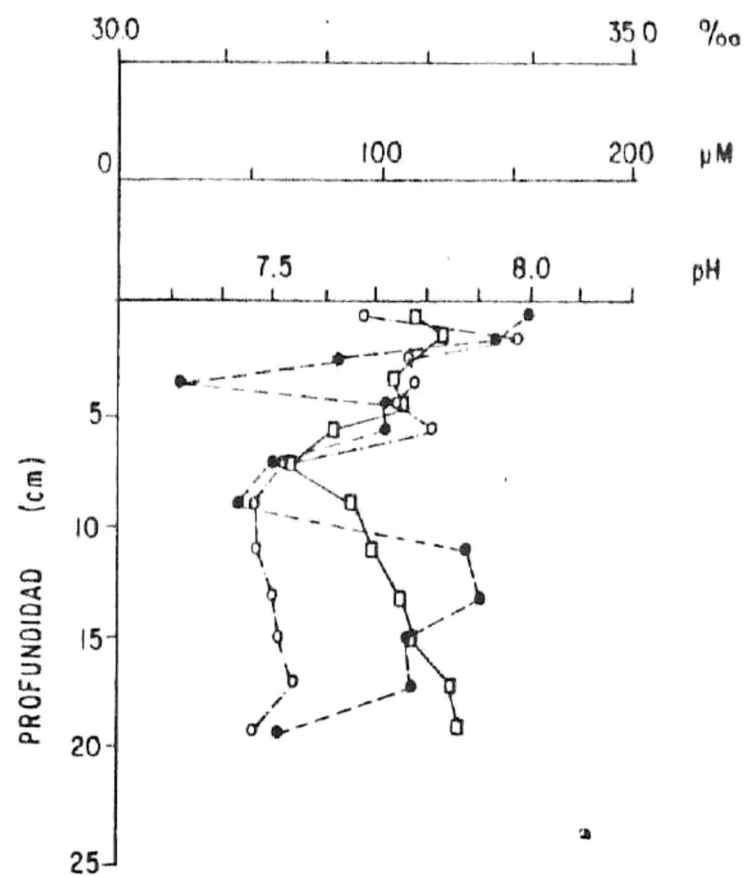


FIG. 10.- Distribución vertical de pH, SiO<sub>2</sub> y S‰, en aguas intersticiales a mediados de Octubre.



EPB03081A



EPB03081PRO

- — □ pH
- - - - ○  $\text{SiO}_2$
- - - - ●  $\text{S}‰$

FIG. II — Distribución vertical de pH,  $\text{SiO}_2$  y  $\text{S}‰$ , en aguas intersticiales, a finales de Octubre.

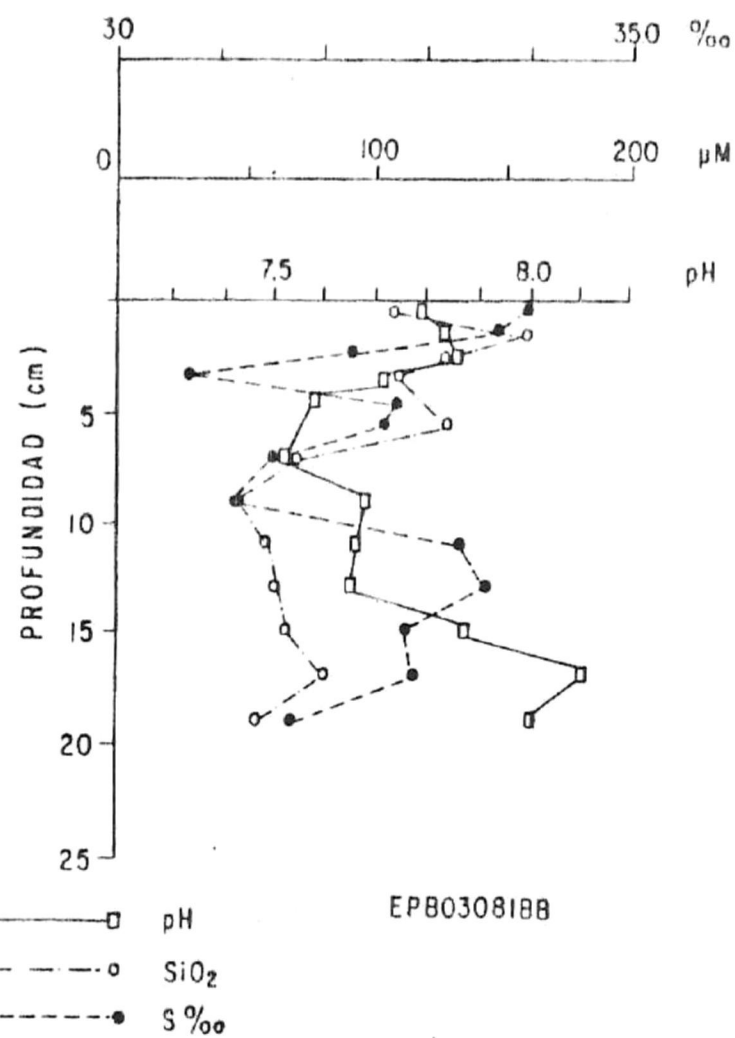
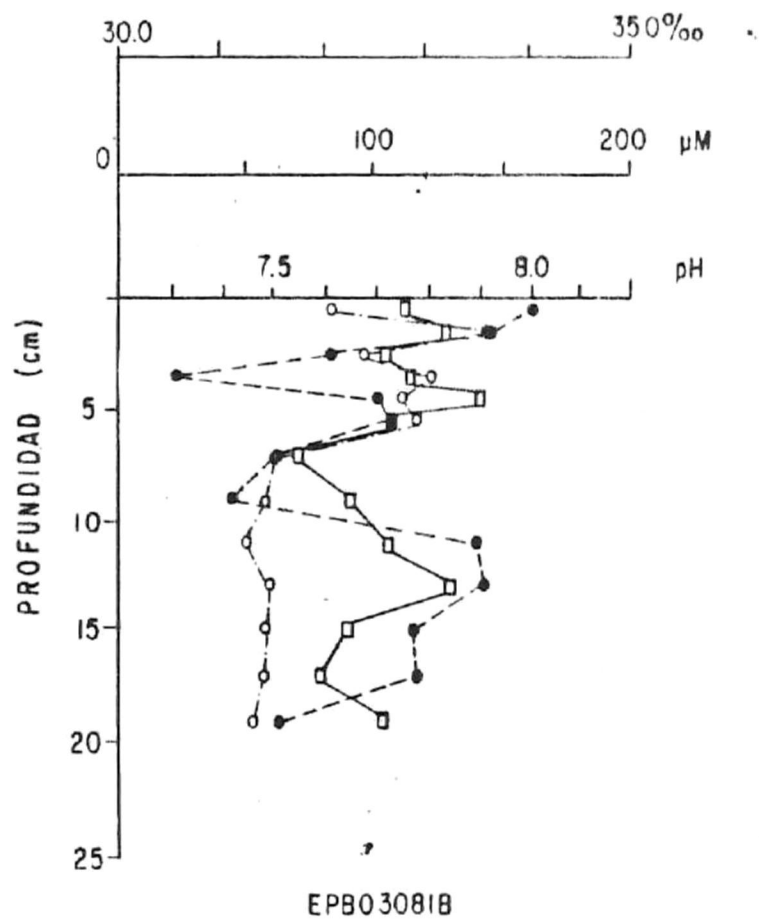
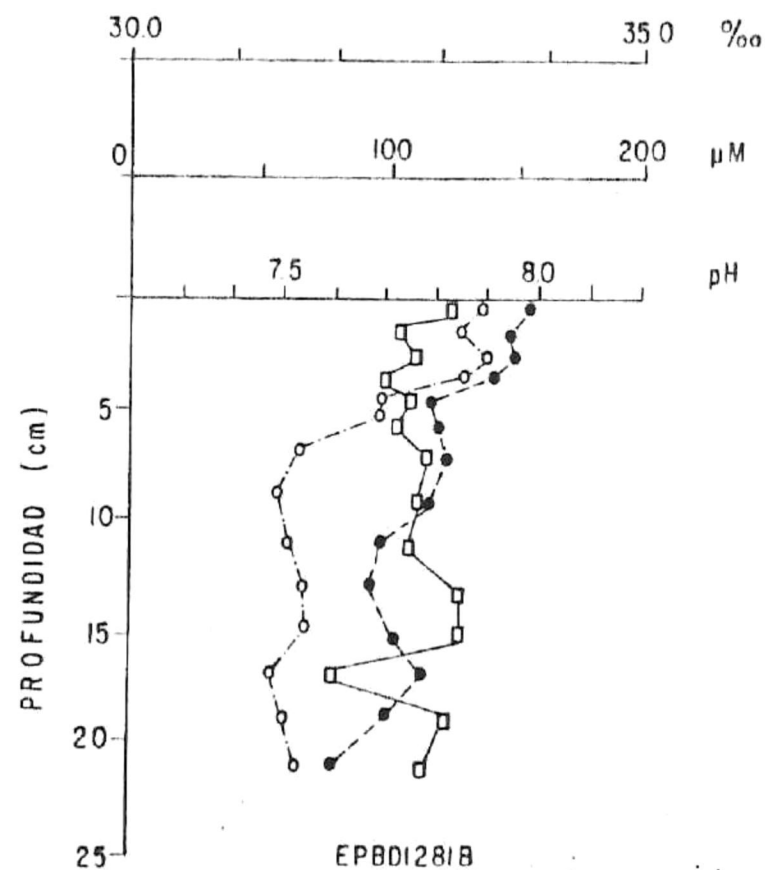
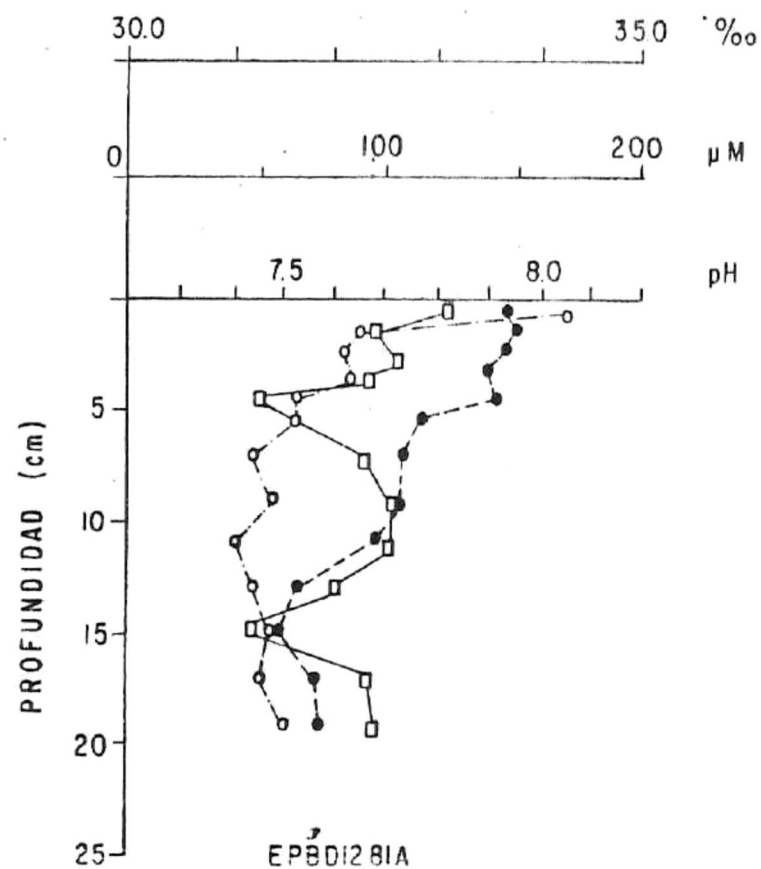


FIG. 12.- Distribución vertical de pH,  $\text{SiO}_2$  ( $\mu\text{M}$ ) y S ‰ en los núcleos B y BB de finales de Octubre.

parte profunda disminuye nuevamente a un valor de  $52 \mu\text{M}$  (Fig. 11). En diciembre el sílice tiende a disminuir con la profundidad. En el núcleo EPBD12B1A muestra un marcado decremento en el primer centímetro (de  $170$  a  $87 \mu\text{M}$ ), para el resto del núcleo el comportamiento es irregular con aumentos y descensos, pero en forma general tendiendo a disminuir hasta los 11 cm y después incrementarse hasta el fondo del núcleo. Para el núcleo EPBD12B1B esta variable tiende a disminuir en forma irregular de la superficie hasta los 9 cm con un gradiente de  $8.4 \mu\text{M cm}^{-1}$  y de esta profundidad hasta los 15 cm se incrementa ligeramente (de 58 a  $67 \mu\text{M}$ ) después tiene un pequeño descenso y nuevamente aumenta en la parte final del núcleo (Fig. 13).

El pH en el núcleo EPBD19B1A de mediados de octubre presenta un marcado aumento con la profundidad con un gradiente de  $0.04 \text{ cm}^{-1}$  hasta los 16 cm y para el resto del núcleo disminuye. En el núcleo EPBD19B1B tiene un comportamiento de decrementos e incrementos en los primeros 9 cm, con máximos mayores de 7.93 a los 0.5, 2.5 y 9 cm y mínimos a los 1.5 y 7 cm, a partir de los 9 cm tiende a disminuir continua y ligeramente con la profundidad (Fig. 10). A finales de octubre, en el núcleo EPBD30B1A esta variable tiende a incrementarse en forma irregular, con la



□ — □ pH  
 ○ — ○  $\text{SiO}_2$   
 ● — ●  $\text{S}\text{‰}$

FIG. 13.— Distribución vertical de pH,  $\text{SiO}_2$  y  $\text{S}\text{‰}$ , en aguas intersticiales en Diciembre.



profundidad, en los primeros 9 cm aumenta con un gradiente de  $0.032 \text{ cm}^{-1}$ , luego disminuye ligeramente en los dos siguientes centímetros para después incrementarse nuevamente con un gradiente de  $0.02 \text{ cm}^{-1}$  en lo que resta del núcleo ( Fig. 11 ). Para el núcleo partido en dos el pH tiene una variación irregular con la profundidad, los valores coinciden en algunas profundidades y en otras discrepan. A partir de los 7 cm estas diferencias se acentúan ( Fig. 12 ), dando lugar a que el valor promedio de esta variable, representado en EPBD3081PRD, aumente ligeramente en el primer centímetro y después disminuya en los siguientes 6 con un gradiente de  $0.05 \text{ cm}^{-1}$  ~~es~~ y que para el resto del núcleo se incremente de nuevo con un gradiente de  $0.007 \text{ cm}^{-1}$  ( Fig. 11 ). Para diciembre el pH se comporta muy irregularmente, en forma de zig-zag. En el núcleo EPBD1281A se tienen valores mayores de 7.68 en la superficie y a los 9 y 19 cm, y se tienen marcados mínimos de 7.45 a los 4.5 y 15 cm. En el núcleo EPBD1281B el comportamiento es muy cambiante, con alternancias de aumentos y descensos con cada centímetro, mostrando una ligera tendencia a disminuir en los primeros 5 cm y después a aumentar hasta 15 cm, a los 17 se tiene un mínimo muy marcado de 7.58 y después sigue con el patrón de zig-zag ( Fig. 13 ).

La salinidad en el núcleo EPBD1921A, de mediados de

octubre, disminuye desde la superficie hasta los 15 cm con un gradiente de  $0.12\text{‰/cm}$  y tiende a aumentar ligeramente en la parte final del núcleo. Para el núcleo EPB019B18 esta variable también tiende a disminuir con un gradiente de  $0.18\text{‰/cm}$  hasta los 16 cm y después se mantiene constante para lo que resta del núcleo ( Fig. 10 ). A finales de octubre el comportamiento de la salinidad es diferente para los núcleos. Para la muestra EPB03081A tiende a disminuir con un gradiente de  $0.23\text{‰/cm}$  hasta los 17 cm en donde muestra un aumento de  $1\text{‰}$  en el siguiente centímetro y permanece constante en los 2 cm finales ( Fig. 11 ). Para los núcleos EPB03081E y EPB03081BB el comportamiento de la salinidad es igual ( Fig. 12 ), la que representada en el núcleo EPB03081PRD muestra un comportamiento muy irregular con la profundidad, con marcados máximos y mínimos a todo lo largo del núcleo, los máximos valores (entre  $32.70\text{‰}$  y  $34.04\text{‰}$ ) se encuentran en la superficie y a los 5.5 y 13 cm y los mínimos (entre  $30.60\text{‰}$  y  $31.60\text{‰}$ ) están a los 5.5, 9 y 19 cm ( Fig. 11 ). En diciembre la salinidad en el núcleo EPB01281A tiene una tendencia general a disminuir con la profundidad, aunque se presenta en forma de zig-zag, con un gradiente promedio de  $0.15\text{‰/cm}$  hasta los 15 cm, en la parte final del núcleo tiende a aumentar ligeramente. En el núcleo EPB01281B esta variable también tiene un comportamiento de zig-zag con una tendencia a

disminuir con la profundidad, con un gradiente promedio de  $0.11\%/cm$  a todo lo largo del núcleo ( Fig. 13 ).

En forma general la porosidad del sedimento es mayor en los primeros centímetros de los núcleos con valores de 57-58 % disminuyendo con la profundidad hasta los 5-10 cm alcanzando valores de 43-44 %, para mantenerse constante para el resto de los núcleos ( Fig. 14 ). A mediados de octubre la porosidad se mantiene constante en los dos primeros centímetros, en el siguiente centímetro disminuye bruscamente en un 8 %, aumentando un 3 % el siguiente cm, y en lo que resta del núcleo se comporta constantemente. A finales de octubre el descenso en la porosidad en forma rápida es en el primer centímetro ( de 57% a 45% ), en los siguientes 4 cm disminuye ligeramente hasta llegar a 43%, muestra un aumento de 4% en los siguientes 2 cm y se mantiene constante para lo que resta del núcleo. En diciembre esta variable disminuye los 3.5 primeros centímetros con un gradiente de  $2.9\%/cm$ , en el siguiente cm se incrementa marcadamente hasta alcanzar 60%, para disminuir hasta 45% el siguiente centímetro, el resto del núcleo se puede considerar constante. El tipo de sedimento, según la clasificación de Folk (1954), corresponde a lodo arenoso, sin variar con la profundidad y siendo el mismo en todos los muestreos ( Fig. 14 ).

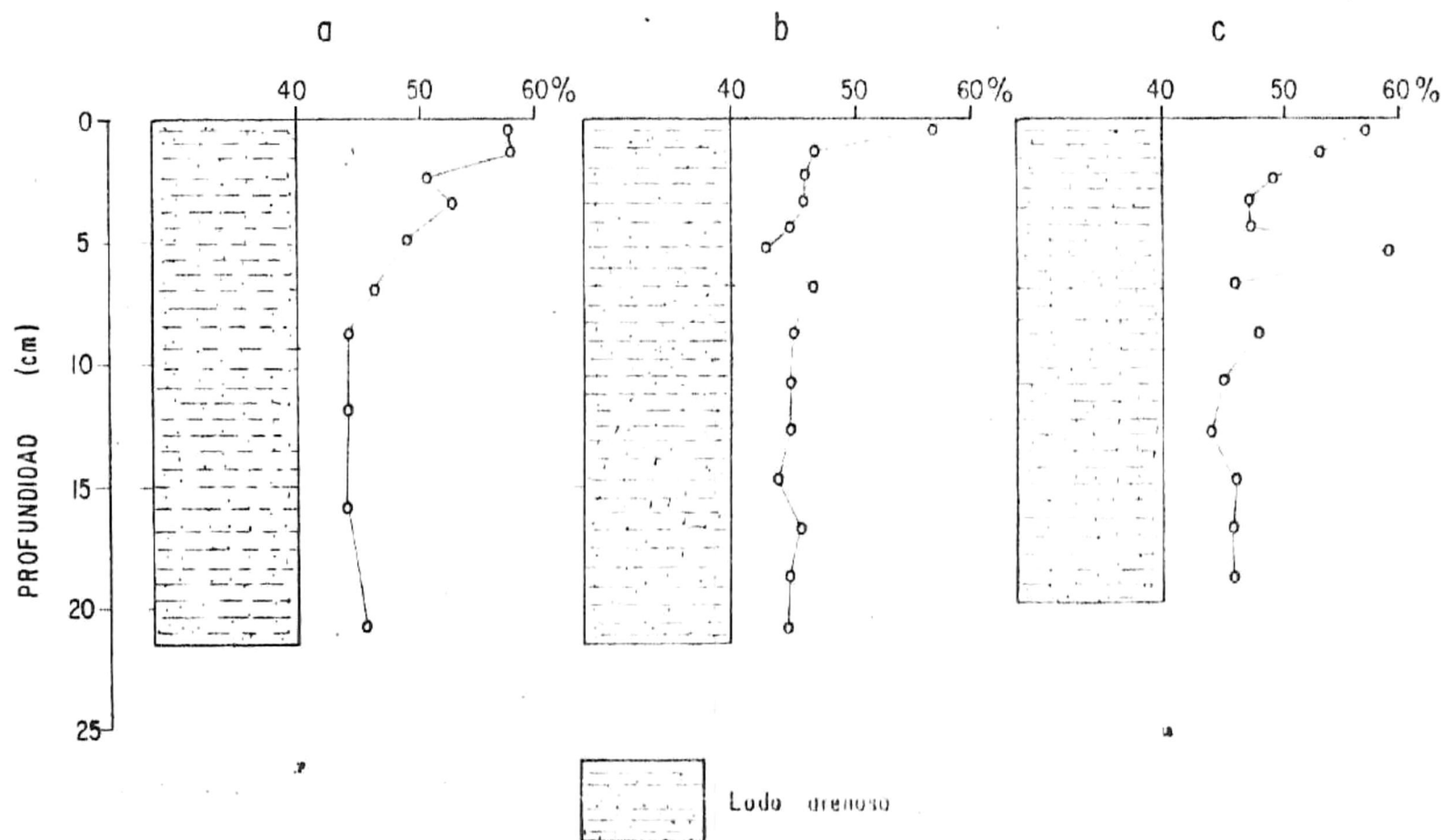


FIG. 14.- Distribución vertical de porosidad (%) y tipo de sedimento para Octubre (a,b) y Diciembre (c).

El valor calculado del flujo de sílice disuelto en la interfase agua-sedimento es de un orden de magnitud de  $10^{-4} \mu\text{M}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ . Para julio y diciembre fue  $6.4 \times 10^{-4} \mu\text{M}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$  de promedio, mientras que para octubre los valores son menores, con promedio de  $4.6 \times 10^{-4} \mu\text{M}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$  para mediados y de  $3.8 \times 10^{-4} \mu\text{M}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$  para finales (Tabla 1).

## 6 DISCUSIONES

Los valores de sílice disuelto en la columna de agua para julio son anormalmente bajos en comparación a los valores de octubre y diciembre, y a los valores encontrados por Millón et al. (1981) para el verano de 1979. Es posible decir que estos valores son valores reales y no valores distorsionados por el análisis en laboratorio, ya que la diferencia entre julio, octubre y diciembre no se observa en las aguas intersticiales. Esta disminución tan marcada podría explicarse en términos de producción primaria por diatomeas, pero como no se hicieron análisis de este tipo no es posible concluir algo al respecto. (Paasche, 1973, Nelson y Goering, 1978, Orellana, 1979).

TABLA I.- Valores de Gradiente de Sílice ( $\Delta C$ ), Porosidad ( $\phi$ ) y Flujo de Sílice disuélto (J) en la interfase.

| Núcleo     | $\Delta C$<br>( $\mu M \text{ cm}^{-1}$ ) | $\phi$ | $J \times 10^4$<br>( $\mu M \text{ SiO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ seg}^{-1}$ ) |
|------------|-------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------|
| EPBJ781A   | 365.2                                     | 0.57   | 8.3                                                                           |
| EPBJ781B   | 179.2                                     | 0.57   | 4.1                                                                           |
| EPBJ781C   | 263.2                                     | 0.57   | 6.5                                                                           |
| EPB01981A  | 209.4                                     | 0.58   | 4.9                                                                           |
| EPB01981B  | 187.4                                     | 0.58   | 4.3                                                                           |
| EPB03081A  | 158.0                                     | 0.57   | 3.6                                                                           |
| EPB03081B  | 152.0                                     | 0.57   | 3.5                                                                           |
| EPB03081BB | 200.0                                     | 0.57   | 4.6                                                                           |
| EPBD1281A  | 319.6                                     | 0.57   | 7.2                                                                           |
| EPBD1281B  | 247.6                                     | 0.57   | 5.6                                                                           |

La variación del sílice disuelto, la salinidad y el pH en función de la profundidad y el tiempo puede explicarse en términos de corrientes de mareas. Fritchard et al. (1978) realizaron mediciones de rapidez y dirección de la corriente en la boca del Estero de Punta Banda, y reportaron que las corrientes del estero son esencialmente corrientes de marea y dirigidas principalmente a lo largo del eje del canal. Estos autores descompusieron la rapidez y dirección de la corriente en componente longitudinal  $U$ , a lo largo del eje local estero y en componente lateral  $V$ , dirigida transversalmente al canal, y reportan que la componente  $U$  mostró variaciones debidas a la marea, alterando entre flujos y reflujos, en cambio la componente  $V$ , generalmente mas pequeña, mostró variaciones al azar (turbulentas) en el tiempo, sin relación aparente con las variaciones de marea. Se reportó también que las velocidades máximas, de 50 a 100 cm/seg, en flujo y reflujo son levemente mayores en la superficie que en el fondo y que durante las mareas vivas las corrientes tienen amplitudes máximas y con las dos descargas de flujo y las dos de reflujo prácticamente iguales a los máximos de las mareas y que durante mareas muertas estas amplitudes muestran grandes desigualdades. Milón et al. (1981) reportan que se tienen altos valores de silicatos en la boca del Estero de Punta Banda indistintamente en mareas altas y bajas. En base a los estudios anteriores puede decirse que las aguas del

Estero son significativamente cambiantes y que el comportamiento de las variables físico-químicas dentro de estas aguas se ve grandemente influenciado por esa dinámica, principalmente por las corrientes de marea.

Específicamente las variables medidas en este trabajo tienen una variación respecto a la profundidad debido a las diferentes corrientes (de superficie y de fondo) y a la turbulencia provocada por estas corrientes, y una variación temporal, de un muestreo a otro, debido a las condiciones cambiantes de las corrientes en función de las mareas vivas y muertas en diferentes épocas del año.

Cabe mencionar que es la primera vez que se muestrea tan detalladamente la columna de agua cerca de la boca del estero. Los trabajos hechos anteriormente muestrearon únicamente en uno o dos niveles de profundidad (Millán Muñoz y Alvarez Borrego, 1978a, Zertuche González y Alvarez Borrego, 1978, Millán et al., 1981). En el presente trabajo se tomaron muestras hasta de 12 niveles lo que permite decir que existe una estructura variable en el sentido vertical, mostrando a menudo variación en forma irregular. Esta variabilidad implica que el cálculo de transporte de materiales, como los hechos por Lara Lara, Alvarez Borrego y Small (1980) y Farfón y Alvarez (En prensa) tomando



únicamente muestras superficiales o muestras de superficie y fondo son sólo una primera aproximación a la realidad. Mis datos sugieren que sería más apropiado obtener una media representativa de toda la columna de agua a través de un bombeo vertical que permitiera obtener una muestra homogeneizada de agua de toda la columna.

Son varios los factores que afectan la concentración de sílice dentro del sedimento, siendo de los más importantes la bioturbación y la razón de disolución del sílice sólido (Schink et al., 1975). Este autor menciona los anteriores factores para sedimentos de mar profundo, en el caso un tercer factor puede ser el flujo de agua intersticial debido al aporte de arroyos como el de San Carlos que se encuentra cerca del Estero de Punta Banda. Aun sin haber medido los factores que mencionan Schink et al., (1975) es posible decir que existe una región crítica para los perfiles de sílice disuelto que se muestra con un marcado decrecimiento en los primeros cinco centímetros de los núcleos. Aunque el comportamiento es similar entre los núcleos, se observa que las concentraciones de sílice en los primeros centímetros del sedimento es variable de un núcleo a otro, eso puede indicar la presencia de gradientes laterales significativos debidos principalmente a los factores que se mencionaron. El comportamiento anterior sucede en núcleos que fueron analizados

inmediatamente después de la extracción, al mes y medio y a los tres meses de la extracción, así como en el núcleo EPBD1281E que fue extraído un mes después del muestreo. Lo anterior indica que después de ser extraídas las aguas intersticiales y guardadas a temperaturas bajas, el sílice disuelto es conservativo.

En base a los resultados mostrados en el núcleo EPBD1281E, podría formularse la hipótesis de que el tiempo de espera para la extracción del agua intersticial, manteniendo el núcleo a bajas temperaturas ( $3-4^{\circ}\text{C}$ ), no afecta al comportamiento de la  $\text{Si}^{4+}$  y el  $\text{SiO}_2$ . Esta hipótesis queda como un objetivo para posibles trabajos futuros.

Dos tipos de sólidos conteniendo sílice están presentes en los sedimentos marinos: sílice biogénico en forma de frustulas o espículas y sílice no biogénico en forma de cuarzo y arcillas.

El agua intersticial está sobresaturada con respecto al cuarzo y a la temperatura que se encuentran los sedimentos están por debajo de saturación con respecto al sílice amorfo (Berner, 1971). La lenta razón de reacción de precipitación del cuarzo es una posible explicación del por qué no se encuentra cuarzo en los sedimentos recientes (Morey et al., 1962) (citado por Price, 1976). El mismo Price (1976) menciona que estudios de

laboratorio indican que se inhibe la formación de cuarzo, al menos durante la diagénesis temprana, en la presencia de altas concentraciones de sílice disuelto. Lo que permite decir que las reacciones de cuarzo no regulan la concentración de sílice disuelto en las aguas intersticiales de sedimentos recientes. Las reacciones diagénéticas de minerales terrígenos dentro de los sedimentos son difíciles de observar (Price, 1976). Estudios sobre almirolisis y diagénesis temprana y tardía señalan que las reacciones entre arcillas se producen principalmente durante la almirolisis y en menor grado durante la diagénesis tardía (Bernier, 1971). Según Siever et al., (1965) y Bernier (1971) no hay evidencias de que durante la diagénesis temprana se efectúen reacciones de arcillas. Sin embargo, Weaver y Wise (1972) (citados por Johnson, 1975) señalan que existe autogénesis de silicatos en sedimentos marinos recientes y el mismo Johnson (1975) menciona que parte del sílice liberado por la disolución biogénica es usado en la formación de esmectita en sedimentos de mar profundo. Lo que indicaría que reacciones de arcillas podrían influir en la concentración de sílice disuelto intersticial en sedimentos de mar profundo. La influencia de estas reacciones en aguas intersticiales de un cuerpo de agua protegido no son conocidas.

Una serie de estudios revelan que la disolución de sílice

biogénico es el principal responsable de la concentración de sílice intersticial (Wollast, 1974, Shink et al., 1974, Schink et al., 1975). La alta concentración de sílice biogénico en los sedimentos es el resultado de la alta productividad biológica de las aguas de las capas superiores (Calvert, 1986) (citado por Price, 1976). El Estero de Punta Banda es una laguna costera con alta productividad biológica (Millán et al., 1981) lo que permite decir que la existencia de sílice biogénico en los sedimentos es un reflejo de la productividad biológica del Estero y que, de acuerdo a una serie de autores, la disolución del sílice biogénico es la principal responsable de la concentración del sílice disuelto en las aguas intersticiales del Estero de Punta Banda.

Johnson (1975) determinó el índice de disolución de microfósiles y encontró que para algunos núcleos de mar profundo el índice de disolución es mayor en los primeros centímetros del sedimento. Seis de los nueve núcleos analizados tienen las mayores concentraciones de sílice en los dos primeros centímetros lo que sugiere que el sílice aportado a la columna de agua se deriva principalmente de la disolución que ocurre en los primeros centímetros de sedimento, resultados que concuerdan con lo encontrado por Johnson (1975).

Como ya se mencionó, el agua intersticial está bajo el nivel de saturación para el ópalo biogénico, así que debería de estar liberando sílice a la solución intersticial. Los resultados muestran un descenso de la concentración del sílice después de la zona crítica. Esto puede deberse a que la razón de disolución del sílice biogénico disminuye con la profundidad, una explicación para este fenómeno es que a medida que transcurre el tiempo se va depositando nuevo sedimento rico en sílice biogénico, que tiene alta razón de disolución. El sedimento menos reciente que va quedando en la subsuperficie tiene menos sílice biogénico y por consiguiente una menor razón de disolución. Con este mecanismo se explica que se tenga siempre una mayor razón de disolución en la superficie de los sedimentos. Otra explicación a la disminución de sílice disuelto es que existan flujos laterales de aguas subterráneas con diferentes características, tales que permitan variaciones en la concentración del sílice disuelto intersticial. Mis datos no permiten comprobar estas hipótesis. Si quisiera hacerlo sería necesario diseñar un muestreo y análisis adecuado y completo.

El pH muestra marcada diferencia en su comportamiento según el método de extracción utilizado. En los núcleos extraídos con el sistema de compresión de sedimentos esta variable muestra una tendencia general a aumentar con la profundidad, mientras que

para los núcleos centrifugados existen grandes variaciones a lo largo de los núcleos. Por lo que puede decirse que el método de centrifugación permite que los valores de pH disminuyan. Esta variable también se ve influenciada por la temperatura de extracción, pero todavía no es muy claro en que sentido es esa variación (Fanning y Pilson, 1971).

Las diferencias de valores observadas para los núcleos EPB03081R Y EPB03081BB indican que el tiempo de espera para hacer la medición de esta variable influye en los valores que pueda tomar, por lo que se recomienda que estas mediciones se hagan inmediatamente después de la extracción de las aguas intersticiales.

La variación de la salinidad con la profundidad es un punto muy discutido. Estudios hechos en núcleos de mar profundo están en contradicción. En los resultados hay datos que indican decremento de salinidad con la profundidad y otros que indican lo contrario. Schmidt (1973) (citado por Menheim, 1976) indica que para núcleos del Golfo de México y algunas regiones de la URSS la salinidad disminuye con la profundidad y responsabiliza a reacciones entre arcillas que liberan agua. Estudios sobre almirolisis y diagénesis apoyan que existe liberación de agua durante estas reacciones (Bernier, 1971, Elderfield, 1976). La

influencia de las reacciones de arcillas en la salinidad de aguas intersticiales de lagunas costeras no son claras. Kudelin et al. (1971) ( citados por Manheim, 1976) mencionan que las aguas intersticiales de sedimentos costeros tienen salinidades mas bajas que las del agua de la columna sobreadyacente a causa de la influencia de agua dulce o salobre proveniente de tierra

Mis datos muestran una disminución de la salinidad con la profundidad, a excepción del núcleo EF503031PRD que muestra una gran variación con la profundidad. La explicación mas aceptable para este fenómeno es la mezcla del agua intersticial con agua subterránea menos salina. Aunque parece ser que el arroyo de San Carlos ( fuente de agua superficial mas próxima visible) sólo llega al Estero o muy cerca de él en época de lluvias, es sabido que este arroyo es subterráneo durante todo el año (Ing. Beltrán, Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos en Ensenada, comunicación personal) como lo muestran los pozos de agua que se encuentran en el Ejido Chapultepec. Los pozos mas cercanos al Estero tienen un incremento de salinidad, por lo que es posible que una mezcla de agua se este efectuando en el subsuelo, y esa agua salobre llegue al sedimento del Estero y permita una baja de la salinidad

La diagénesis de arcillas nos permite explicar el probable

aumento o disminución de sílice disuelto y de la salinidad en las aguas intersticiales, pero hay que tener presente que estas reacciones se llevan a cabo en una escala de tiempo muy grande. Esta escala no puede ser observada en mis datos.

El agua intersticial de sedimentos marinos tiene una concentración de sílice mayor que la encontrada en el agua de mar sobreadyacente. Esta diferencia de concentración implica un flujo de sílice disuelto hacia afuera de los sedimentos (Fanning y Pilson, 1971). Los flujos calculados en el presente trabajo son una primera aproximación a la realidad debido a que no se toman en cuenta una serie de factores que afectan al sedimento y otros que influyen en la columna de agua, tales como bioturbación de los sedimentos y advección y turbulencia en la columna de agua. Estos flujos calculados deben ser considerados como mínimos ya que los factores no tomados en cuenta tienden a aumentarlos. Los flujos calculados para el Estero de Punta Banda son todos del mismo orden de magnitud, siendo los valores mas altos en julio y diciembre, meses a los cuales también corresponden los valores mas altos de concentración de sílice en el primer centímetro del sedimento. En diciembre se tienen también los valores mas altos de sílice en la columna de agua. Otros estudios sobre esta variable muestran que en verano se alcanzan concentraciones promedio de  $4-5 \mu M$  en la superficie de la columna de agua +



(Millán et al., 1981). Las variaciones de flujos entre núcleos son debido principalmente a las variaciones en la concentración de sílice disuelto intersticial (Fanning y Pilson, 1974).

Asumiendo que el promedio de los valores de flujo de los cuatro muestreos es representativo de todo el año tendríamos entonces  $1 \text{ g SiO}_2 \text{ año}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ . Este valor es entre cuatro a cinco ordenes de magnitud ( $10^4$ - $10^5$ ) mayor que los encontrados en agua de mar profundo y en lagos. Flujos calculados para mar abierto varían desde  $16.5 \mu\text{g SiO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$  hasta  $250 \mu\text{g SiO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ , con un promedio de  $142 \mu\text{g SiO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$  (Fanning y Pilson, 1971, 1974; Hurd, 1973; Heat, 1974; Wollast, 1974; Schink et al., 1975; Lerman, 1979). Fanning y Pilson (1974) estimaron flujos de  $500$ - $1000 \mu\text{g SiO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$  para sedimentos de plataforma continental y Lerman (1979) calculó flujos de  $360 \mu\text{g SiO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$  en la interfase de un lago con sedimentos silíceos.

Aunado a que son medios ambientes marinos diferentes, la divergencia de los valores de flujo de sílice disuelto puede deberse a varios factores. El primero de estos factores es el efecto de la bioturbación. Ruddican y Clover (1972) (citados por Johnson, 1975) señalan que la bioturbación no homogeniza los sedimentos dentro de la capa de mezcla biológica (primeros cinco centímetros del sedimento). Si es dicho por estos autores lo

aplicamos a mi área de estudio y a las áreas en comparación, entonces la bioturbación puede enmascarar los efectos de disolución y difusión en los primeros centímetros del sedimento, y dar resultados diferentes. El segundo factor es la diferencia entre gradientes de concentración de mis resultados y los resultados de estudios de mar profundo y lagos. En la columna de agua de mar profundo se tienen concentraciones de sílice disuelto de hasta dos ordenes de magnitud mayores que las encontradas en este trabajo. Las concentraciones de sílice disuelto intersticial son del mismo orden de magnitud. Basados en estos valores, los gradientes de concentración calculados para el Estero son mayores que los de mar profundo. Esto implica un mayor valor del flujo de sílice disuelto en el Estero. Por ultimo los valores de flujo pueden verse afectados también por el coeficiente de difusión empleado en los cálculos de esos flujos. Se han obtenido diferentes coeficientes de difusión bajo diferentes condiciones de estudio. En el caso se utilizó un coeficiente que incluía el valor de la tortuosidad, pero pudo no ser el coeficiente mas adecuado para aplicarlo en mis cálculos, y obtener así un valor elevado para los flujos de sílice dentro del Estero.

El incremento de sílice en el agua intersticial, en comparación con el agua de la columna, puede deberse a la

influencia de la temperatura a la cual el agua intersticial es extraída. La temperatura de extracción es uno de los factores que puede explicar este aumento de sílice pero se han hecho estudios con extracción del agua intersticial in situ y se observó que la concentración de sílice sigue siendo mayor en los sedimentos. En este trabajo se trató de controlar este factor. Aunque hubo diferencias en el tiempo de espera para la extracción, para el análisis de las muestras y en el método de extracción, en mis datos no se observa una marcada diferencia en el comportamiento general del sílice intersticial entre los núcleos, por lo que puede decirse que el incremento que pudieran haber tenido las concentraciones de sílice son del mismo orden en todos los núcleos.

## 7 CONCLUSIONES

1.- Los métodos de muestreo y análisis para el estudio de aguas intersticiales que se utilizaron en este trabajo son, en general, un buen mecanismo para la obtención de datos sobre especies disueltas, específicamente del sílice disuelto.

2.- Los flujos obtenidos de sílice disuelto hacia la columna de agua son de cuatro a cinco órdenes de magnitud mas elevados que los encontrados para mar profundo.

3.- El elevado valor del flujo del sílice disuelto hacia la columna de agua conduce a decir que el aporte de especies disueltas contenidas en las aguas intersticiales, juegan un papel importante en el estudio de los ciclos biogeoquímicos de esas especies dentro de una laguna costera.

Un par de sugerencias para trabajos futuros son, primero el medir porosidad y análisis de la fase sólida (determinación de sílice amorfo, contenido de materia orgánica, granulometría, etc.) en el mismo núcleo muestreado o en uno muy cercano, para obtener una mejor idea de las concentraciones y comportamiento de las variables que se deseen estudiar en las aguas intersticiales. La segunda sugerencia es analizar diferentes variables, como amoníaco, nitratos, fosfatos, silicatos, en diferentes medios ambientes de la laguna costera con el objeto de llegar a estimar cuantitativamente la remineralización y flujo hacia la columna de agua de nutrientes importantes para la fotosíntesis.

4.- La concentración de sílice disuelto en las aguas intersticiales del Estero de Punta Banda es regulada ,

principalmente, por la disolución de sílice biogénico

5.- La salinidad de las aguas intersticiales es menor que la salinidad de la columna de agua dentro del Estero. Esto puede deberse al aporte de agua dulce subterránea por arroyos

## B BIBLIOGRAFIA

Acosta Ruiz, H.J. y S. Alvarez Borrego, 1974. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos físicos y químicos en el Estero de Punta Banda, B.C. en otoño e invierno. Ciencias Marinas (México) V. 1(1):16-45.

Allen, G., E. Mandelli y J.P.P. Zimmermann, 1981. Physics-Geology- Chemistry. En Coastal lagoon research, present and future. Unesco technical papers in marine science 32.

Alvarez Borrego, S., H.J. Acosta Ruiz y J.R. Lara Lara, 1977. Hidrologia comparativa de las bocas de dos

antiestuarios de Baja California. Ciencias Marinas (México) V. 4(1):1-11.

Alvarez Borrego, S., J.R. Lara Lara y M.J. Acosta Ruiz, 1977. Parámetros relacionados con la productividad orgánica primaria en dos antiestuarios de Baja California. Ciencias Marinas (México) V. 4(1):12-22.

Anikouchine, W.A., 1967. Dissolved chemical substances in compacting marine sediments. J. Geophys. Res., Vol. 72, 505-509.

Arenas, V. y G. De La Lanza, 1981. The effect of dried and cracked sediment on the availability of phosphorus in a coastal lagoon. Estuaries V. 4(3):205-212.

Berner, R.A., 1971. Principles of Chemical Sedimentology. McGraw-Hill Book Company, 240 p.

Berner, R.A., 1974. Kinetic models for the early diagenesis of nitrogen, sulfur, phosphorus and silicon in anoxic marine sediments. En. The Sea. E.D. Goldberg (Editor). Interscience, Vol. 5, 427-451.

Berner, R.A., 1980. Early diagenesis, a theoretical approach. Princenton University Press, 242 p.

Bischoff, J.L., R.E. Creer y A.D. Luistro, 1970. Composition of interstitial waters of marine sediments. temperature of squeezing effect. Science, V. 167, 1245-1246.

Burton, J.D. y P.S. Liss, 1973. Processes of supply and removal of dissolved silicon in the ocean. Geochim. Cosmochim. Acta., V. 37, 1761-1773.

Celis Ceseña, R. y S. Alvarez Sorregio, 1975. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos físicos y químicos en el Estero de Punta Banda, B.C. en primavera y verano. Ciencias Marinas (México) V. 2(1):98-105.

Elderfield, H., 1976 Hydrogenous material in marine sediments. Excluding manganese nodules. En. Chemical Oceanography. J.P. Riley y R. Chester (Editors). Acad. P. 2da. ed., Vol. 5:137-216.

Fanning, K. A. y R.E.O. Pilson, 1971. Interstitial silica and pH in marine sediments. some effects of sampling procedures. Science, V. 173, 1228-1231.

Fanning, K.A. y H.E.O. Pilson, 1974. The diffusion of dissolved silica out of deep-sea sediments. *J. Geology Res.*, V. 79, 1293-1297.

Farfón, B.C. y S. Alvarez Dorrego. (En prensa). Variability and tidal exchange of dissolved inorganic nitrogenous nutrients and suspended organic matter in San Quentin Bay, Baja California.

Folk, R.L., 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company. USA.

Grasshoff, K., 1976. *Methods of Seawater Analysis*. Weinheim Verlag Chemie XIV, New York, 317 p.

Garrels, R.M., 1966. The role of silica in the buffering of natural waters. *Science*, V. 148, 69.

Gieskes, J.M., 1973. Interstitial water studies, Leg 15. Alkalinity, pH, Mg, Ca, Si, PO and NH<sub>4</sub>. En Heezen, B.C., MacGregor, I.G., et al., Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Volume 20. Washington (U.S. Government Printing Office), p. 813-829.



Hurd, D.C., 1972. Factors affecting solution rate of biogenic opal in seawater. Earth Planet. Sci. Lett. 15, 411-417.

Hurd, D.C., 1973. Interactions of biogenous opal, sediment and seawater in the Central Equatorial Pacific. Geochim. Cosmochim. Acta., V. 37, 2257-2262.

Heat, G.R., 1974. Dissolved silica and deep-sea sediments. En. Studies in Paleocceanography. H.W. Hay (Editor). Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Pub. 20, 77-93.

Johnson, T.C., 1975. The dissolution of siliceous microfossils in deep sea sediments. Ph. D. Thesis .. University of California, San Diego, California.

Krauskopf, K.B., 1959. The geochemistry of silica in sedimentary environments. En. Silica in Sediments. H.A. Ireland (Editor). Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Pub. 7, 4-19.

Lara Lara, R., S. Alvarez Borrego y L.F. Small, 1980. Variability and tidal exchange of ecological properties in a coastal lagoon. Estuar. Coastal Mar. Sci. 2, 613-637.

Lerman, A., 1979. Geochemical processes water and sediment environments. John Wiley and Sons. New York. Cap. 7.

Lewin, J.C., 1961 The dissolution of silica from diatom walls. *Geochim. Cosmochim. Acta*, V. 21, 182-198.

Mackenzie, F.T. y R.H. Garrels, 1966 Chemical mass balance between rivers and oceans. *Am. Jour. Sci.*, V. 264, 507-525.

Mackenzie, F.T., R.H. Garrels, D.P. Bricker y F. Sickley, 1967. Silica in seawater, control by silica minerals. *Science*, V. 155, 1404-1406.

Manheim, F.T., 1970. The diffusion of ions in unconsolidated sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.* 9, 307-309.

Manheim, F.T., 1976 Interstitial waters of marine sediments. En. *Chemical Oceanography*. J.P. Riley y R. Chester (Editors). Acad. P. 2da. ed., Vol. 6, 115-186.

Manheim, F.T. y F.L. Sayles, 1974. Composition and origin of interstitial waters of marine sediments, based on deep sea

drill cores. En. The Sea E.D. Goldberg (Editor). Vol. 5, 527-568.

Mann, R. y J.H. Gieskes, 1975. Interstitial water studies, Leg 28. D.E. En. Hayes, Frates, L.A., et al., Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Volume 28. Washington (U.S. Government Printing Office). EJO-S14.

Millán Nuñez, E., P.J. Ortiz Cortez y S. Alvarez Borrego, 1981. Variabilidad temporal y espacial de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera, a finales de verano. Ciencias Marinas (México) V. 7(1):100-122.

Millán Nuñez, R. y S. Alvarez Borrego, 1978a. Series de tiempo de clorofilas a, b y c, y sus feofitinas en las bocas de dos lagunas costeras. Ciencias Marinas (México) 5(2):41-52.

Nelson, D. M. y J.J. Coering. 1978. Assimilation of silicic acid by phytoplankton in the Baja California and Northwest Africa upwelling systems. Limnol. Oceanogr., 23(3), 508-517.

Orellana, E., 1979. Assimilation de la silice par les diatomées. Thèse Docteur de 3e cycle. Université Pierre et

Marie Curie, Paris, Francia

Paasche, E., 1973. Silico- and the ecology of marine plankton diatoms. II. Silicate-uptake kinetics in five diatom species. Marine Biology 19, 262-269.

Presley, E. J. y J. H. Jeffrey, 1980. Sediment water interaction and geochemistry of interstitial waters. En: Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries. E. Claussón e I. Cato (Editors). 187-200.

Pritchard, D. W., R. De la Paz Vela, H. R. Cabrera Muro, S. Farreras Sanz y E. Morales, 1978. Hidrografía Física del Estero de Punta Banda. Parte 1. Análisis de datos. Ciencias Marinas (México) V. 5(2). 1-23. Dissolved silica in the upper pore waters of the Atlantic Ocean floor. J. Geophys. Res., V. 79, 2243-2250.

Schink, D. R., K. A. Fanning y M. E. Pilson, 1974. Dissolved silica in the upper pore waters of the Atlantic Ocean Floor. J. Geophys. Res., V. 79, 2243-2250.

Schink, D. R., N. L. Guinasso, Jr. y K. A. Fanning, 1975. Processes affecting the concentration of silica at the

sediment-water interface of the Atlantic Ocean. J. Geophys. Res., V. 80, 3018-3031.

Siever, R., K.C. Beck y R.A. Berner, 1965. Composition of interstitial waters of modern sediments. J. Geol., V. 73, 39-73.

Strickland, J. D.H. y T.R. Parsons, 1977. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada. Ottawa, 167 p.

Tzur, Y., 1971. Interstitial diffusion and advection of solute in accumulating sediments. J. Geophys. Res., Vol. 76, 4208-4211.

Wollast, R., 1974. The silica problem. En. The Sea. E.D. Goldberg (Editor). Interscience, Vol. 5, 359-372.

Wollast, R., 1981. Interactions between major biogeochemical cycles in marine ecosystems. En. Some Perspectives of the Major Biogeochemical Cycles. G.E. Likens (Editor). SCOPE. Cap. 8, 125-142.

Zertuche González, J.A. y S. Alvarez Borrego, 1978.

Series de tiempo de variables físicoquímicas en las bocas de dos  
antiestuarios de Baja California Ciencias Marinas (México) V.  
5(1): 91-103.

