

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

CIENCIAS MARINAS

DINAMICA DEL NITROGENO A TRAVES DE LA
INTERFASE SEDIMENTO-AGUA EN EL ESTERO
DE PUNTA BANDA, B.C. MEXICO



TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANOLOGO
PRESENTA

JORGE LUIS SILVA BENAVIDES

Ensenada, B.C.

Diciembre de 1990

RESUMEN.

Con el propósito de conocer la dinámica del nitrógeno a través de la interfase sedimento-agua, en el Estero de Punta Banda, B.C. México, se generaron muestreos del flujo de nitrato más nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), flujo de amonio (NH_4^+), flujo de nitrógeno orgánico disuelto (N.O.D.) y flujo de oxígeno disuelto (O_2), así como de variables ambientales que comprendieron, temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxígeno disuelto en la columna de agua (O_2), concentraciones de nitrato más nitrito, amonio y nitrógeno orgánico disuelto, en la columna de agua, mismos que sirvieron para evaluar los flujos netos en la interfase sedimento-agua. Los valores de flujo más altos para el amonio, fueron observados durante Octubre, presentandose un promedio durante el tiempo del estudio de $184.25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$, así mismo se observaron las máximas tasas de incorporación para el nitrato más nitrito, y el nitrógeno orgánico disuelto, presentandose promedios durante el tiempo del estudio de $-76.94 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ y de $10.88 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ respectivamente. Esto posiblemente esta indicando, que en los sedimentos se estan llevando a cabo procesos de denitrificación, siendo éste el principal responsable del comportamiento del nitrato más nitrito y por lo tanto del nitrógeno orgánico disuelto. El flujo de oxígeno disuelto presentó un promedio durante el estudio de $32.19 \text{ mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$. La temperatura promedió 19.5°C , el nitrato más nitrito en la columna de agua dió un promedio de $3.13 \mu\text{M}$, para el amonio fué de $37.55 \mu\text{M}$, y el nitrógeno orgánico disuelto tuvo un valor de $5.15 \mu\text{M}$. El oxígeno disuelto en la columna de agua tuvo un promedio durante el tiempo de estudio de 4.59 mg/l .

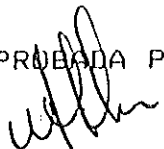
DINAMICA DEL NITROGENO A TRAVES DE LA INTERFASE
SEDIMENTO-AGUA EN EL ESTERO DE PUNTA BANDA, B.C., MEXICO

TESIS

QUE PRESENTA:

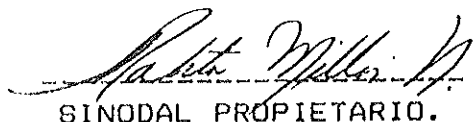
JORGE LUIS SILVA BENAVIDES.

APROBADA POR:



PRESIDENTE DEL JURADO.

M.C. FRANCISCO LEY LOU.



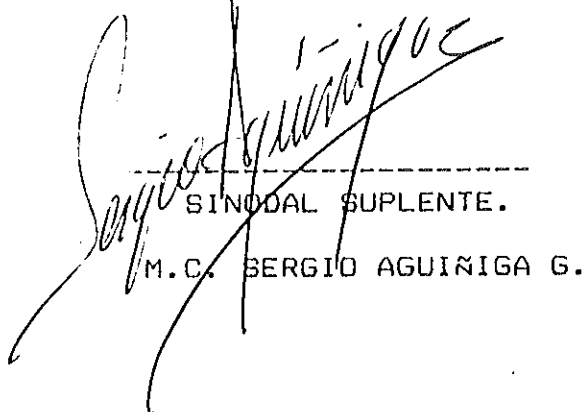
SINODAL PROPIETARIO.

M.C. ROBERTO MILLAN NUNEZ.



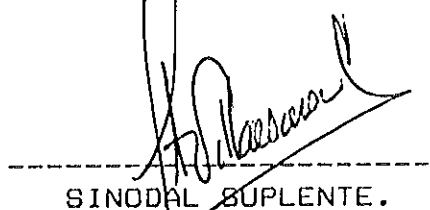
SINODAL PROPIETARIO.

OC. HECTOR BUSTOS SERRANO.



SINODAL SUPLENTE.

M.C. SERGIO AGUINIGA G.



SINODAL SUPLENTE.

OC. JULIO VILLAESCUSA C.

INDICE GENERAL.

| | |
|--|-----|
| PORTADA..... | I |
| RESUMEN..... | II |
| VOTOS APROBATORIOS..... | III |
| INDICE GENERAL..... | IV |
| LISTA DE FIGURAS..... | V |
| LISTA DE TABLAS..... | VI |
| 1.-INTRODUCCION..... | 1 |
| 2.-OBJETIVO..... | 5 |
| 3.-DESCRIPCION Y LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO..... | 6 |
| 4.-MATERIALES Y METODOS..... | 18 |
| 5.-RESULTADOS..... | 16 |
| 6.-DISCUSIONES..... | 27 |
| 7.-CONCLUSIONES..... | 48 |
| 8.-LITERATURA CITADA..... | 41 |

LISTA DE FIGURAS.

| | |
|--|----|
| Fig. 1.- Ubicacion del area de estudio..... | 7 |
| Fig. 2.- Canara de incubacion..... | 11 |
| Fig. 3a.- Variacion temporal de temperatura..... | 18 |
| Fig. 3b.- Variacion temporal del oxigeno disuelto en la columna de agua..... | 18 |
| Fig. 4a.- Variacion temporal de amonio en la columna de agua..... | 20 |
| Fig. 4b.- Variacion temporal de nitrato+nitrito en la columna de agua..... | 20 |
| Fig. 4c.- Variacion temporal de nitrogeno organico disuelto en la columna de agua..... | 20 |
| Fig. 5.- Variacion temporal del flujo de oxigeno disuelto a traves de la interfase sedimento-agua..... | 23 |
| Fig. 6a.- Variacion temporal del flujo de amonio a traves de la interfase sedimento-agua..... | 25 |
| Fig. 6b.- Variacion temporal del flujo de nitrato+nitrito a traves de la interfase sedimento-agua..... | 25 |
| Fig. 6c.-Variacion temporal del flujo de nitrogeno organico disuelto a traves de la interfase sedimento-agua..... | 25 |

LISTA DE TABLAS.

| | |
|--|----|
| Tabla I.- Promedios e intervalos de los flujos de nutrientes, y algunas variables ambientales en este estudio..... | 17 |
| Tabla II.- Comparaciones de la incorporacion de oxigeno por los sedimentos en varios medios ambientes..... | 22 |
| Tabla III.- Seleccion de características físicas y flujos de nutrientes en la interfase sedimento-agua en varios medios ambientes..... | 28 |
| Tabla IV.- Comparaciones de los flujos de amonio en la interfase sedimento-agua en varios medios ambientes..... | 31 |
| Tabla V.- Comparaciones de los flujos de nitrato+nitrito en la interfase sedimento-agua en varios medios ambientes..... | 35 |

AGRADECIMIENTOS.

A la Facultad de Ciencias Marinas, especialmente al M.C. Francisco Ley Lou, por todo su apoyo para la realización de este trabajo, su acertada dirección, su amistad, comprensión, paciencia y por su gran calidad humana.

A los sinodales M.C. Roberto Millán N., Dc. Héctor Bustos S., Dc. Julio Villaescusa C. y M.C. Sergio Aguiñiga G. quienes hicieron acertadas críticas de este trabajo, dedicando su tiempo y conocimientos para mejorarlo.

A todos mis maestros de la F.C.M., pero en especial a aquellos quiénes creyeron en mí, alentándome siempre a no desmayar en mis esfuerzos.

A los técnicos de la F.C.M. Ignacio Herrera y Arturo Gámez, por su amistad, y por todas las facilidades brindadas.

A los Dc. José Carlos Martínez L., Javier Arreola D., Mayra O. González T., y al P.O. Héctor Raul Lira R., por su apoyo y ayuda en el trabajo de campo, por su amistad y comprensión.

A todas aquellas personas que de alguna manera ayudaron, para que este trabajo pudiese ser presentado, y que ahora olvido por escaparse a mi memoria.

Este estudio se realizó dentro del Proyecto de Investigación: "Potencial Productivo de las Lagunas Costeras de Baja California", de la Facultad de Ciencias Marinas (FCM), de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), con patrocinio otorgado por la Secretaría de Educación Pública (SEP), bajo el registro 0-88-01-0077.

1. INTRODUCCION.

Los cuerpos de agua costeros, son de gran importancia ecológica y comercial, pues reúnen características que no se presentan en otros ecosistemas marinos. Una de las características más importantes es su alta tasa de producción primaria y como consecuencia, su alta biomasa de organismos autótrofos como heterótrofos (Krumbein, Lasserre y Nixon, 1981). Debido a esto, se han propiciado los asentamientos de pescadores ribereños que buscan la explotación de organismos en tales cuerpos de agua (Millán Nuñez y Alvarez Borrego, 1981).

Desde el punto de vista químico, los ambientes costeros son considerados ser ecosistemas muy complejos, debido a su interacción continente-mar (Martin, 1983). En esta zona se llevan a cabo los intercambios de energía, nutrientes y materia orgánica entre estos dos sistemas (Farfán y Alvarez Borrego, 1982).

Uno de los aspectos interesantes que se observan en esta área, son los nutrientes utilizados por los productores primarios, mismos que pueden ser aportados por el mar al cuerpo de agua receptor, regenerados en la columna de agua, acarreados por surgencias, continente y bentos (Hargrave, 1973; Haine, 1975; Nixon, 1981; Hopkinson, 1987). De los

señalados, nos interesamos por el bentos. Seleccionándose tal fuente porque es aquí donde se efectúan procesos interesantes e importantes para todo el ecosistema costero; observándose que en los sedimentos superficiales de los esteros y estuarios se realizan actividades tales como incorporación y transformación de los diferentes componentes químicos tanto orgánicos como inorgánicos (Ho y Lane, 1973).

Entre los procesos biogeoquímicos que se realizan en el bentos, se tiene la nitrificación y la denitrificación. Considerándose la denitrificación como la mayor fuente de nitrógeno fijado en el sedimento, en áreas donde la concentración de oxígeno disuelto es baja (Delwiche, 1970). En lo que se refiere a la nitrificación, es un proceso aeróbico obligado, ocurriendo en zonas donde la concentración de oxígeno disuelto es elevada (Vanderborght, 1977).

En estudios sobre nutrientes en sedimentos estuarinos, se han encontrado evidencias de regeneración de dichos compuestos, y de que éstos fluyen hacia la columna de agua (Allen, Mandelli y Zimmermann, 1981).

Hale (1974), señala que el intercambio de nutrientes a través de la interfase sedimento-agua, constituye un

proceso importante porque puede afectar marcadamente a la composición química de los cuerpos de agua someros. Fisher et al. (1982), señalan que el substrato aporta anualmente de un 28-35% del nitrógeno y fósforo que requieren los productores primarios para sostener la productividad orgánica en los sistemas de agua someros. La mayoría de los estudios acerca de los ecosistemas costeros en Baja California, han sido enfocados sobre la columna de agua y los procesos relacionados con la productividad orgánica primaria (Millán Nuñez y Alvarez Borrego, 1981).

Las investigaciones acerca del bentos en el área han sido escasas, señalándose los estudios realizados por Green Ruiz et al. (1983), donde se cuantificó el sílice disuelto en la columna de agua, así como en el agua intersticial. Camacho Ibar (1987), estudió la dinámica de fosfatos y amonio en las aguas intersticiales de los sedimentos lodosos en una laguna costera. Alvarez Borrego et al. (1988), diseñaron y construyeron un muestreador para aguas intersticiales de sedimentos de entremareas, probando su efectividad para tales sedimentos.

Aguíñiga García y Alvarez Borrego (1989), realizaron un estudio acerca de la distribución en parches de las "fuentes" o "pozas" de fosfatos y amonio en una laguna costera.

Debido a lo escaso de estas investigaciones, debemos considerar que es necesario conocer y evaluar, el reciclaje y la dinámica de nutrientes como el nitrógeno en sus diferentes formas, a través de la interfase sedimento-agua de tal manera que se realce la importancia del bentos en los sistemas de agua costeros.

2. OBJETIVO.

El objetivo del presente estudio, es determinar la dinámica del Nitrógeno (amonio, nitratos más nitritos y nitrógeno orgánico disuelto), a través de la interfase sedimento-agua.

3. AREA DE ESTUDIO.

El Estero de Punta Banda es una pequeña laguna costera, que se localiza dentro de la bahía Todos Santos, B.C. entre los $31^{\circ}42'$ - $31^{\circ}47'$ de latitud norte y los $116^{\circ}38'$ - $116^{\circ}40'$ de longitud oeste (Fig 1).

Este cuerpo de agua está separado de la bahía por una barra de arena de aproximadamente 7 km. de largo, partiendo de la base de Punta Banda (Celis Ceceña y Alvarez Borrego, 1975). La boca se encuentra situada en el extremo norte de la barra, su tamaño varía de acuerdo al aumento o disminución de los sedimentos acarreados por el oleaje.

El Estero se caracteriza por tener un canal en forma de "L", con un brazo corto de aproximadamente 3 km de largo que se orienta en dirección sureste, y de un brazo largo de 7.5 km orientado hacia el noroeste, y que corre paralelo a la línea de playa (Pritchard et al., 1978).

Presenta un canal principal con una profundidad máxima de ocho m y que decrece de la boca hacia el interior del sistema (Camacho Ibar, 1987).

El sistema ha sido considerado como una laguna neutra, la densidad de sus aguas es casi igual a las aguas de la bahía Todos Santos, y sus movimientos son causados por

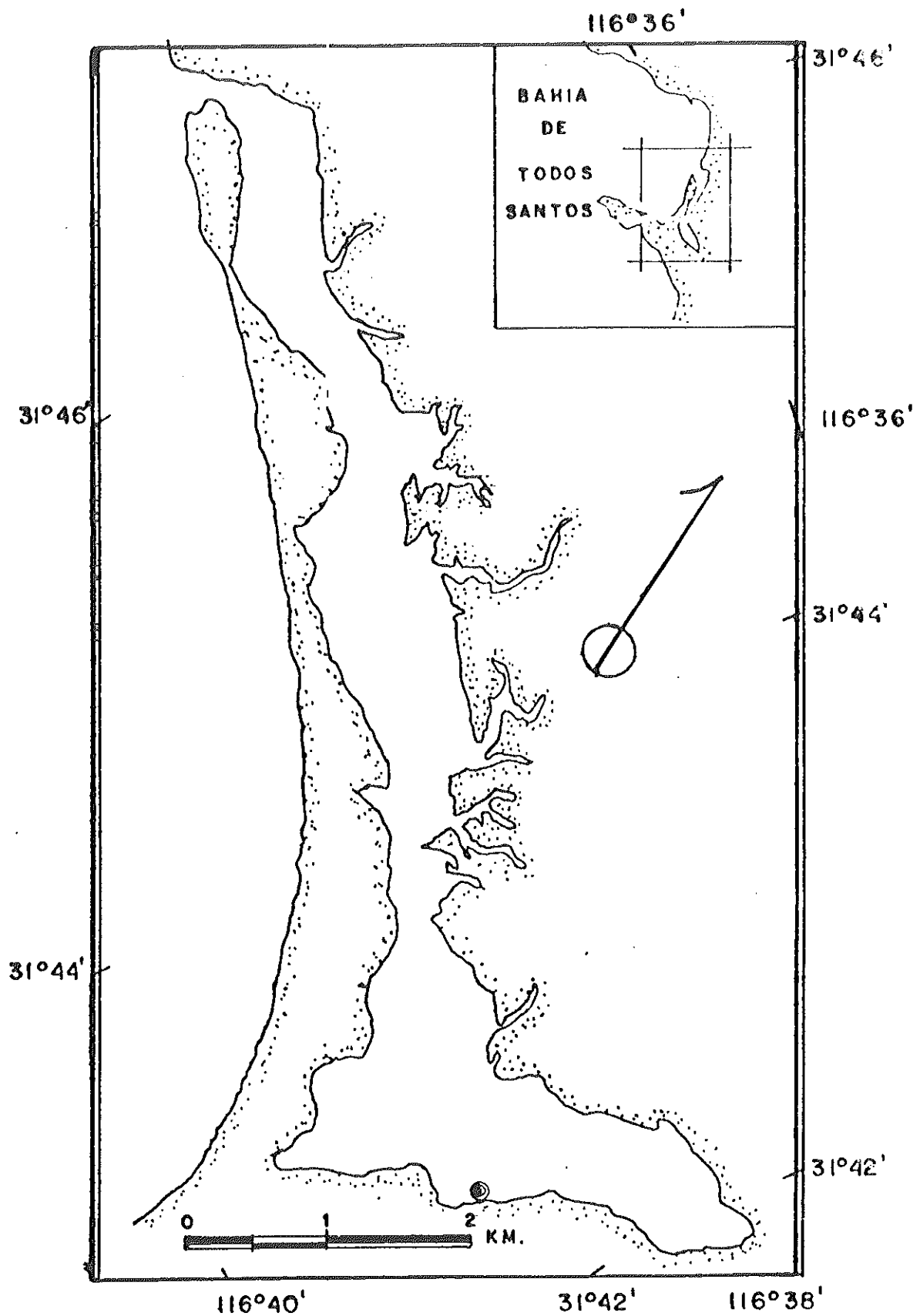


FIG. NO. 1 ESTERO DE PUNTA BANDA.
LOCALIZACION DEL PUNTO DE MUESTREO (●)

mareas y vientos (Pritchard et al., 1978). En general, durante el año existe un gradiente de salinidad, temperatura y nutrientes, mismos que tienden a aumentar hacia el interior del Estero, asimismo se presentan gradientes verticales de salinidad y temperatura, en la boca del sistema (Camacho Ibar, 1987).

En ocasiones, el Estero recibe la influencia de surgencias de la zona de Punta Banda (fuera de la bahía), mismas que son acarreadas por corrientes costeras (Millán Nuñez y Alvarez Borrego, 1981).

El sistema presenta mareas de tipo semi-diurno, con una amplitud media superior a 1 metro, llegando en ocasiones a presentar amplitudes de hasta 2 metros en mareas vivas (Pritchard et al., 1978).

El efecto que produce la marea es muy notable en el Estero, porque más del 60% del agua dentro del sistema puede llegar a ser evacuada en un ciclo mareal (Morales Zamorano, 1989).

El Estero presenta un tipo de clima mediterráneo, registrándose las mayores temperaturas durante el mes de Agosto, y las mas bajas durante el mes de Enero; presentándose en esta época vientos dominantes del

noroeste. En cuanto a las lluvias, éstas son escasas y no corresponden a ciclos o períodos normales y uniformes; resultando mucho más aislados en la zona costera durante el verano, causando un aumento leve durante el invierno (Secretaría de Marina, 1974).

Apreciaciones directas en el campo, nos permitieron saber que los sedimentos de la zona de muestreo, fueron posiblemente de tipo limo-arcillosos y no consolidados.

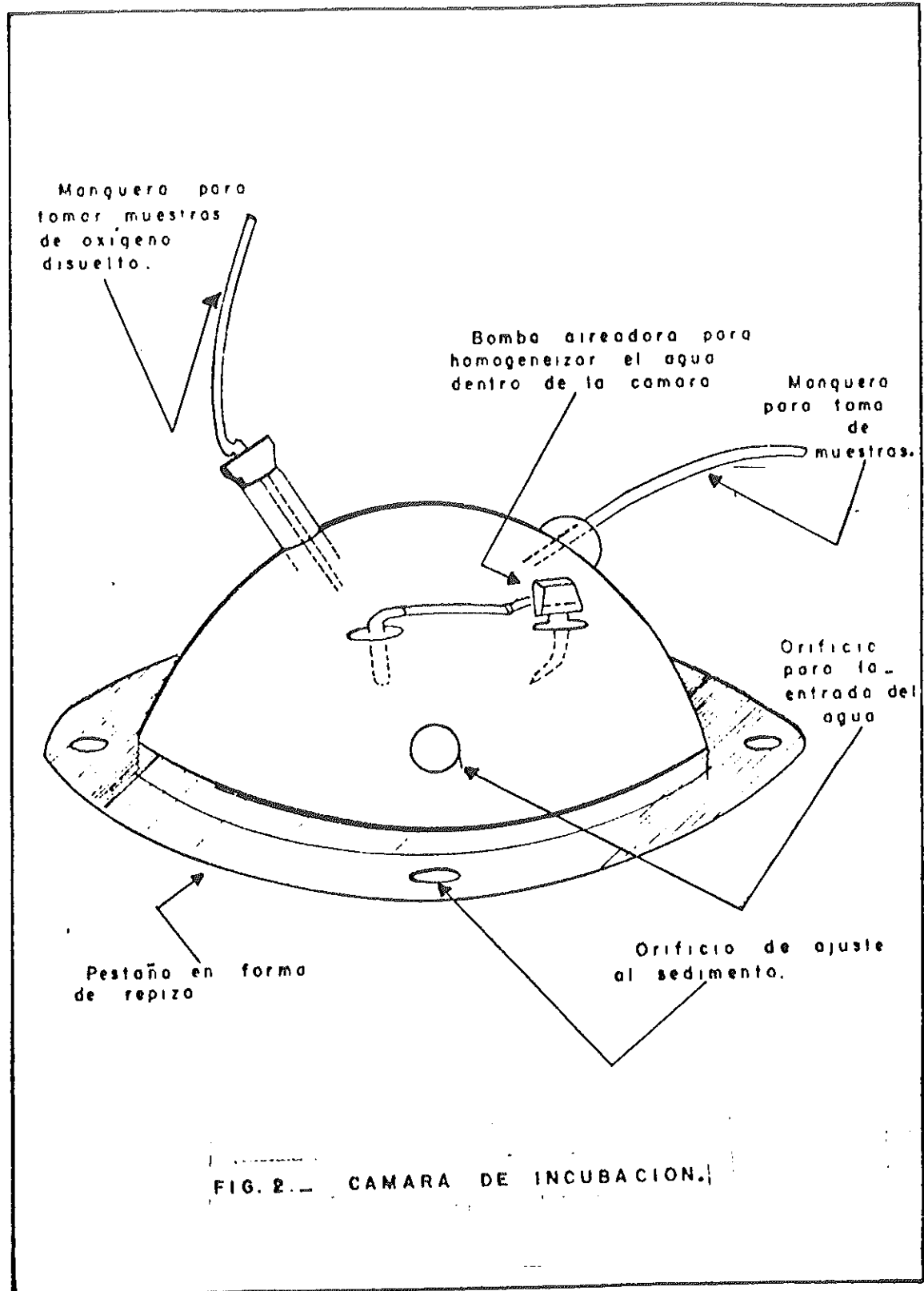
4. MATERIALES Y METODOS.

Los flujos de nutrientes [Amonio (NH_4), Nitratos+Nitritos (NO_3+NO_2) y Nitrógeno Orgánico Disuelto (N.O.D.)] en la interfase sedimento-agua, fueron medidos "in situ" durante cinco meses de muestreos de campo, de Junio a Noviembre de 1989, con una periodicidad mensual, excepto en Agosto. Se usaron dos cámaras de acrílico opacas, en forma de domo, con una capacidad de 32 lt y superficie de cobertura de 0.1963 m^2 , diámetro de 0.50 m y altura de 0.225 m.

Se adicionó una pestaña de horizontal de acrílico a la parte externa del domo, a modo de repisa para facilitar la penetración de la cámara hasta una cierta profundidad en el sedimento, asegurando así un volumen consistente de agua dentro de la cámara, y previniendo a la vez una sobre-inserción en el sedimento (fig 2).

El volumen drenado de las cámaras para las muestras durante las incubaciones, representó menos del 4.29% del volumen total de la cámara.

Así mismo, un orificio pequeño (1.00 mm) fué practicado en uno de los flancos para cada una de las cámaras, asegurando que el volumen drenado para las muestras fuera



aportado por la columna de agua, y no por el agua intersticial de los sedimentos.

Las concentraciones de nutrientes (NH_4 , $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ y NOD), fueron medidas en ambas cámaras, mismas que se equiparon con bombas submarinas selladas.

Estas bombas permanecieron encendidas previamente el tiempo necesario, antes de cada medición para mantener el agua en movimiento dentro de la cámara y evitar la estratificación de las variables a medir.

El oxígeno disuelto fue cuantificado por el método de Winkler según Carrit y Carpenter (1966), las muestras de agua fueron extraídas a la superficie por medio de jeringas de plástico con capacidad de 60 ml, a través de una manguera de plástico flexible (longitud= 15.0 m y diámetro= 1.0 mm).

Esta manguera fue purgada previo a cada muestreo para evitar que el agua "almacenada" en ésta, o bien que hubiese estado al contacto con las variables ambientales, no provocara alteración en la medición de los flujos netos.

Antes de comenzar una incubación se midió de la columna de agua el oxígeno disuelto y la temperatura, colectándose muestras para la determinación de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, NH_4 y NOD en la

columna de agua.

Tanto los nutrientes como el oxígeno disuelto, fueron monitoreados en intervalos de 1.5 hr, durante períodos de 4-6 hr de incubaciones.

Todas las muestras colectadas antes y durante las incubaciones fueron filtradas por medio de un filtro de fibra de vidrio de $0.45 \mu\text{m}$ y colocadas en hielo, hasta su posterior congelamiento, siendo analizadas después en el laboratorio.

Los análisis de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ fueron realizados por el método de reducción de cadmio, según Strickland y Parsons (1972), el NOD fué analizado por el método de oxidación con luz ultravioleta, según Strickland y Parsons (1972).

A las muestras para el análisis de NH_4^+ les fué adicionado en el campo HCl 0.5 N para evitar posibles alteraciones (Cordero, 1988; com. pers.)¹. Siendo analizadas por el método potenciométrico, utilizando un electrodo selectivo de NH_4^+ ORION Mo. 95-10, conectado al microprocesador ORION Mo. 701-A.

- ¹Cordero, B. 1988. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Ensenada, B.C.

Los flujos de nutrientes y la incorporación del oxígeno en la interfase sedimento-agua, fueron calculados de los cambios de concentración ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$) en las cámaras sobre el periodo de incubación.

Para estimar la contribución de la columna de agua a los flujos netos de nutrientes y la incorporación del oxígeno disuelto a los sedimentos, fueron incubadas botellas oscuras (1 l) con agua de fondo. Las estimaciones en las botellas fueron sustraídas de las mediciones dentro de las cámaras, atribuyéndose esta información solo a los procesos que se realizaron en el sedimento.

Los flujos netos de nutrientes en la interfase sedimento-agua fueron calculados usando la siguiente fórmula (Teague et al., 1988):

$$\delta N / \delta T_{(\text{neto})} = \frac{(\delta N / \delta T_{(\text{cámara})} - \delta N / \delta T_{(\text{botella})}) (32 \text{ lt})}{0.1963 \text{ m}^2}$$

Donde: $\delta N / \delta T$ = Razón de cambio del nutriente o del oxígeno.

Los flujos positivos indican liberación neta de los sedimentos a la columna de agua, mientras que los flujos negativos indican incorporación neta por los sedimentos.

Los resultados obtenidos durante las mediciones fueron tratados estadísticamente por una Prueba T (Sokal y Rohlf, 1969), que determinó si las cámaras de incubación eran réplicas, o bien si se trataba de muestreos paralelos e independientes.

Se aplicaron análisis de correlación simple ($p < 0.05$) (Sokal y Rohlf, 1969), para las variables medidas en las cámaras de incubación y las variables medio-ambientales, que ayudaron a la evaluación del grado de dependencia entre unas y otras.

5. RESULTADOS.

Condiciones Experimentales.

En el diseño experimental se consideró la utilización de dos cámaras de incubación, obteniéndose por lo tanto dos grupos de resultados. A estos se les aplicó una prueba "T" Student, sin observarse diferencias significativas entre ambas cámaras.

En base a esto, fueron usados los promedios de las dos cámaras para realizar los análisis estadísticos de las variables estudiadas.

Los resultados de las variables estudiadas en las cámaras de incubación durante este estudio, están representadas en la tabla I.

Condiciones Ambientales.

Las mediciones de la temperatura en la columna de agua mostraron cambios temporales muy pequeños (fig 3a), con un promedio promedio de 19.8°C , reflejando una mínima variabilidad durante los últimos meses de muestreo. Así mismo se registraron diferencias muy pequeñas en el intervalo de las temperaturas durante este estudio, del orden de 3.6°C , presentandose para este intervalo un mínimo

Tabla I.- Promedios e intervalos de Flujos de Nutrientes en la interfase sedimento-agua.

| Parámetro | Promedio | Intervalo |
|---|----------|-----------------|
| Incorporación de Oxígeno. * | 32.19 | 9.32-46.0 |
| Flujo de NH_4^+ ** | 251.62 | -136.93 -989.60 |
| Flujo de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ** | -76.94 | -359.10 - 82.32 |
| Flujo de N. O. D. ** | 10.00 | 0.25 - 22.60 |
| Temperaturas. *** | 19.50 | 18.9-21.2 |

=UNIDADES=

* $\text{mg-n}^{-2} \text{h}^{-1}$

** $\mu\text{mol-n}^{-2} \text{h}^{-1}$

*** grados centigrados.

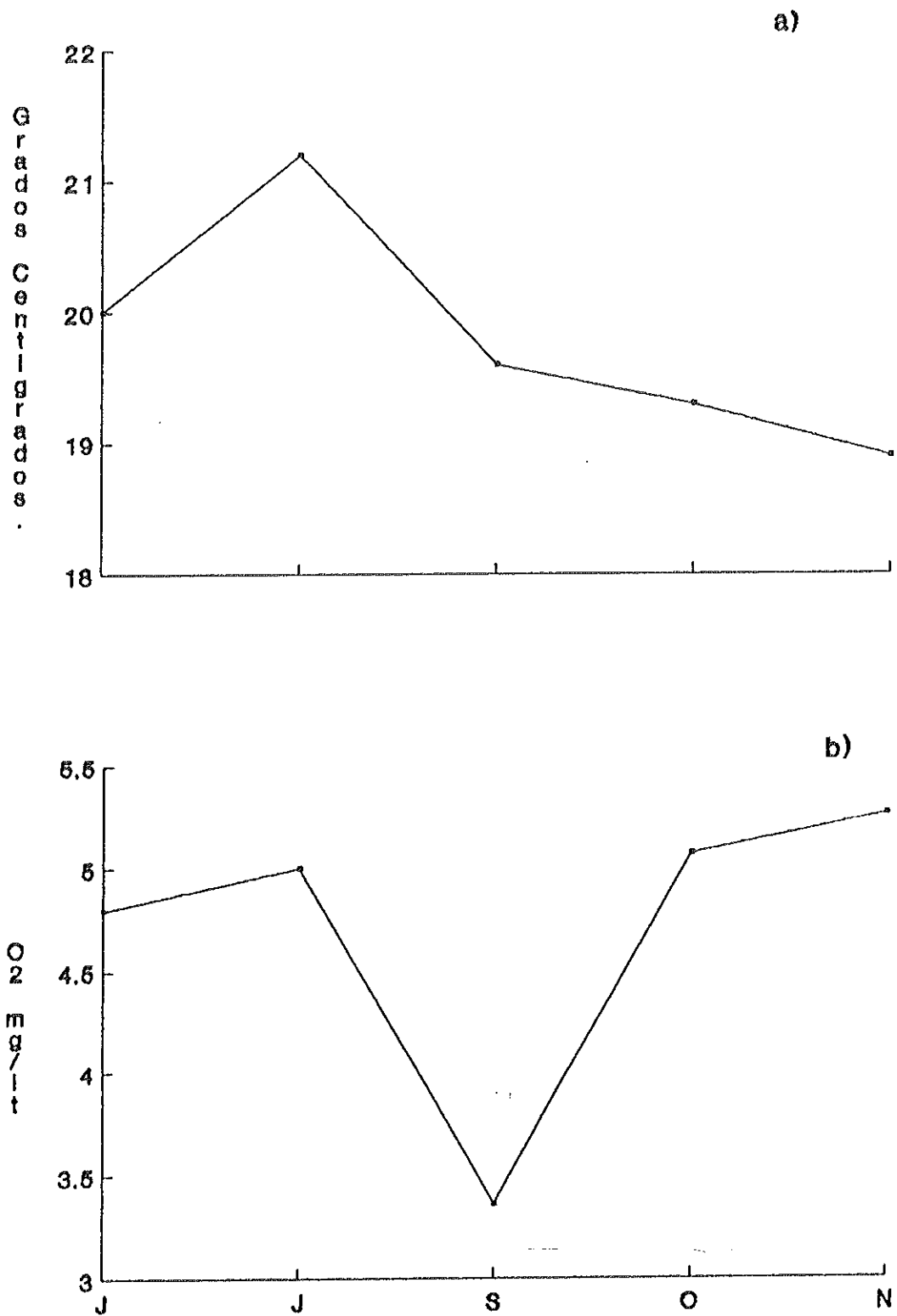


Fig. 3.- Comportamiento de la temperatura durante el estudio (a), y variación temporal del oxígeno disuelto en la columna de agua (b).

valor de 18.9°C , medido en Noviembre, así como un máximo de 21.2°C medido en Julio.

Para el oxígeno disuelto en la columna de agua, se registró un promedio de 4.59 mg/l , con un intervalo pequeño, presentandose un valor mínimo de 3.36 mg/l en Septiembre, así como un máximo de 5.26 mg/l en Noviembre (fig 3b).

Las concentraciones de NH_4^+ en la columna de agua registraron un intervalo muy amplio, con un promedio de $35.19\text{ }\mu\text{M}$, reportando su valor mínimo durante Septiembre cuando se midieron $12.17\text{ }\mu\text{M}$. El valor máximo se midió en Noviembre con $97.62\text{ }\mu\text{M}$ (fig 4a).

Los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ tuvieron un intervalo muy amplio, promediando $3.25\text{ }\mu\text{M}$, con un valor mínimo durante Noviembre, cuando se registraron $1.28\text{ }\mu\text{M}$, mientras que el valor máximo fue de $5.63\text{ }\mu\text{M}$ medido en Julio (fig 4b).

Las concentraciones de N.O.D. en la columna de agua tuvieron un intervalo pequeño, promediando $5.15\text{ }\mu\text{M}$, el valor mínimo de este fué de $3.22\text{ }\mu\text{M}$ medido en Octubre, así como un máximo de $6.90\text{ }\mu\text{M}$ durante Julio (fig 4c).

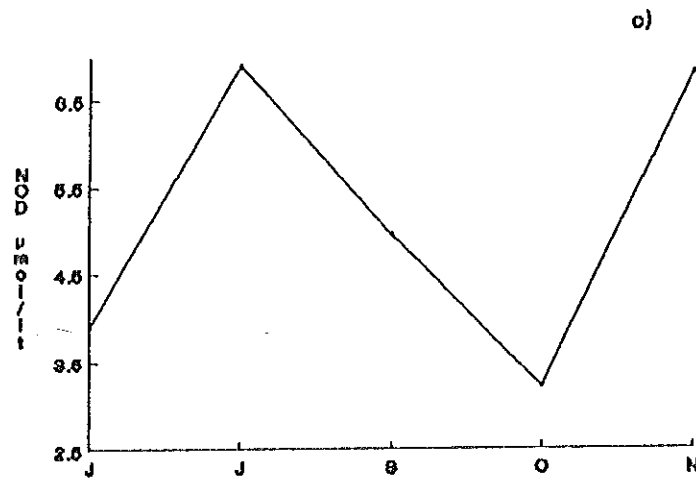
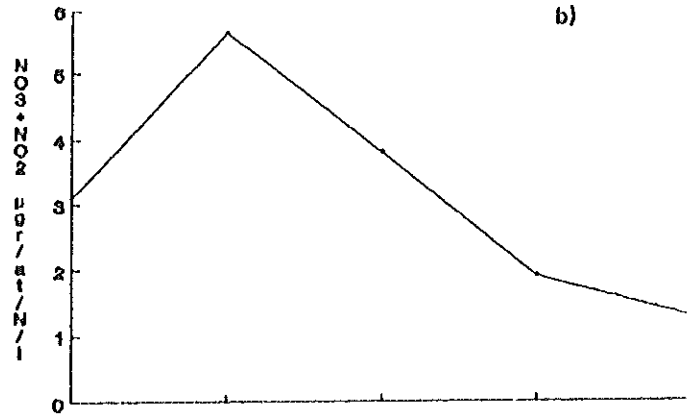
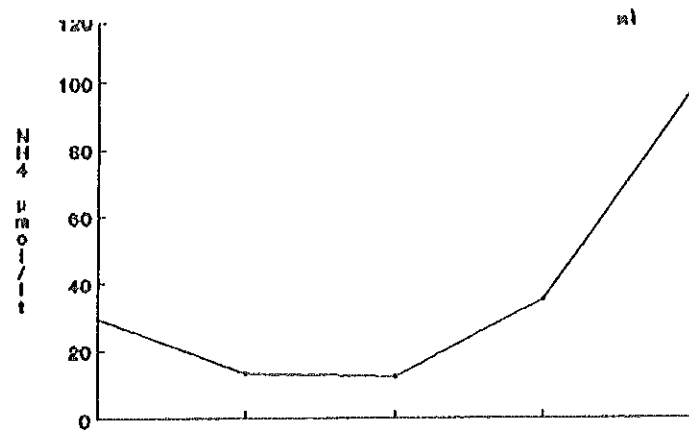


Fig. 4.- Comportamiento temporal de las variables medidas en la columna de agua en este estudio. a) NH_4 , b) $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ y c) NOD.

Flujo de Oxígeno.

El flujo de este gas, señaló la incorporación por parte de los sedimentos, encontrándose estas tasas de incorporación comprendidas entre las reportadas en otros estudios (tabla II).

El intervalo que se observó fué amplio, con un mínimo de $9.32 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ durante Septiembre, el máximo fué de $46.0 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en Julio. La media fué de $28.19 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

El comportamiento de la incorporación del oxígeno por parte del sedimento, tuvo variaciones temporales importantes, aunque no se midió un ciclo estacional completo (fig 5), que pudiese ser comparado a otros estudios publicados como los realizados por Fisher et al, (1982) y Teague, (1983).

Durante este estudio se registraron las mínimas tasas de incorporación, durante los meses de mayor temperatura, contrario a las máximas tasas, que se midieron en los meses de menor temperatura.

La prueba de correlación entre la respiración y la temperatura, demostró que no hubo una relación significativa entre estas dos variables ($p < 0.05$).

Tabla II.- Comparaciones de la Incorporación de Oxígeno por los sedimentos, estimados en varios ambientes.

| Comunidad | Media de la Incorporación. | Metodo | Referencia. |
|-----------------------------|----------------------------|--------|-----------------------------|
| Estero de Punta Banda. | 28.11 | 1 | Este estudio. |
| Bahia Fourleague, LA. | 49.00 | 1 | Teague, 1983. |
| Aguas Costeras de Georgia.* | 121.0 | 1 | Hopkinson y Wetzel 1982. |
| Lago Ponchartrain, LA.* | 156.0 | 2 | Roberts, 1981. |
| Estuario Patuxent, MD. | 83.00 | 1 | Boynton et al., 1981 |
| Sonda de Long Island. | 34.00 | 2 | Carey, 1967. |
| Bahia de Narragansett. | 41.00 | 1 | Nixon et al., 1976. |
| Bahia de Buzzards, MA.* | 128.0 | 1 | Smith et al., 1973. |
| Bahia de Roskeeda, IRL. | 21.00 | 2 | Raine y Patching 1980. |
| Cuenca La Joya, CA. | 114.0 | 1 | Hartwig, 1974. |
| Lago de Agua Dulce. | 15.00 | 2 | Hargrave, 1969. |

* Estos estudios fueron realizados en periodos de elevadas temperaturas.

** Metodos.- 1= Camara de Incubacion.
2= Respirometro de Nucleo.

*** Las unidades de los promedios de la incorporacion se encuentran en $\text{mg-m}^{-2}\text{-h}^{-1}$.

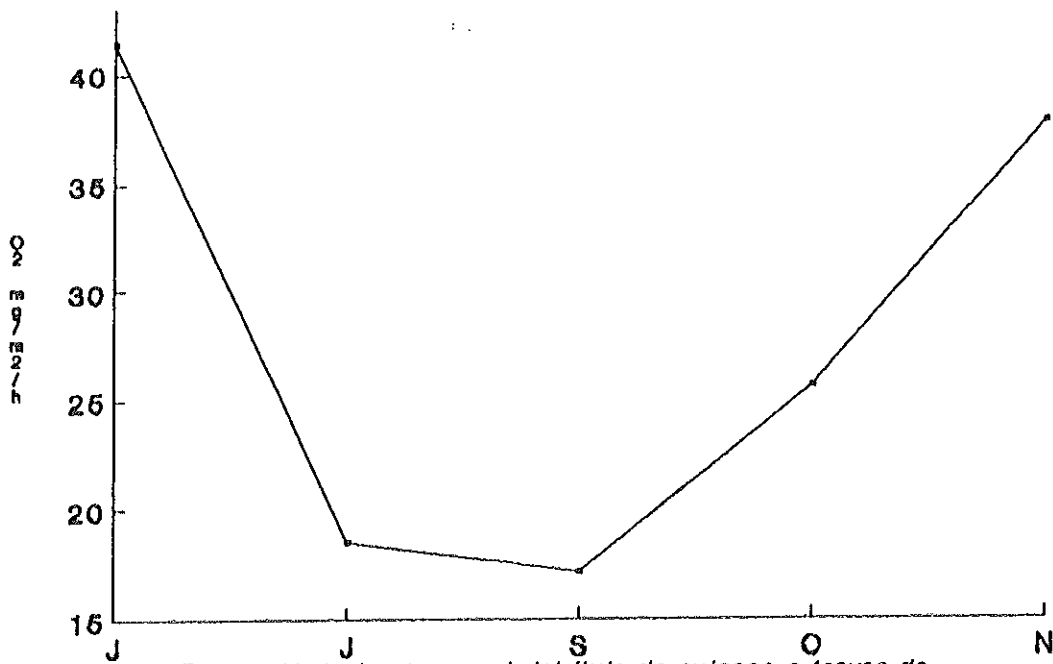


Fig. 5.- Variación temporal del flujo de oxígeno a través de la interfase sedimento-agua en este estudio.

Flujo de Nutrientes.

Flujo de NH_4 .

El comportamiento del flujo de NH_4 denotó que este fue generalmente liberado de los sedimentos hacia la columna de agua, con la excepción de Junio y Noviembre, cuando se midieron tasas de incorporación por los sedimentos (fig 6a), siendo la más fuerte la observada en Junio.

El flujo promedio de NH_4 fue de $184.25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$, demostrando la liberación de los sedimentos. El intervalo que se encontró para esta variable fue muy amplio, con un valor mínimo de $-136.93 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ durante Junio, así como un valor máximo de $909.60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ en Octubre. La correlación entre la temperatura y el NH_4 demostró que no hubo relación significativa entre estas dos variables ($p < 0.05$).

Flujo de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$.

El flujo de los $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ fue generalmente dominado por la incorporación por parte de los sedimentos, con excepción de Junio, cuando se midió un flujo positivo que indicó liberación neta hacia la columna de agua (fig 6b).

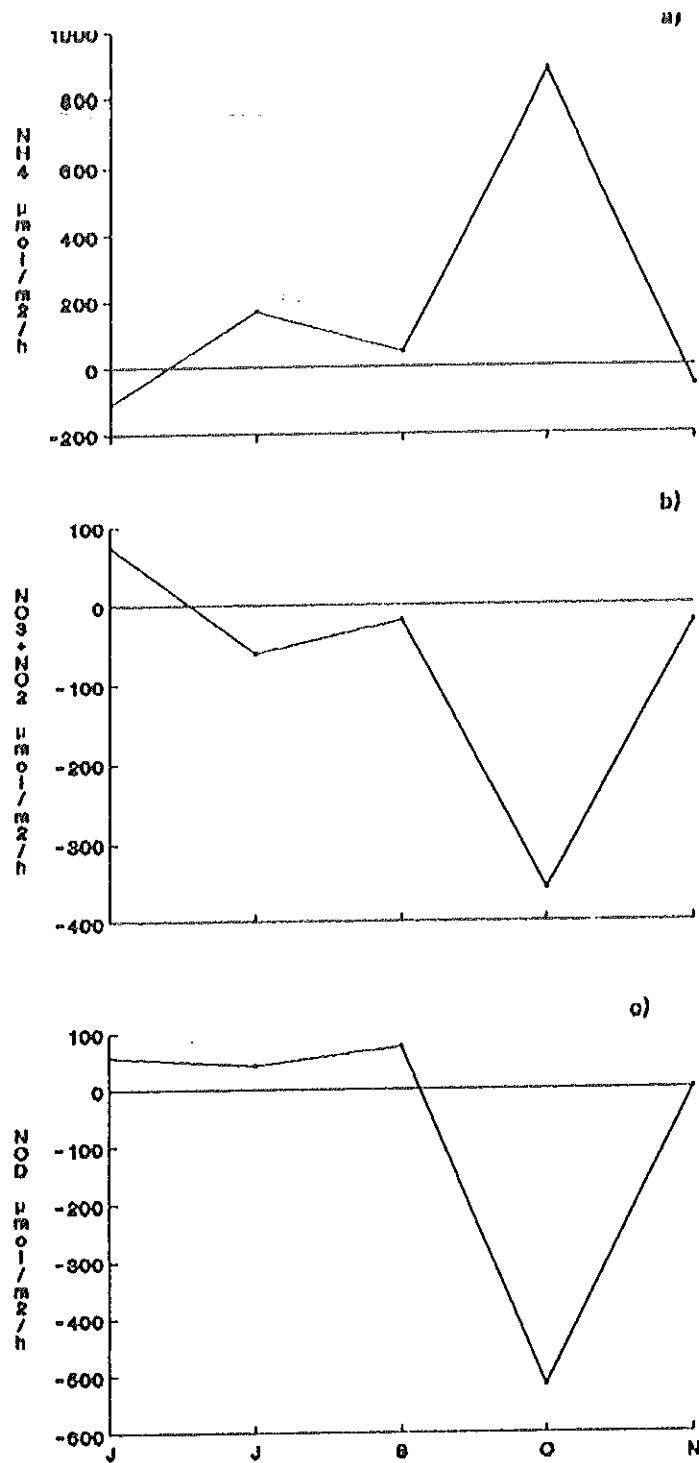


Fig. 6.- Comportamiento de los flujos promedio de NH_4 (a), $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ (b) y HOD (c), a través de la interfase sedimento-agua durante el estudio, donde los flujos positivos indican liberación de la variable de los sedimentos, y los negativos su incorporación.

El promedio que se presentó para los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ fué de $-76.94 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$, presentándose un intervalo muy amplio, con un valor mínimo de $-359.10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ durante Octubre, mientras que el máximo fué de $82.32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ en Junio.

Los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ no fueron significativamente relacionados con la incorporación del oxígeno disuelto en el sedimento, ni tampoco con la temperatura, como lo demostró la prueba de correlación para estas variables ($p < 0.05$).

Flujo de N.O.D.

El flujo de N.O.D. fué de los sedimentos hacia la columna de agua (fig 6c), con excepción del muestreo de Octubre cuando se midió una fuerte tasa de incorporación.

La media de N.O.D. tuvo un valor de $-68.28 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$, con un intervalo muy amplio, mismo que registró un valor mínimo de $-537.95 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ en Octubre, mientras que el valor máximo fué de $78.25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ durante Septiembre.

Los flujos de N.O.D. no se relacionaron con los valores de temperatura, ni con los de incorporación del oxígeno en el sedimento, como lo demostró la correlación entre estas variables ($p < 0.05$).

6. DISCUSIONES.

Flujo de Oxígeno.

El promedio de las tasas del oxígeno disuelto incorporado por el sedimento, esta dentro del promedio reportado en otras investigaciones (tablas II y III), aunque no fué medido un ciclo estacional completo.

Sin embargo las mediciones de esta variable, no presentan un comportamiento similar al que se han registrado en las investigaciones realizadas a la fecha (Hale, 1974; Nixon, 1976; Boynton et al., 1981; Hopkinson et al., 1978), al menos en los meses que se evaluaron durante este estudio. Esto es debido a que no fueron mayores las tasas de incorporación en Verano que en Otoño.

Durante este estudio, la dinámica del oxígeno en los sedimentos no fué relacionada con la temperatura, así como ha sido observado por otros autores (Hopkinson et al., 1978; Hargrave, 1980). Otros, sin embargo, han reportado una alta correlación entre la incorporación bentónica del oxígeno y la temperatura (Hale, 1974; Hartwig, 1974; Nixon et al., 1976). Algunos investigadores han tratado de determinar la importancia de la materia orgánica y su disponibilidad en relación a la incorporación del oxígeno en los sedimentos, donde la materia orgánica refleja un

Tabla III.- Muestra una seleccion de características físicas y flujos en la interfase sedimento-agua, de varios estudios practicados en sistemas estuarinos y y que han sido publicados a la fecha.

| | TEMPERATURA (°C) | FLUJO DE O ₂ (MG/M ² /HR) | FLUJO DE NH ₄ (μMOL/M ² /HR) | FLUJO DE NO ₃ +NO ₂ (μMOL/M ² /HR) | FLUJO DE NOD (μMOL-M ² /HR) | |
|---|------------------------------------|--|---|--|---|---------------|
| 1 | ESTERO DE PUNTA BANDA | 17.6 A 21.2 | 9.32 A 32.19 | -136.1 A 909.8 | -359.1 A 82.32 | -537.9 A 78.2 |
| 2 | SISTEMA ATCHAFALAYA. | 7.0 A 35.0 | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 3 | SISTEMA PATUXENT. | 0.0 A 24.0 | 21.0 A 171.0 | -50.0 A 1577.0 | -674.0 A 700.0 | -428.0 A 216 |
| 4 | SISTEMA NARRAGANSETT | 0.0 A 24.0 | -10.0 A -150 | 0.0 A 400.0 | -30.0 A 110.0 | 100.0 A 400.0 |
| 5 | SISTEMA BAHIA SAN FRANCISCO. | 7.0 A 25.0 | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 6 | SISTEMA ATCHAFALAYA. | ----- | 0.0 A 143.0 | -50.0 A 450.0 | -680.0 A 620.0 | -4851 A 4484 |
| 7 | SISTEMA POTOMAC. | ----- | -30.0 A 10.4 | 2.0 A 875.0 | ----- | ----- |
| 8 | SISTEMA NEUSE. | ----- | -5.0 A 69.0 | 71.0 A 454.0 | 0.0 A 6.0 | ----- |
| 9 | SISTEMA BAHIA SAN FRANCISCO. | ----- | ----- | 167.0 | ----- | ----- |

Referencias de los Sistemas:

- 1 Estero de Punta Banda.- Este estudio.
- 2 Sistema Atchafalaya.- Denes et al., 1983.
- 3 Sistema Patuxent.- Boynton et al., 1980.
- 4 Sistema Narragansett.- Nixon et al., 1976.
- 5 Sistema Bahia San Francisco.- Conomos et al., 1979.
- 6 Sistema Atchafalaya .- Teague, 1983.
- 7 Sistema Potomac.- Callender y Hammond, 1982.
- 8 Sistema Neuse .- Fisher et al., 1982.
- 9 Sistema Bahia San Francisco.- Hammond y Fuller, 1979.

balance de aporte y consumo más que de disponibilidad (Hargrave y Phillips, 1981).

La poca relación hallada entre la incorporación del oxígeno con respecto a la temperatura, al menos para los meses evaluados en este estudio, no se muestra de acuerdo a aquellas investigaciones donde se han estudiado ciclos estacionales completos (Teague, 1983; Fisher et al., 1982), en los que se observó que las máximas tasas de respiración se dan durante los meses más cálidos (Verano), declinando cuando las temperaturas disminuyen (Otoño)

El tipo de sedimentos y la materia orgánica, posiblemente pudieron influir en la dinámica del oxígeno incorporado, aunque en este estudio no se analizaron estas variables, sin embargo una observación directa en el campo nos indicó que los sedimentos presentes en el área de estudio, fueron del tipo limo-arcillosos y no-consolidados con posible floculación en la capa superior.

Teague (1983), evaluó en una de sus estaciones de estudio, sedimentos con características similares a las que se presentan en nuestra zona de muestreo, señalando que en la capa superficial de los sedimentos hay una alta floculación. Estas características en los sedimentos permiten que la difusión de materiales sea más rápida, y

que posiblemente facilite la dinámica de estos en la interfase sedimento-agua. Señala también que esta situación puede producir una capa de sedimentos aeróbica más gruesa, tasas relativamente altas en el intercambio de compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos, incluyendo productos de la respiración anaeróbica. Es en esta capa de sedimento aeróbico, donde la materia orgánica puede ser utilizada más eficientemente, y los productos de la respiración anaeróbica que lleguen a ella, pueden ser oxidados químicamente.

Famatmat (1977), afirma que la oxidación química de la materia orgánica es un proceso relacionado con la incorporación de oxígeno en los sedimentos. Por lo tanto la transformación de la materia orgánica es lo que influye sobre la asimilación del oxígeno.

Flujo de Nutrientes.

Flujo de Amonio (NH_4).

El flujo de este nutriente, dominó de los sedimentos hacia la columna de agua, su intervalo esta dentro de los que han sido obtenidos en otros estudios publicados a la fecha (tabla IV). El comportamiento que presentó esta variable en el estudio, fué diferente a lo reportado por

Tabla IV.- Comparaciones de flujo de amonio en la interfase sedimento-agua de varios medios ambientes acuaticos.

| Localidad | Metodo | Tasa de Flujo | Referencia. |
|-----------------------------|--------|------------------|---------------------------|
| Estero de Punta Banda | 1 | 909.60 a -136.93 | Este estudio. |
| Bahia de Fourleague, LA. | 1 | 758.00 a -157.00 | Teague, 1983. |
| Bahia Narragansett, RI. | 1 | 400.00 a 0.00 | Nixon et al., 1976. |
| Bahia Roskeda, Irlanda. | 1 | 13.00 a 67.00 | Raine y Patching 1980. |
| Estuario Patuxent, MD. | 1 | 1584.0 a -105.0 | Boynton et al., 1981. |
| Mar del Norte. | 2 | 11.00 a 144.00 | Billen, 1978. |
| Cuenca del Atlantico Medio. | 3 | 70.00 a 350.00 | Rowe y Smith, 1977. |
| Cuenca La Jolla, CA. | 1 | 137.0 a -2.00 | Hartwig, 1974. |
| Aguas Costeras de Georgia. | 1 | 165.0 a ----- | Hopkinson y Wetzel, 1982. |

Las unidades de las tasas de flujo de estos estudios se encuentran dadas en

$$\mu\text{mol-n}^{-2}\text{-h}^{-1}$$

Los metodos usados fueron: 1.- Camara de incubacion.

2.- Perfil en los sedimentos.

3.- Perfil en la Columna de agua.

algunos autores (Fisher et al., 1982; Callender y Hammond, 1982; Teague, 1893; Boynton y Kemp, 1985); quiénes obtuvieron tasas de máxima liberación durante la época de altas temperaturas (Verano). La máxima tasa de liberación ocurrió en Octubre (Otoño) y la de incorporación en Junio (Verano), siendo muy probable que la poca influencia de la temperatura sobre esta variable, sea debida al promedio tan pequeño a lo largo del estudio, del orden de 3.6°C. La tasa máxima de liberación del NH_4^+ fué medida en Octubre, siendo posiblemente debida a la influencia de los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$, puesto que también presentaron sus máximas tasas de incorporación en los sedimentos.

En lo referente al N.O.D., puede remineralizarse a NH_4^+ en cualquier ambiente de los sedimentos (aeróbico y anaeróbico) y difundirse hacia la columna de agua (Klump y Marten, 1983). Estos mismos autores han señalado para los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$, que en un ambiente anaeróbico se pueden reducir para producir NH_4^+ , mismo que se difunde hacia la capa superficial (aeróbica) de los sedimentos, y de aquí a la columna de agua.

La fuerte tasa de liberación del NH_4^+ ocurrida durante Octubre, y que coincidió con las máxima tasa de incorporación para los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$, pudo ser ocasionada por una

denitrificación bacteriana en los sedimentos de estas formas oxidadas del nitrógeno, incrementándose la concentración del NH_4^+ (Teague 1983).

También se sabe que al efectuarse un intercambio de materiales (nutrientes) en la interfase sedimento-agua, puede suceder que una cierta cantidad de N.O.D. se "pierda" entre las capas de sedimento, durante la oxidación de la materia orgánica, misma que puede estar regulando este proceso, aunque este nitrógeno "perdido" puede aparecer en forma de NH_4^+ , o bien otras formas nitrogenadas (Nixon y Pilson, 1983), lo que puede justificar parcialmente el comportamiento del NH_4^+ y el N.O.D. en este estudio.

Con respecto a la incorporación medida en Junio, se observó la liberación $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ y una alta tasa de consumo de oxígeno en sedimentos. Esto posiblemente nos indica un proceso de nitrificación en la capa aeróbica del sedimento, donde el NH_4^+ se oxida para formar NO_2^- y después NO_3^- , para luego difundirse a la columna de agua (Klump y Marten, 1983). En Noviembre (incorporación), este proceso no sucede ya que no hay una liberación de los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$. Al observarse esto, se sugiere muy probablemente un proceso de denitrificación, donde hay una reducción de los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ para la formación esencial de N_2 , aunque en nuestro

estudio, no se cuantificó esta variable, lo que probablemente hubiese confirmado la existencia de este proceso.

Aguíñiga García y Alvarez Borrego (1989), Callender y Hammond (1982), reportaron que la bioturbación y la formación de parches en el sedimento (petacheo) creados por la fauna bentónica, pueden ser parcialmente responsables por las concentraciones observadas en los nutrientes inorgánicos como el NH_4^+ y los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$.

Corredor y Morell (1989), reportaron que al usar cámaras de incubación para la medición "in situ" de nutrientes inorgánicos, y disminuir la concentración del oxígeno disuelto dentro de la cámara, hasta niveles muy bajos, pueden incrementarse las concentraciones de los nutrientes, pudiendo ocurrir probablemente esto con el NH_4^+ .

Flujo de Nitratos más Nitritos. ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$).

El flujo de los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ en este estudio, fué mayor de la columna de agua a los sedimentos, su intervalo esta dentro de los observados en estudios publicados a la fecha (tabla V).

Tabla V.- Comparaciones de flujo de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ estimados de varios medios ambientes acuaticos.

| Localidad | Metodo | Tasa de Flujo | Referencia. |
|-----------------------------|--------|-----------------|--------------------------|
| Estero de Punta Banda | 1 | 82.32 a -359.10 | Este estudio. |
| Bahia Fourleague, LA. | 1 | 908.0 a -1039.0 | Teague, 1983. |
| Bahia Narragansett, RI. | 1 | 110.0 a -30.0 | Nixon et al., 1980. |
| Bahia Roskeda, Irlanda. | 1 | 7.0 a -4.0 | Raine y Patching 1980. |
| Estuario Patuxent, MD. | 1 | 700.0 a -674.0 | Boynton et al., 1980. |
| Cuenca La Jolla, CA. | 1 | 4.0 a -0.2 | Hartwig, 1974. |
| Mar del Norte. | 2 | 137.0 a -2.0 | Billen, 1978. |
| Aguas Costeras de Georgia.* | 1 | 10.0 a ----- | Hopkinson y Metzel 1982. |

Las unidades de las tasas de flujo de esta variable estan dadas en

$$\mu\text{mol-n}^{-2}\text{-h}^{-1}.$$

Los metodos usados fueron: 1.- Camara de incubacion.

2.- Perfil de sedimentos.

* Indica que la medicion fue realizada durante un periodo de altas temperaturas ambientales.

La incorporación por parte de los sedimentos por lo tanto, nos indica posiblemente la predominancia de la denitrificación, quién ha sido hipotetizada a ser el proceso principalmente responsable de la incorporación de los NO_3^- por parte de los sedimentos estuarinos y marinos (Nixon et al., 1976; Boynton et al., 1981; citados por Teague, 1983).

La máxima tasa de incorporación de los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$, coincidió con la mayor tasa de liberación del NH_4^+ , indicando probablemente un proceso de denitrificación, ya que evidencias aportadas (Nixon, 1980), indican que durante este proceso, los NO_3^- son usados preferencialmente antes que el oxígeno disuelto, para efectuar el proceso de degradación de la materia orgánica, así como también al degradarse la materia orgánica presente, pudo provocar procesos de reducción de los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ en los sedimentos de la capa aeróbica (Vanderborght y Billen, 1975; Grundmanis y Murray, 1977; Sorensen, 1984; Koike y Sorensen, 1988).

Otro de los procesos que podría relacionarse a este aspecto, es la reducción del NO_3^- a NH_4^+ y que puede efectuarse en medios ambientes reducidos (Buresh y Patrick, 1981; Smith et al., 1978; Klump y Marten, 1983). Este proceso no se considera como una regla general en la

pérdida de de los $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$, durante su flujo en la interfase sedimento-agua, en ambientes costeros (Teague, 1983).

Flujo de Nitrógeno Orgánico Disuelto. (N.O.D.).

El intercambio de NH_4^+ y de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ en la interfase sedimento-agua y su flujo, representan la razón neta del nitrógeno orgánico mineralizado (Blackburn, 1988).

El intercambio medido de nutrientes usando cámaras de incubación sobre la superficie de los sedimentos, constituye un buen método de la medición del N.O.D. (Hartwig, 1976), ya que se está midiendo la totalidad de la actividad bentónica que puede alterar al N.O.D. (Klump y Marten, 1981).

En los flujos de N.O.D., este fué mayor de los sedimentos hacia la columna de agua. Su tasa de liberación esta dentro de los promedios que se han observado en otras áreas (tabla III). Esto posiblemente sea debido, a que las características físicas de las diferentes zonas donde ha sido estudiada esta variable, (por ejemplo: temperatura y salinidad), sean muy parecidas a las que se observaron en nuestra zona de estudio.

Las diferencias presentadas durante los muestreos de este estudio, ponen de manifiesto la importancia del N.O.D., así como la importancia de la liberación y su incorporación por los sedimentos.

La liberación del N.O.D., posiblemente fué debida al tipo de sedimentos limo-arcillosos y no-consolidados, que permiten que el N.O.D. producido en las capas anaeróbicas profundas (aún en pequeñas concentraciones), se difundan a las capas superiores del sedimento, y después hacia la columna de agua (Teague, 1983). Este mismo proceso posiblemente ocurrió en el mes de Octubre, pero de manera inversa, es decir que el N.O.D. se difundió hacia las capas anaeróbicas del sedimento. En esta ocasión se presenta la máxima incorporación. Así mismo, pudo ocurrir en aquella época que la demanda de N.O.D. por la comunidad bentónica excediera a las concentraciones producidas en el sedimento, obteniéndolo de la columna de agua. Si los sedimentos fueran consolidados, probablemente no se presentarían procesos tan marcados de liberación e incorporación del N.O.D. (Teague, 1983).

Teague (1983), señala que cuando se presenta este tipo de sedimentos, no pueden existir intercambios de las aguas intersticiales más profundas con las capas superiores (el

agua intersticial trae consigo N.O.D.). Y las demandas de este nutriente por la comunidad bentónica en la capa superior pueden exceder a lo que se ha producido, por lo tanto como ya fué señalado, este nutriente tiene que ser obtenido de la columna de agua. Estas condiciones no son indicativas de que en nuestra área de estudio se tienda en proporciones muy grandes, a que las capas de sedimentos inferiores y más profundas exporten al N.O.D.

7. CONCLUSIONES.

- 1.- El reciclaje de nutrientes inorgánicos y orgánicos se registró en los sedimentos del Estero de Punta Banda.
- 2.- Durante todos los muestreos realizados se encontró la incorporación del oxígeno por los sedimentos en el Estero de Punta Banda.
- 3.- La liberación de NH_4 de los sedimentos a la columna de agua no se relacionó con la temperatura, ni tampoco con la incorporación del oxígeno en el sedimento.
- 4.- Una alta variabilidad de flujo del nitrato más nitrito, fué encontrada en los sedimentos del Estero de Punta Banda.

8. LITERATURA CITADA.

- Aguíñiga García S. y S. Alvarez Borrego. 1989. Petacheo y Variación temporal de Amonio y Fosfato en aguas intersticiales de sedimentos de entremareas de una laguna costera. *Ciencias Marinas*, 15 (3): 97-120.
- Allen, J., E. Mandelli y J.P. Zimmermann. 1981. Physics-Geology-Chemistry. En: *Coastal Lagoon. Research, present and future*. UNESCO, Technical Papers in Marine Res. 32.
- Alvarez Borrego, S., Aguíñiga García, S. y Camacho Ibar V.F. 1988. Un sencillo y barato muestreador in situ para aguas intersticiales de sedimentos de entremareas. *Ciencias Marinas*, 14(1): 41-50.
- Billen, G. A budget of Nitrogen recycling in North Sea sediments off the Belgian coast. *Est. Coast. and Shelf Sci.* 7: 127-146.
- Blackburn, T.H. 1988. Benthic mineralization and Bacterial Production. In: Blackburn, T.H. and Sorensen, J. (eds.). *Nitrogen Cyclin in Coastal Marine Environments*. SCOPE 1988.
- Boynton, W.K., W.M. Kemp, and C.G. Osborne. 1981. Benthic nutrient fluxes in the sediment trap portion of the Patuxent estuary. In: V. Kennedy (ed.). *Estuaries Perspectives*. Academic Press New York.
- Boynton, W.K., and W.M. Kemp. 1985. Nutrient regeneration and oxygen consumption by sediments along an estuarine salinity gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 23: 45-55.
- Buresh, R.J. and W.H. Patrick, Jr. 1981. Nitrate reduction to ammonium and organic nitrogen in an estuarine sediment. *Soil Biol. Biochem.* 13: 279-283.
- Callender, E. and D.E. Hammond. 1982. Nutrient exchange across the sediment-water interface in the Potomac River Estuary. *Est. Coast. and Shelf Sci.* 15: 395-413.
- Camacho Ibar, V.F. 1987. Dinámica de nutrientes de las aguas intersticiales de sedimentos lodosos con halófitas en una laguna costera. Tesis Maestría. CICESE. México.
- Carey, A.G. , Jr. 1967. Energetics of the benthos of Long Island Sound. I. Oxygen utilization of sediment. *Bull. Bingham Oceanogr. Collect. Yale University.* 19: 136-144.

- Carrit, E.D. and J.H. Carpenter. 1966. Comparison and Evaluation of Currently Employed Modifications of the Winkler Method for Determining Dissolved Oxygen in Seawater; A NASCO Report. Jour. of Mar. Res. 24 (3): 286-316.
- Celis Ceceña, R. y S. Alvarez Borrego. 1975. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos físicos y químicos en el estero de Punta Banda, B.C. Cien. Mar. (Méx.). 2 (1): 98-105.
- Conomos, T.J., R.E. Smith, D.H. Petersons, S. W. Hager and L.E. Schmel. 1979. Processes affecting seasonal distribution of water properties in the San Francisco Bay estuarine system. pp. 115-142. In: T.J. Conomos (ed.), San Francisco Bay: The urbanizeed estuary. Pacific Div., AAAS, San Francisco.
- Corredor, J.E. y J. Morell. 1989. Assessment of inorganic nitrogen fluxes across the sediment-water interface in a tropical lagoon. Est. Coast. and Shelf Sci. 28: 339-345.
- Delwiche, C.C. 1970. The Nitrogen Cycle. Scientific American, 223: 136-147.
- Denes, T. 1983. Seasonal transports and circulation of Fourleague Bay, Louisiana. M.S. Thesis, Louisiana State University.
- Farfán, B.C. y S. Alvares Borrego. 1982. Variability and fluxes of Nitrogen and Carbon at the mouth of a coastal lagoon. Est. Coast. and Shelf Sci. 17: 599-612.
- Fisher, T.R., R.T. Barber and R.T. Carlson. 1982. Sediment nutrient regeneration in three North Caroline Estuarie. Est. Coast. and Shelf Sci. 14: 101-116.
- Green Ruiz, M.J., S. Caschetto y S. Alvarez Borrego. 1983. Sílice disuelto en la columna de agua y en las aguas intersticiales de una laguna costera. Ciencias Marinas, 9 (2): 51-74.
- Grundmanis, V. and J.W. Murray. 1977. Nitrification and denitrification in marine sediments from Puget Sound. Limnol. Oceanogr. 14 (6): 801-805.
- Haine, E.B. 1975. Nitrogen content and acidity of rain on the Georgia Coast. Water Resources Bull. 12: 1223-1231.
- Hale, S.S. 1974. The role og benthic communities in the nutrient cycles of Narragansett Bay. Masters Thesis. University of Rhode Island, 123 pp.

- Hammond, D.E., and C. Fuller. 1979. The use of radon-222 to estimate sediment-water exchange and atmospheric exchange rates in San Francisco Bay, p. 213-230. In: T.J. Conomos (ed.), San Francisco Bay: The Urbanized estuary. Pacific Division, AAAS, San Francisco.
- Hargrave, B.T. 1969. Similarity of oxygen uptake by benthic communities. *Limnol. Oceanogr.* 14 (5): 801-805.
- Hargrave, B.T. 1973. Coupling carbon flow through some pelagic and benthic communities. *J. of Fish. Res. of Canada* 30: 1317-1326.
- Hargrave, B.T. 1980. Factors affecting the flux of organic matter to sediments in a marine bay. In: K.R. Tenore and B.C. Coull (eds.). *Marine Benthic Dynamics*. University of South Carolina Press. Columbia.
- Hargrave, B.T. and G.A. Phillips. 1981. Annual in situ carbon dioxide and oxygen flux across a subtidal marine sediment. *Est. Coast. and Shelf Sci.* 12: 725-737.
- Hartwig, E.O. 1974. Physical, Chemical and Biological aspects of nutrient exchange between the marine benthos and the overlying water. Ph. D. Thesis. Univ. Calif. San Diego.
- Hartwig, E.O. 1976. The impact of the nitrogen and phosphorus release from a siliceous sediment on the overlying water. In: *Estuarine Processes*. Vol. I: 101-117.
- Ho, C.L. y J. Lane. 1973. Interstitial water composition in Barataria Bay (Louisiana) sediments. *Est. Coast. and Shelf Sci.* 1: 125-135.
- Hopkinson, C.S., J.W. Day Jr., and B.T. Gael. 1978. Respiration studies in a Louisiana salt marsh. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnología. UNAM.* 5 (1): 225-236.
- Hopkinson, C.S. and R.L. Wetzel. 1982. In situ measurements of nutrient and oxygen fluxes in a coastal marine benthic community. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 10: 7-21.
- Hopkinson, C.S. 1987. Shallow water benthic and pelagic metabolism evidence of heterotrophy in the nearshore Georgia Bight. *Mar. Biol.* 85. 19-32 pp.
- Koike, I. and J. Sorensen. 1988. Nitrate reduction and denitrification in marine sediments. In: Blackburn, T.H. and Sorensen, J. (eds.) *Nitrogen Cycling in Coastal Marine Environments. SCOPE 1988.*

- Klump, J.V. and Marten, C.S. 1983. Biogeochemical cycling in a organic rich coastal marine basin-II. Nutrient sediment-water exchange processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 45: 101-121.
- Krumbein, W., P. Lasserre and S.W. Nixon. 1981. Biological processes and Ecology. In: Coastal lagoon Research, present and future. UNESCO. Technical Papers in Marine Science. 32.
- Martin, J, M. 1983. Chemical aspects of estuaries. The biochemistry of organic matter in estuarine environments. *OCEANIS (Doc. OCEANOGR.)*. 9 (7): 531-538.
- Millán Nuñez, E. y S. Alvarez Borrego. 1981. Variabilidad temporal y espacial de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera, a finales de Verano. *Ciencias Marinas*, Vol. 7(1): 101-127.
- Morales Zamorano, L.A. 1988. Papel trófico de microheterótrofos marinos durante un periodo de marea muerta-viva en el estero de Punta Banda, B.C. México. (Sept. de 1987). Tesis Maestría. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C.
- Nixon, S.W. 1976. Remineralization and nutrient cycling in coastal marine ecosystems. In: B. Neilson and L.E. Cronin (eds.) *Nutrient Enrichment in estuaries*. Humana Press.
- Nixon, S.W., C.A. Oviatt, and S.S. Hale. 1976. Nitrogen regeneration and the metabolism of coastal marine bottom communities. pp. 269-283. In: J.M. Anderson and A Macfayden (eds.). *The role of terrestrial and aquatic organisms in decomposition Processes*. Blackwell Sci. Publ. OXFORD.
- Nixon, S.W. 1980. Remineralization and nutrient cycling in coastal marine ecosystems. Int. Symposium Nutrient Enrichment Estuaries. Williamsburg, VA. Humana Press.
- Nixon, S.W. 1981. remineralization and Nutrient Cycling in Coastal Marine systems. In: *estuaries and Nutrients*. pp. 111-138. Ed. by: B.J. Nelson and L.E. Cronin. Clifton New Jersey. Humana Press.
- Nixon, S.W. and M. Pilson. 1983. Nitrogen in estuarine and coastal marine ecosystems. In: *Nitrogen in the marine environments*. (Carpenter, E. and D. Capone, eds.). pp 565-649. Academic Press Inc. London, England.
- Pamatmat, M.M. 1977. Benthic community metabolism: a review and assessment of a present status and outlook. In: B.C. Coull (ed.), *Ecology of Marine Benthos*. Univ. of South Carolina Press, Columbia.

- Pritchard, D.W., De la Paz Vela, R., Cabrera, H.M. y Farreras, S.S. 1978. Hidrografía Física del estero de Punta Banda. Parte I: Análisis de Datos. *Cienc. Mar.* 5 (2): 1-23.
- Raine, R.C.T. and J.W. Patching. 1980. Aspects of carbon and nitrogen cycling in a shallow marine environment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 47: 127-139.
- Roberts, D.W. 1981. Structure and function of nearshore and open lake benthic communities in Lake Ponchartrain, Louisiana. M.S. Thesis, Louisiana State University.
- Secretaría de Marina. 1974. Estudio geográfico de la región de Ensenada, B.C. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo. México.
- Sokal R.R. and F.J. Rohlf. 1969. BIOMETRY. In: Freeman, W.H. (ed). Second Edition. New York, USA.
- Sorensen, J. 1984. Seasonal variations and control of oxygen, nitrate and sulfate respiration in Coastal Marine Sediments. In: Klug, M.J. and Reddy, C.A. (eds.) *Currently Perspective*. In: *Microbiol. Ecol.* pp. 447-453.
- Smith, K.L., G.T. Rowe, and J.A. Nichols. 1973. Benthic community respiration near the Woods Hole Sewage outfall. *Est. Coast. Mar. Sci.* 1: 65-70.
- Smith, K.L., G.A. White, M.B. Laver, and J.A. Haughness. 1978. Nutrient exchange and oxygen consumption by deep sea benthic communities: preliminary in situ measurements. *Limnol. Oceanogr.* 23 (5): 977-1005.
- Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. 1972. A manual of seawater Analysis. (Sec. Edit.). Fisher Research Board of Canada. Bull. 167.
- Teague, K.G. 1983. Benthic oxygen uptake and net sediment-water nutrient flux in a river-dominated estuary. Master of Science. Thesis Marine Sciences Dept. Louisiana State Univ.
- Teague, G.K., C.J. Madden, and J.W. Day Jr. 1988. Sediment Water Oxygen and Nutrient Fluxes in a River-Dominated Estuary. *Estuaries* 11 (1): 1-9 pp.
- Vanderborght, J.P. and G. Billen. 1975. Vertical distribution of nitrate concentration in interstitial water of marine sediments with nitrification and denitrification. *Limnol. Oceanogr.* 20 (6): 953-961.

-Vanderborght, J.P., R. Wollast, and G. Billen. 1977. Kinetic models of diagenesis in disturbed sediments. Part. 2. Nitrogen Diagenesis. *Limnol. and Oceanogr.* 22 (5):794-803.