

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**SERIES DE TIEMPO DE NUTRIENTES EN CANALES
DE INUNDACION DE MARISMAS EN EL
ESTERO DE PUNTA BANDA**



TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANOLOGO**

PRESENTA

MARIA GUADALUPE LUZ SOTO BALDERAS

Ensenada, B.C.

Agosto de 1990

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS


TESIS PROFESIONAL
QUE PRESENTA:

MARIA GUADALUPE LUZ SOTO BALDERAS

APROBADA POR:



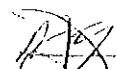
DR. SAUL ALVAREZ BORREGO
PRESIDENTE DEL JURADO



M.C. GUILLERMO TORRES MOYE
SINODAL PROPIETARIO



M.C. ROBERTO MILLAN NUÑEZ
SINODAL PROPIETARIO



OC. HECTOR BUSTOS SERRANO
SINODAL SUPLENTE



OC. EDGAR ARROYO ORTEGA
SINODAL SUPLENTE

RESUMEN

Con el propósito de caracterizar las aguas de los canales de inundación de las marismas del Estero de Punta Banda, se generaron series de tiempo de temperatura ($T^{\circ}\text{C}$), salinidad (S0/00), concentración de nitrato más nitrito ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$), amonio (NH_4), y fosfato (PO_4) en las bocas de tres de ellos. Estos canales se localizan cerca de la boca del Estero (B), en la parte media (M) y en el extremo interno (C) del mismo. En cada caso, se tomaron muestras cada hora, durante doce horas, tomándose trece muestras superficiales para cada variable. Las primeras series se realizaron los días 2, 3 y 4 de agosto con mareas vivas, y las otras los días 15, 16 y 17 del mismo mes con mareas muertas. Además, se realizaron dos muestreos a lo largo del canal principal del Estero, uno en flujo y otro en refluo, los días 5 y 18 de agosto, para comparar con los resultados de los canales mencionados. Las propiedades del agua de las bocas de los canales B y M son similares a las del canal principal. Los valores más altos de salinidad y nutrientes se encontraron en el canal C, donde la salinidad máxima fue 39.2 0/00, y las concentraciones máximas de nutrientes fueron $10 \mu\text{M}$, $27 \mu\text{M}$ y $7 \mu\text{M}$, para $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, NH_4 y PO_4 respectivamente; comparadas con una salinidad máxima de 36.0 0/00 y concentraciones máximas de $4.9 \mu\text{M}$, $24 \mu\text{M}$ y $3.2 \mu\text{M}$ para $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, NH_4 y PO_4 respectivamente, en los canales B y M. Los altos valores del canal C se deben a la baja velocidad de renovación del agua, o alto tiempo de residencia, en el extremo interno del Estero. Los intervalos de variación de $T^{\circ}\text{C}$ fueron similares en los tres canales. La temperatura dependió principalmente de las condiciones de marea, con valores mayores con la marea bajando. Mis datos no apoyan la hipótesis de que las concentraciones de nutrientes en las aguas de refluo de los canales de inundación de las marismas sean mayores que las del canal principal. La hipótesis implicaba que el agua de las marismas tenía un mayor aporte de nutrientes de los sedimentos por remineralización, que las del canal principal del Estero. Mis datos indican que la concentración de nutrientes depende principalmente de la velocidad de renovación del agua. En los canales B y M la acumulación de los nutrientes es menor que en el canal C debido a la cercanía con la boca del Estero de los primeros. El alto tiempo de residencia del agua del extremo interno del Estero lo hace especialmente vulnerable a la introducción de contaminantes. Cualquier contaminante que se introduzca del vértice de la L hacia el interior tenderá a acumularse y a permanecer en él mucho más persistentemente que en el brazo largo de la laguna.

DEDICATORIA

Con todo mi amor y admiración a ti papá, que siempre me apoyaste en todo momento. Te aseguro que tus consejos se han quedado en mí, para ser lo mejor en mi vida.

A ti mamá, que con tu cariño y deseo de ser la mejor madre, has llenado un lugar muy importante en mi corazón.

A toda mi gran familia, que sin su apoyo nunca habría llegado este momento.

Con mucho cariño para tí.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente al Dr. Saul Alvarez Borrego por su acertada direcci3n de este trabajo, y por que con el aprendi cada momento.

A mis sinodales por su valiosa colaboraci3n en la revisi3n del trabajo y por sus aportaciones en la complementaci3n del mismo.

Con mucho cari3o a la Biologa Rafaela Paredes, Bequi, Lucy, Pedro, Mario, Karmina, Carmen, Miriam, Hector y mi primo Alf ya que con su compa3a pase grandes momentos. Gracias por ser como son.

De manera especial a Yolanda y Silvia por su apoyo y por que con ellas aprendi cosas utiles.

Al Dc. Adolfo Granados G. y los alumnos de la prepa Benito J. por su colaboraci3n en el campo para obtenci3n de mis muestras.

Al Baja Beach and Tennis Club por su ayuda a la conclusi3n de mi Tesis.

A todo el personal del CICESE y Ciencias Marinas por su generosa colaboraci3n.

INDICE

	Página
I. INTRODUCCION	1
I.i. ANTECEDENTES	6
I.ii. OBJETIVOS	11
II. MATERIALES Y METODOS	12
II.i. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	12
II.ii. METODOLOGIA	14
III. RESULTADOS	17
IV. DISCUSIONES	39
V. CONCLUSIONES	54
VI. BIBLIOGRAFIA CITADA	56

LISTA DE TABLAS

TABLA	Pag.
TABLA I Estadísticas básicas de los diferentes muestreos.....	20
TABLA II Resultados de la prueba t para comparaciones de las medias de dos muestreos, según se indica a la izquierda. DS indica que la diferencia es significativa. NDS indica lo contrario. *, **, y *** representan: diferencia significativa, muy significativa, y altamente significativa, respectivamente; de acuerdo al criterio de Sokal y Rohlf (1969).....	32

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	pag.
Fig. 1.- Localización de las estaciones de muestreo.....	7
Fig. 2.- Altura de marea para los muestreos en los canales de la boca, del medio y de la cabeza.....	18
Fig. 3.- Series de tiempo de temperatura para los canales B, M y C. Las de la izquierda son las de los días 2, 4 y 3 de agosto; y las de la derecha son las de los días 15, 17 y 16, como en la figura 2.....	19
Fig. 4.- Series de tiempo de salinidad para los canales B, M y C. Las de la izquierda son las de los días 2, 4 y 3 de agosto; y las de la derecha son las de los días 15, 17 y 16, como en la figura 2.....	22
Fig. 5.- Diagrama temperatura-salinidad de los muestreos de los canales B, M y C. Los símbolos oscuros representan datos en marea bajando, y viceversa. □, Δ, ◇, 0, +, x, representan datos del 2, 15, 4, 17, 3, y 16 de agosto, respectivamente.....	23
Fig. 6.- Series de tiempo de nitrato más nitrito para los canales B, M y C. Las de la izquierda son las de los días 2, 4 y 2 de agosto; y las de la derecha son las de los días 15, 17 y 16, como en la figura 2.....	24
Fig. 7.- Series de tiempo de amonio para los canales B, M y C. Las de la izquierda son las de los días 2, 4 y 3 de agosto; y las de la derecha son las de los días 15, 17 y 16, como en la figura 2.....	25
Fig. 8.- Series de tiempo de fosfato para los canales B, M y C. Las de la izquierda son las de los días 2, 4 y 3 de agosto; y las de la derecha son las de los días 15, 17 y 16, como en la figura 2.....	26

- Fig. 9.- Diagrama de nitrato mas nitrito versus salinidad de los muestreos de los canales B, M y C. Los simbolos oscuros representan datos en marea bajando, y viceversa. $\square, \Delta, \diamond, 0, +, x$, representan datos del 2, 15, 4, 17, 3 y 16 de agosto, respectivamente.....28
- Fig. 10.- Diagrama de amonio versus salinidad de los muestreos de los canales B, M y C. Los simbolos oscuros representan datos en marea bajando, y viceversa. $\square, \Delta, \diamond, 0, +, x$, representan datos del 2, 15, 4, 17, 3 y 16 de agosto, respectivamente...29
- Fig. 11.- Diagrama de fosfato versus salinidad de los muestreos de los canales B, M y C. Los simbolos oscuros representan datos del 2, 15, 4, 17, 3 y 16 de agosto, respectivamente.....30
- Fig. 12.- Resultados del muestreo a lo largo del canal principal con la marea en flujo (T °C y S ‰).....34
- Fig. 13.- Resultados del muestreo a lo largo del canal principal con la marea en flujo (NO₃ + NO₂, NH₄ y PO₄).....35
- Fig. 14.- Resultados del muestreo a lo largo del canal principal con la marea en reflujos (T °C, y S ‰).....36
- Fig. 15.- Resultados del muestreo a lo largo del canal principal con la marea en reflujos (NO₃ + NO₂, NH₄ y PO₄).....37

I. INTRODUCCION

La existencia de las comunidades biológicas, principalmente las bentónicas, en medios ambientes como estuarios y lagunas costeras, están en función de procesos físicos y químicos. El transporte y modificación de materiales en estos ambientes sólo pueden ser discernidos mediante mediciones de los cambios de las propiedades del medio ambiente en el espacio y el tiempo (Aguñiga García y Alvarez Borrego, 1989).

Un concepto fundamental en la ecología es que la energía entra en la biósfera principalmente en forma de luz solar y es transformada en material orgánico via fotosíntesis. Esta materia orgánica es el combustible para las actividades bióticas, las cuales la degradan y disipan en forma de calor. En este proceso las especies químicas están en un ciclo continuo entre organismos, agua, sedimentos y atmósfera (Margalef, 1980).

Las bahías, estuarios y lagunas costeras son lugares donde existen pesquerías y maricultivos, o el potencial para desarrollarlos. Los sistemas costeros semicerrados presentan una gran abundancia y diversidad de flora, fauna (zooplancton, bentos, necton) y diversos eslabones tróficos de la cadena alimenticia (Day y Yañez Arancibia, 1982).

Existe una gran variedad de lagunas con diferentes características que van desde su forma, tamaño, escala de temperaturas, aporte de agua dulce, intercambio con el mar, aportes antropogénicos y diversos usos humanos. Las lagunas costeras conforman el 13 % de los litorales del mundo (Nixon, 1982).

Alvarez Borrego (1978) describió a las lagunas costeras de Baja California como ecosistemas muy productivos. En las lagunas costeras se dan condiciones para lograr el conocimiento científico de los mecanismos de producción, por lo que es importante la realización de estudios de sus variables fisicoquímicas. De similar importancia son sus covariaciones y sus relaciones con la biota.

El Estero de Punta Banda es una laguna costera muy apropiada para desarrollar proyectos de tesis de estudiantes de Ensenada, ya que por su cercanía y accesibilidad es relativamente barato el realizar muestreos.

Las lagunas costeras del mundo tienen dimensiones desde unas pocas hectáreas (centésimas de km^2) hasta 8000 km^2 (Nixon, 1982). De acuerdo al diagrama de frecuencias de tamaños de lagunas costeras de Nixon (1982), el Estero de Punta Banda está un poco por debajo de la moda y es un orden de magnitud menor que la mediana en el mundo.

Es importante señalar que las lagunas costeras tienen mecanismos de fertilización, como son los procesos de remineralización de nutrientes en los sedimentos. Estos nutrientes se transportan a la columna de agua por medio de difusión o advección por percolación de las aguas intersticiales (Aguíñiga García y Alvarez Borrego, 1989). Zimmermann et al. (1985) encontraron diferencias significativas en la velocidad de percolación entre dos puntos colocados a 1 m de distancia horizontal. Estos autores concluyeron que las halófitas y la fauna bentónica asociada actúan aumentando la velocidad de la percolación, creando rutas de acceso para el agua intersticial. McRoy, Barsdate y Nebert (1972) indicaron que en las plantas vasculares como Zostera sp. y Spartina sp. ocurre una especie de bombeo de fosfato de los sedimentos hacia la columna de agua, vía absorción por sus raíces y excreción por las hojas.

Desde 1975 se han realizado una serie de estudios para caracterizar las concentraciones de nutrientes en la columna de agua del Estero de Punta Banda (Alvarez Borrego et al., 1977; Zertuche Gonzalez y Alvarez Borrego, 1978; Sánchez Hernández, 1978; Green Ruiz et al., 1984; Millán Nuñez et al., 1981). El trabajo de Green Ruiz et al. (1984) incluyó estudios de la concentración de silicato (SiO_2) en el agua

intersticial de los sedimentos en un sitio cercano a la boca. En general, las concentraciones de nutrientes son relativamente uniformes en la columna de agua, en la parte del Estero adyacente a la barra que lo separa de la Bahía. Estas concentraciones son similares a las de aguas oceánicas costeras relativamente ricas (0.5 a 1.2 μM para la concentración de fosfato (PO_4), 0.1 a 1.0 μM para la concentración de nitrato (NO_3), y 1.0 a 8.0 μM para SiO_2). En verano, los valores de PO_4 y de SiO_2 que se han reportado para la parte interna del Estero son mayores que las de la parte adyacente a la boca (hasta más de 5 μM para PO_4 y hasta más de 30 μM para SiO_2) (Sánchez Hernández, 1978).

Estudios realizados recientemente en el Estero (Camacho Ibar y Alvarez Borrego, 1988; Aguiñiga García y Alvarez Borrego, 1989) revelaron valores de la concentración de nutrientes en el agua intersticial de los sedimentos de entremareas mucho más altos que los que comúnmente se han reportado para la columna de agua; y describieron una gran variación de PO_4 y de la concentración de amonio (NH_4) de los sedimentos del extremo interno y un punto en la parte media de la barra que separa al Estero de la Bahía de Todos Santos. La variación vertical de éstos nutrientes en el sedimento muestran valores altos a 5-20 cm y valores mínimos en la

superficie del sedimento y a 40 cm. Los sedimentos del extremo interno presentaron concentraciones de nutrientes particularmente altas (como NH_4 : 220-1970 μM ; y PO_4 : 23-103 μM) (Camacho Ibar y Alvarez Borrego, 1988). Estas concentraciones son seis veces mas altas que las del sedimento de la barra del Estero (Aguíñiga García y Alvarez Borrego, 1989). Esta diferencia se debe a que el sitio de la barra del Estero es más energético, con corrientes de marea mucho mas fuertes que el extremo interno. Velasco Nova (1987) estudió la concentración de fosfato disuelto en el agua intersticial de una planicie de inundación del Estero y reportó valores mayores de concentración de fosfato para marea baja que para marea alta.

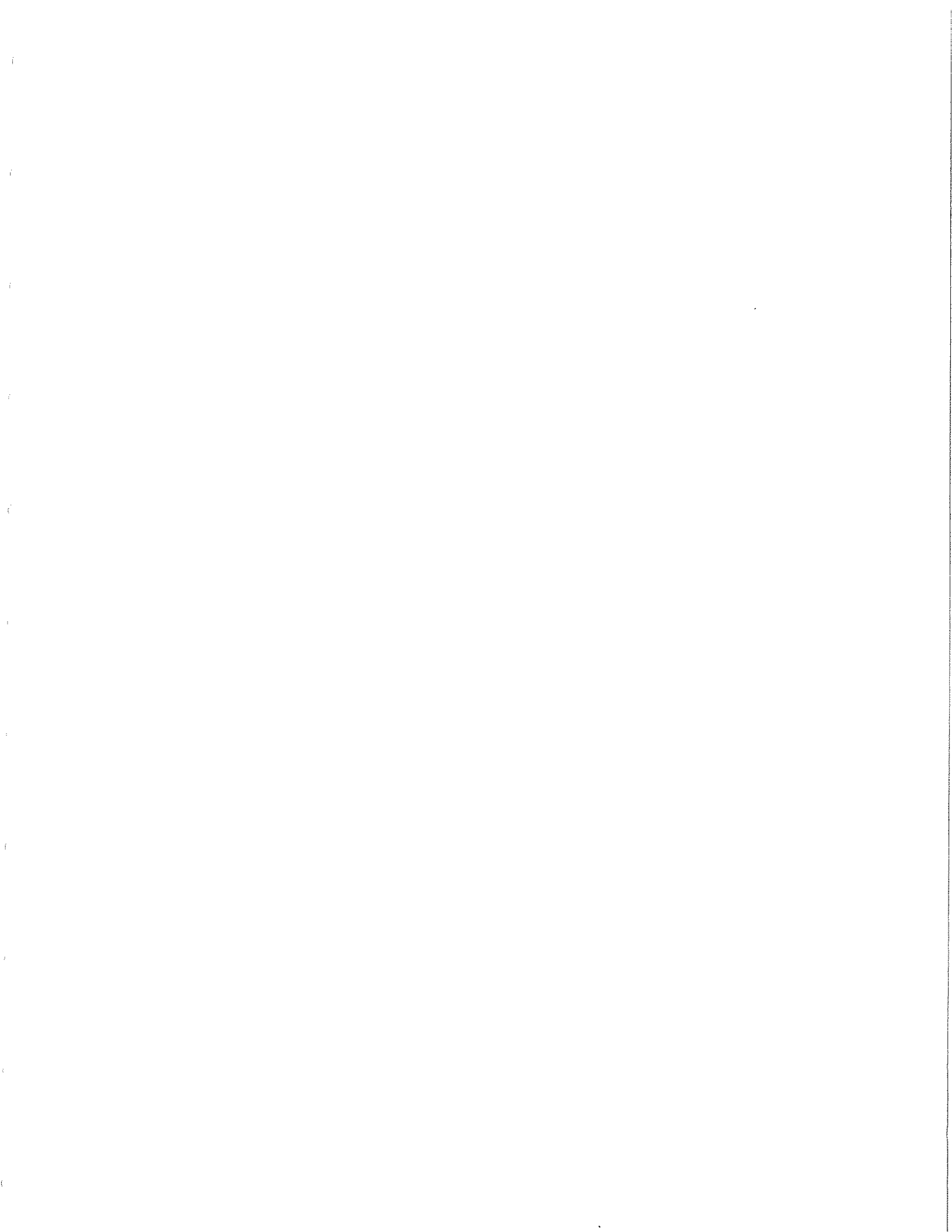
Welsh (1979) indicó que las marismas heterotróficas modifican el agua de inundación de las mareas, ya que remueven oxígeno y aportan grandes cantidades de fosfato y amonio, sobre todo en el verano. En estos flujos y reflujos se realiza un reciclamiento de nutrientes mediante captaciones y liberaciones.

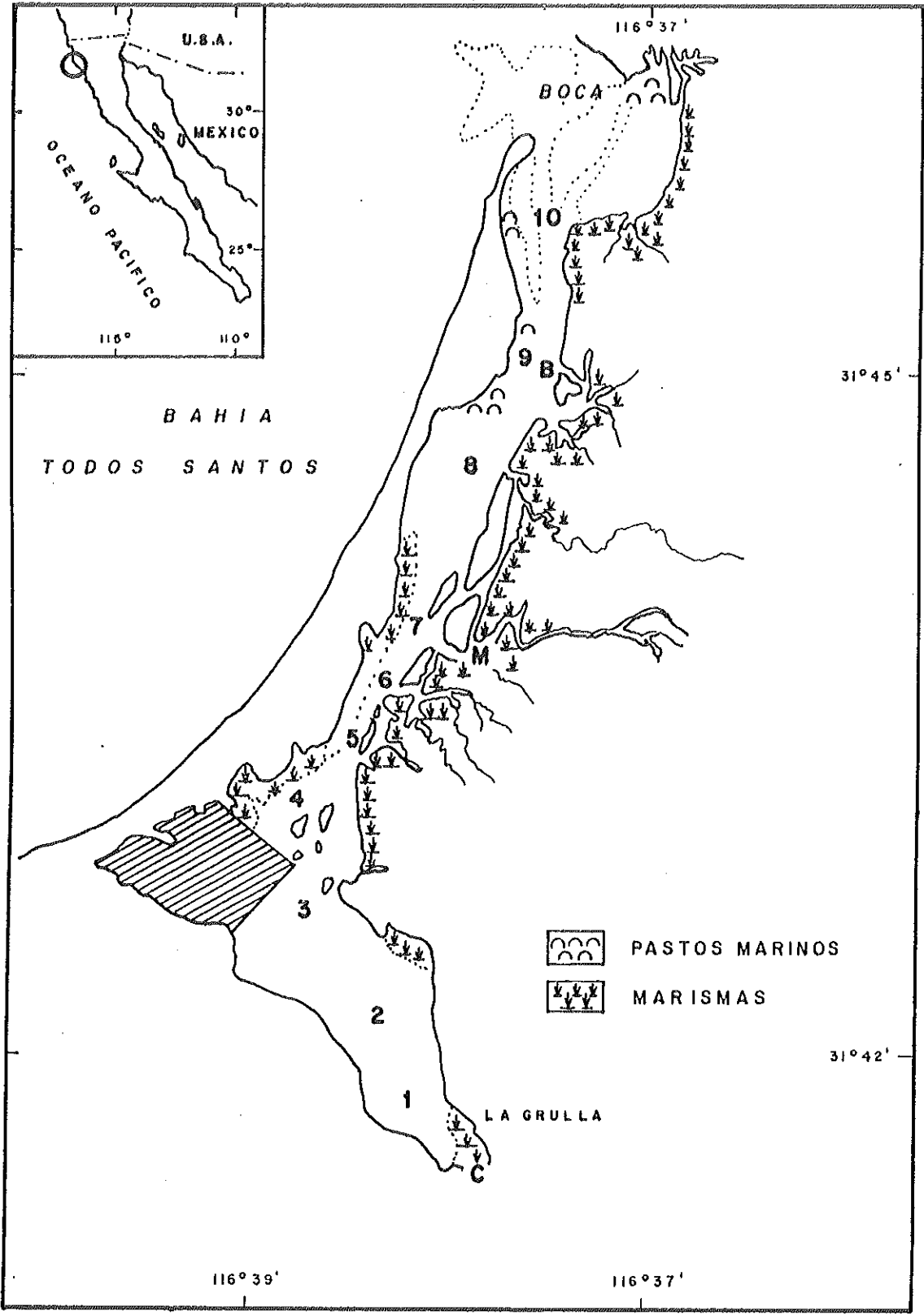
El objetivo del presente trabajo fué el realizar una caracterización de variables físicas y las concentraciones de nutrientes del agua que fluye por tres de los canales de inundación de las marismas del Estero de Punta Banda: uno

cerca de la boca (B), otro en la parte media del Estero (M), y otro en el extremo interno (C) (Fig. 1). Además, se hizo una caracterización del agua del canal principal para poder compararlo con los anteriores. El propósito de esto fue el complementar el conocimiento de la dinámica de los nutrientes en el Estero, generando datos sobre un medio que no se había estudiado hasta ahora: los canales de inundación de las marismas de entremareas. Sólo se habían caracterizado las concentraciones de los nutrientes en el cuerpo de agua principal de la laguna y en las aguas intersticiales de las marismas. Es de gran interés conocer las variaciones de estas propiedades en diferentes localizaciones del Estero bajo condiciones de marea viva y marea muerta.

i) ANTECEDENTES

El Estero de Punta Banda posee extensas marismas saladas y lodosas, y praderas del pasto Zostera marina (Pérez Chávez et al., 1979; Aguilar Rosas, 1980) (citados por Ibarra Obando y Escofet, 1987). Entre las macrofitas predominan Spartina foliosa, Salicornia bigelovii y Salicornia pacífica. Las que ocupan mayor extensión son las especies de Salicornia y aunque su productividad es mas baja que Spartina foliosa consideradas unitariamente, ambas especies constituyen las componentes principales en el aporte de material orgánico





en los Esteros (Zedler, 1977) (citada por Nishikawa Kinomura, 1983). La infauna de las marismas es muy rica, y abundan los crustáceos como Upogebia pugettensis y Callinassa californiensis, entre otros. En los canales abundan: el cangrejo violinista Uca crenulata; los moluscos Cerithidea californica, Navanax inermis y Bulla goldiana; además de tres pelecípodos (almejillas) Chione californiensis, C. fluctifraga y C. undatella; peces, donde destacan los lenguados Paralichthys californicus, Pleuronchthys decurrens, las rayas Urolophus halleri, Geymnura marmota y Hyliobatis californica, la corvina Menticirrhus undulatus, y las cabrillas Paralabrax maculatofasciata (Nishikawa Kinomura, 1983).

Las lagunas costeras, como las del Noroeste de Baja California, se caracterizan por ser exportadoras de amonio. En los extremos internos hay una elevada concentración de materia orgánica y la actividad bacteriana causa bio-oxidación intensa y remineralización de los nutrientes en los sedimentos (Farfán y Alvarez Borrego, 1983) y en la columna de agua. En estas lagunas costeras hay un aumento en las concentraciones de fosfato y silicato de la boca hacia la cabeza. Estas mayores concentraciones de nutrientes en el interior son debido a la gran abundancia de pastos

marinos que actúan como atenuantes de la corriente de marea. Esto permite que el material en suspensión, orgánico e inorgánico, se deposite en el fondo, causando una concentración elevada de material orgánico, principalmente en los sedimentos de los extremos internos (Alvarez Borrego y Chee Barragán, 1976). Se han reportado valores mayores de temperatura, salinidad y nutrientes para la zona interna que para la región adyacente a la boca del Estero de Punta Banda (Acosta Ruiz y Alvarez Borrego, 1974; Celis Ceseña y Alvarez Borrego, 1975; Sánchez Hernández, 1978; Millán Nuñez et al., 1981).

Debido al reciclamiento de nutrientes a través de la superficie de los sedimentos, las concentraciones de nutrientes a menudo no limitan al fitoplancton de éstas lagunas (Silva Cota y Alvarez Borrego, 1988). En éstas lagunas el comportamiento de las propiedades de la columna de agua presenta alta variación en el tiempo y en el espacio, principalmente debido a corrientes de marea y heterogeneidad espacial de dichas propiedades (Millán Nuñez et al., 1981 y Millán Nuñez et al., 1982).

Las variaciones temporales del nivel del mar en el Estero son producidas por tres procesos: las fuerzas de la marea astronómica, el esfuerzo del viento sobre la superficie del

agua y las variaciones temporales de la distribución de densidad del agua a lo largo del Estero (Pritchard et al., 1978). Estos autores reportaron que el área superficial total del Estero es de $3.61 \times 10^6 \text{ m}^2$ en bajamar media inferior, y $11.63 \times 10^6 \text{ m}^2$ en pleamar media superior; y que el volumen total del Estero es de $5.28 \times 10^6 \text{ m}^3$ en bajamar media inferior y $17.18 \times 10^6 \text{ m}^3$ en pleamar media superior. Sin embargo, Pritchard et al. (1978) hicieron estas estimaciones en 1977. En el período de 1978 a 1983 hubo lluvias muy fuertes que aportaron una gran cantidad de material terrígeno al Estero, principalmente en 1980, con lo cual se cambió significativamente la batimetría del Estero reduciendo grandemente las profundidades. Pritchard et al. (1978) reportaron que la amplitud de la marea media en el Estero es de más de 1 m, y llega a ser hasta de 2.5 m en mareas vivas. Por lo anterior, hay una gran proporción de marismas que se inundan y se descubren periódicamente con las mareas, y ésto debe tener una gran influencia en la composición química del agua del cuerpo principal del Estero. Hasta ahora nadie había caracterizado los efectos de modificación química sobre estas aguas, sobre todo en lo que se refiere a la concentración de nutrientes, por lo que es interesante saber acerca de lo que ocurre en esa conexión entre la zona

de marismas inundadas por el agua mareal y el canal principal.

ii) OBJETIVOS

Caracterizar las aguas de las bocas de tres canales secundarios B, M y C (Fig. 1) que conectan el canal principal del Estero de Punta Banda con la zona de marismas de entremareas. Esta caracterización se hizo midiendo temperatura, salinidad, y las concentraciones de fosfato, nitrito (NO_2), nitrato y amonio, en verano.

Describir cambios de estas propiedades en función del tiempo y con diferentes condiciones de marea (flujo y reflujo, y en mareas vivas y muertas), mediante la generación de series de tiempo.

Caracterizar el agua de varios puntos a lo largo del canal principal del Estero para poder realizar comparaciones con la de los canales secundarios.

II. MATERIALES Y METODOS

i) DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El Estero de Punta Banda es una laguna costera ubicada en la costa Noroeste de Baja California, ~100 km al sur de la frontera entre México y Estados Unidos (Fig. 1). La laguna está en el extremo sureste de la Bahía de Todos Santos, con su boca a ~ 13 km del océano abierto. Tiene la forma de L, con su brazo corto de ~ 3 km y un brazo largo de ~ 7.5 km. Además una entrada permanente en el extremo norte del brazo largo. La profundidad del canal principal disminuye de la boca hacia el interior. Grandes áreas de planos fangosos se cubren y descubren periódicamente con las mareas. El Estero de Punta Banda se clasifica como una laguna neutra; la densidad del agua es igual o casi igual a la de la Bahía y el movimiento del agua es causado únicamente por las mareas y el viento (Pritchard et al., 1978). Hay dos arroyos que aportan agua dulce superficialmente a la laguna únicamente durante los días lluviosos (en invierno). En el periodo de 1982-1983 hubo precipitación pluvial relativamente alta reportándose un mínimo de 6^o/₀₀ cerca del extremo interno del vértice de la L (Alvarez Borrego et al, 1984), Sin embargo, en general hay gradientes de 5^o/₀₀ con valores incrementándose de la boca al extremo interno, debido al

exceso de evaporación en la laguna. Por lo amplio de las mareas vivas, la mezcla debida a corrientes de marea es fuerte. Lo somero de la laguna permite el desarrollo de dos clases de vegetación dominante. Una es la flora marina denominada pastos marinos, Zostera marina; la otra es la flora de marisma que esta desarrollada extensamente a lo largo de las márgenes bajas de la laguna, que se sujetan a inundaciones de mareas.

Sánchez Hernández (1978), Zertuche González y Alvarez Borrego (1978) y Alvarez Borrego et al (1977), reportaron que las concentraciones de nutrientes aumentan de la boca hacia la región interna. Además, se presentan valores mayores en verano que en invierno.

Sánchez Hernández (1978) reportó para verano, y para zonas cercanas a mis sitios de muestreo, salinidades de 33.85^o/oo, 33.87^o/oo y 36.41^o/oo, para B, M y C respectivamente. Aún cuando no se realizó un estudio de la fauna y flora presenta, puede observarse que la macrovegetación está constituida por especies como Suaeda californica, Salicornia virginica y Spartina foliosa. También tienen gran abundancia el cangrejo violinista (Uca sp.), el cangrejo azul (Callinectes sp.) y diferentes aves marinas de pico largo. Los tres canales muestreados son

permanentes y poseen agua hasta en las mareas mas bajas.

ii) METODOLOGIA

Se muestrearon tres canales B, M y C , así como algunos puntos a lo largo del canal principal, tratando de muestrear zonas cercanas a la boca de los canales secundarios elegidos (Fig.1).

Las estaciones a lo largo del Estero se localizaron por estima apoyándose en puntos fijos situados alrededor del Estero. El error de localización para las estaciones no es mayor de 20 m. Para muestrear estas estaciones a lo largo del Estero no se generaron series de tiempo. Se tomó una muestra superficial en cada localización; en una primera ocasión en marea subiendo (el 5 de agosto) y en otra en marea bajando (el 18 de agosto), iniciando el recorrido en la cabeza del Estero. En los puntos B, M y C se generaron series de tiempo de 12 hrs, con intervalo de muestreo de una hora. Las series de tiempo se generaron los días 2, 3 y 4 de agosto, en los puntos B, C y M respectivamente, con condiciones de marea viva; y el 15, 16 y 17 de agosto, respectivamente, con mareas muertas.

La temperatura se tomó con termómetro de cubeta. Las muestras para salinidad se tomaron con botellas de citrato de magnesio y se analizaron con un salinómetro de inducción Kahlsico, Modelo R59.

Las muestras de nutrientes se tomaron en botellas de plástico de 250 ml. Antes de llenar las botellas, el agua se hizo pasar por un filtro portátil de poro de 65 μm . Inmediatamente después de ser tomadas estas muestras se congelaron con hielo seco dentro de una hielera. Posteriormente se trasladaron al laboratorio para su análisis espectrofotométrico siguiendo la metodología descrita por Strickland y Parsons (1972). Se utilizó un espectrofotómetro Baush & Lomb, Spectronic 1001, con celdas de 1 cm para nitritos y nitratos y de 10 cm para fosfatos. El análisis de amonio se hizo por el método descrito por Koroleff (1976) modificado por Grasshoff et al. (1983).

Se realizó un tratamiento estadístico básico con los datos de las series de tiempo para mostrar de una manera resumida el número de muestras, el promedio, la mediana, la desviación estándar, el máximo y el mínimo; así como una estimación de diferencia significativa entre los promedios de los valores de las propiedades estudiadas en los diferentes muestreos, mediante una prueba t, con un nivel de confianza

de 95%

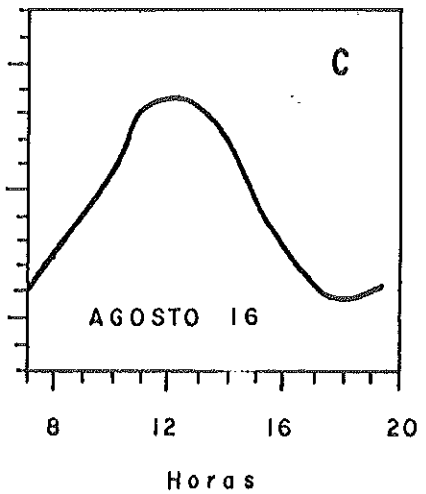
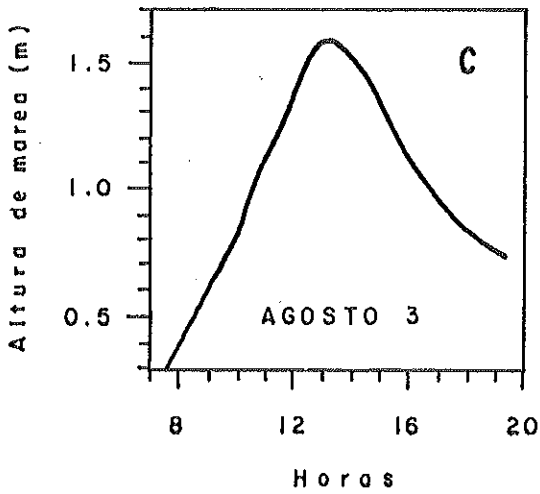
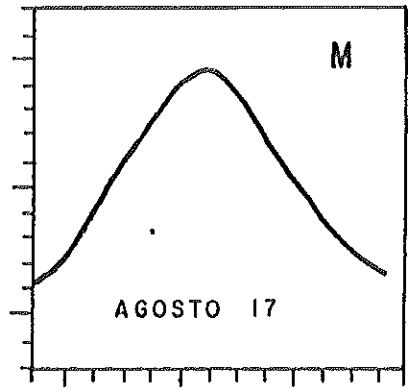
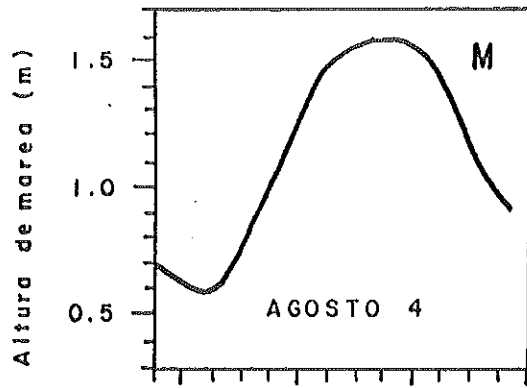
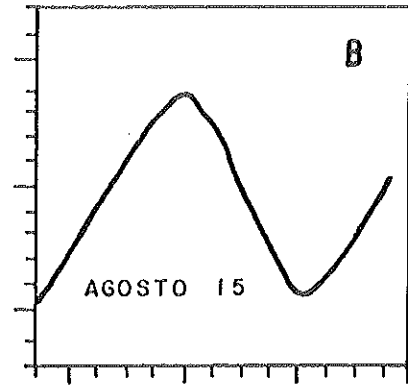
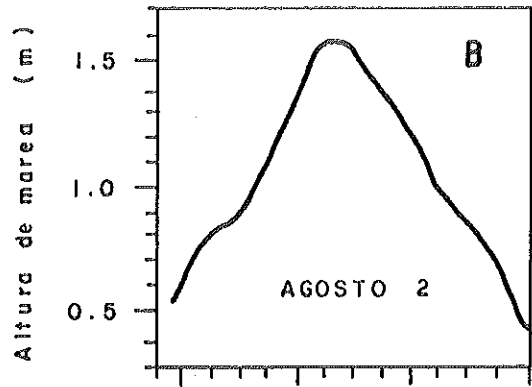
III. RESULTADOS

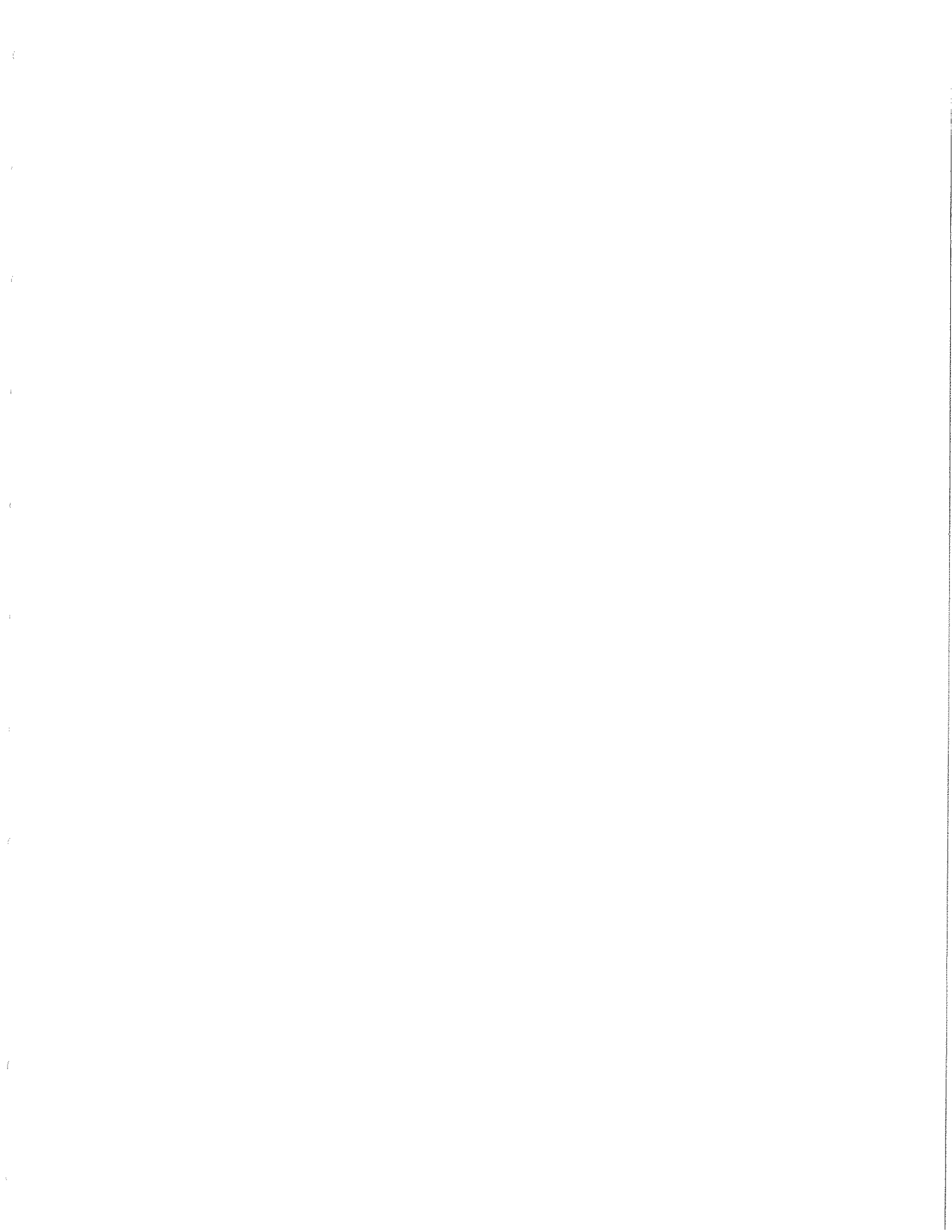
La amplitud más grande para las mareas de los días 2, 3 y 4 de agosto (mareas vivas) fue de 1.47 m para el 2 de agosto. Y la mayor de los días 15, 16 y 17 de agosto (mareas muertas) fue de 1.16 m el 15 de agosto (Fig.2). La marea menos amplia (1 m) se presentó el 17 de agosto.

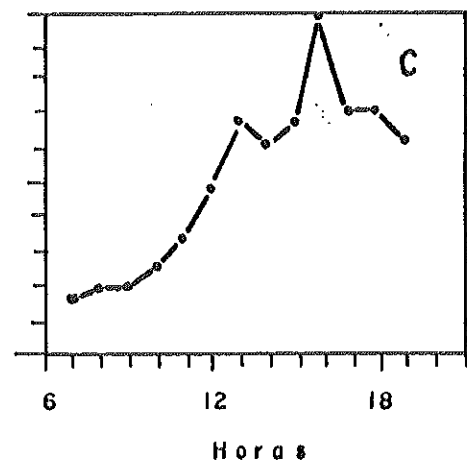
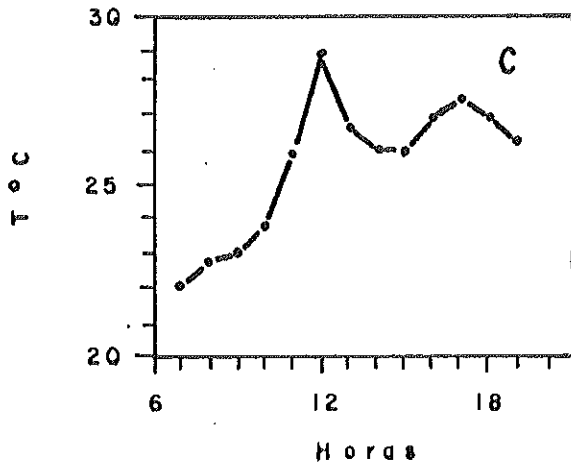
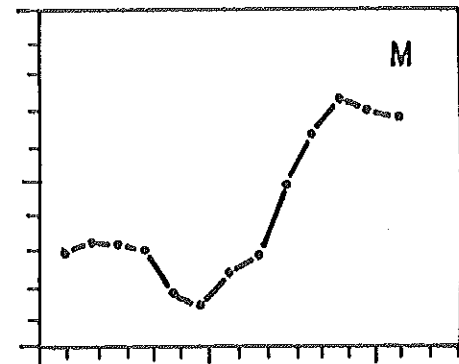
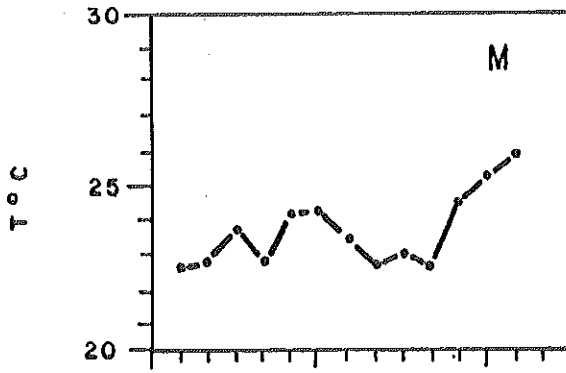
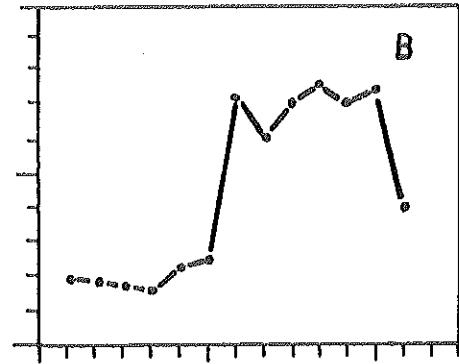
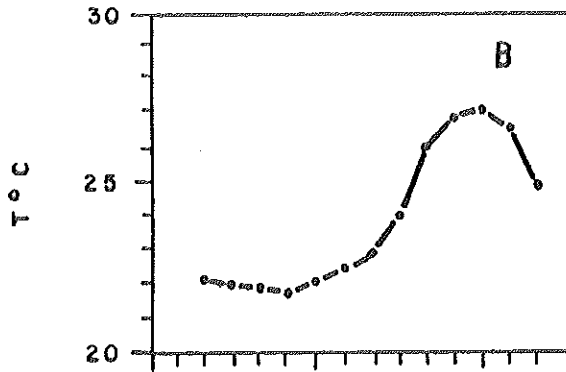
En general la temperatura tuvo valores mínimos similares para los tres canales secundarios, entre 21 y 23 °C. Pero los valores máximos del canal C fueron claramente mayores que los de los otros dos: 29 y 30 °C para el canal C, comparados con 27 y 27.5 °C para el canal B, y 26 y 27 °C para el canal M (Fig. 3 y Tabla I). Casi todos los muestreos coinciden en su inicio con flujo. Excepto el día 4 de agosto, ya que en el inicio del muestreo se presentó el final del reflujó. En general se nota una correlación de la variación de temperatura con el nivel del mar, con bajas temperaturas durante el flujo y viceversa, excepto el día 4 en el que hubo fluctuaciones de período corto.

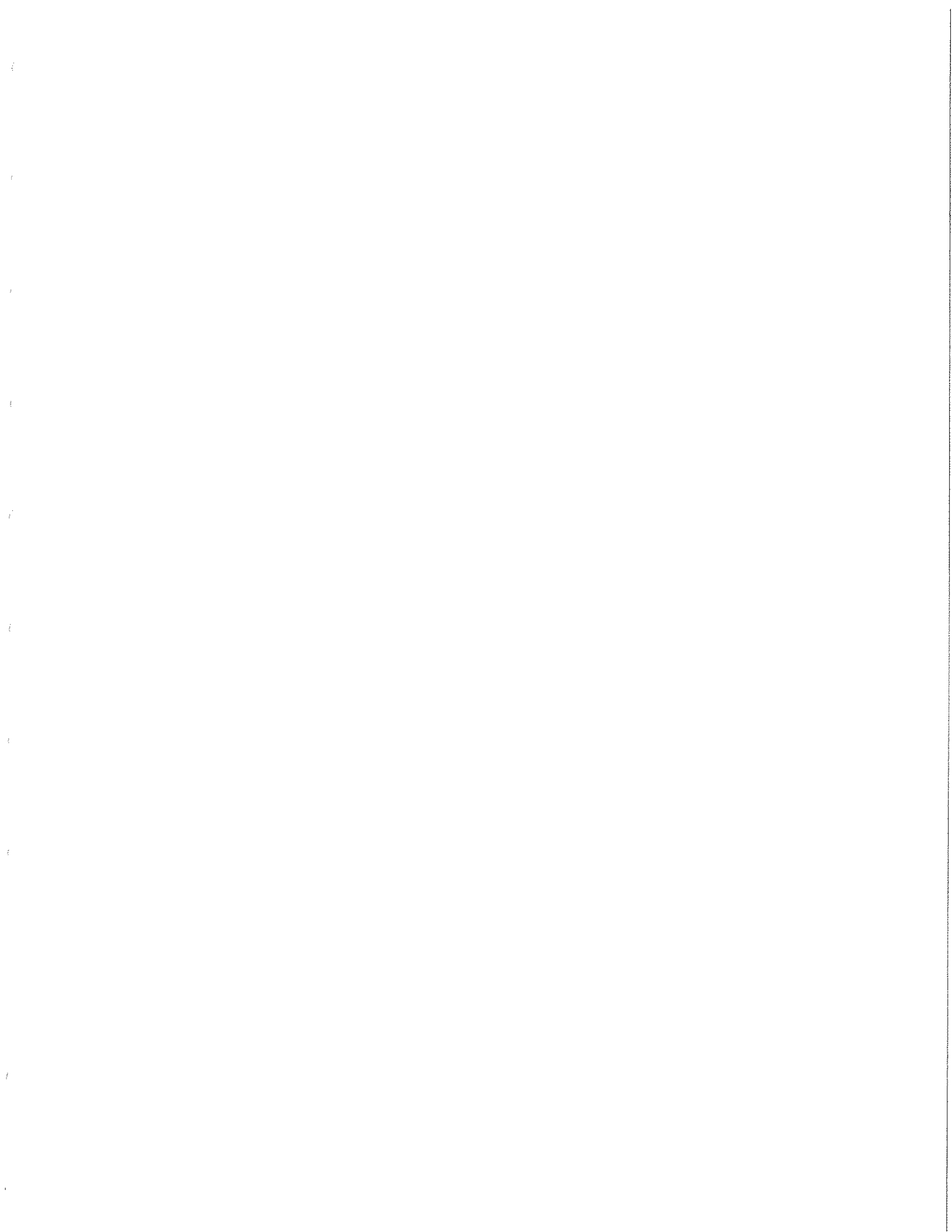
En general, la salinidad en los tres canales mostró un comportamiento similar para mareas vivas y mareas muertas. Los intervalos de variación de los canales B y M fueron similares, pero en el canal C la salinidad tuvo valores claramente mayores y con intervalos de variación más amplios.











AGOSTO 2 BOCA

VARIABLE	TEMP.	So/oo	PO4	NH4	NO2+NO3
No. MTRAS	13	13	13	13	13
PROMEDIO	23.8	34.4	1.1	3.2	1.3
MEDIANA	22.8	34.3	0.9	3.4	1.3
DESV. EST.	2.0	0.4	0.7	2.1	0.3
MIN.	21.7	34.0	0.5	0.2	0.8
MAX.	27	35.3	3.2	6.8	2.2

AGOSTO 4 MEDIO

VARIABLE	TEMP.	So/oo	PO4	NH4	NO2+NO3
No. MTRAS	13	13	13	13	13
PROMEDIO	23.4	34.4	0.5	4.3	1.4
MEDIANA	23.2	34.4	0.4	3.1	1.3
DESV. EST	1.0	0.4	0.3	2.8	0.4
MIN.	22.5	33.9	0.2	1.1	0.9
MAX.	25.6	35.3	1.3	9.4	2.1

AGOSTO 3 CABEZA

VARIABLE	TEMP.	So/oo	PO4	NH4	NO2+NO3
No. MTRAS	13	13	13	13	13
PROMEDIO	25.5	38.3	2.9	15.7	6.1
MEDIANA	26	38.9	2.0	19.2	5.3
DESV. EST	2	1.0	1.76	6.5	1.95
MIN.	22.2	36.5	1.3	5.3	4.3
MAX.	28.8	39.2	7.2	27.1	10.0

AGOSTO 15 BOCA

VARIABLE	TEMP.	So/oo	PO4	NH4	NO2+NO3
No. MTRAS	13	13	13	13	13
PROMEDIO	24.3	34.4	0.7	3.7	2.2
MEDIANA	24	34.3	0.7	3.7	2.1
DESV. EST	2.5	0.5	0.3	2	0.9
MIN.	21.5	33.7	0.3	0.0	0.9
MAX.	27.5	36.0	1.3	6.6	4.9

AGOSTO 17 MEDIO

VARIABLE	TEMP.	So/oo	PO4	NH4	NO2+NO3
No. MTRAS	13	13	13	13	13
PROMEDIO	23.8	34.3	0.7	3.7	2
MEDIANA	22.9	34.2	0.6	2.1	1.9
DESV. EST	2.0	0.4	0.6	6.0	0.3
MIN.	21.3	33.7	0.2	0.6	1.4
MAX.	27	35.2	2.6	23.8	2.9

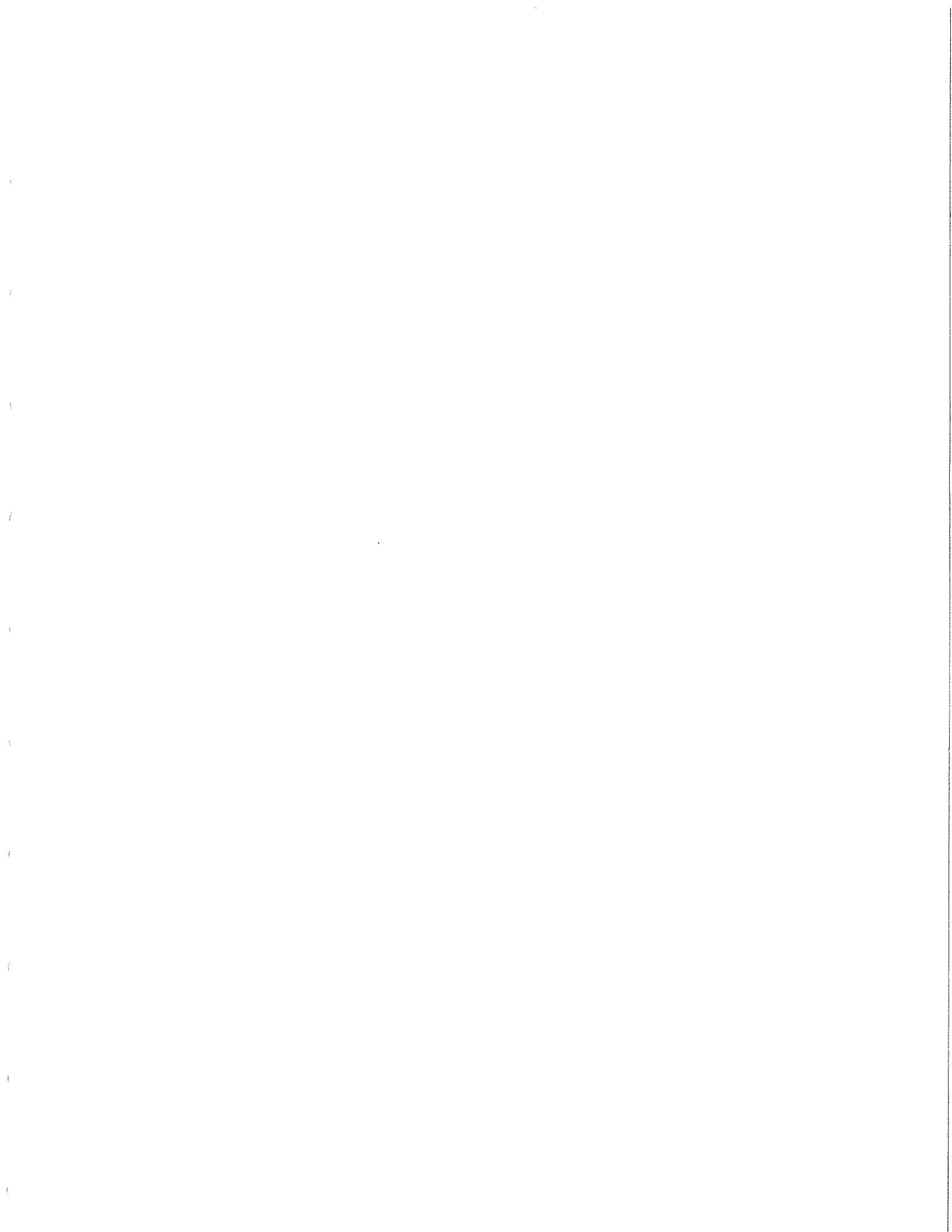
AGOSTO 16 CABEZA

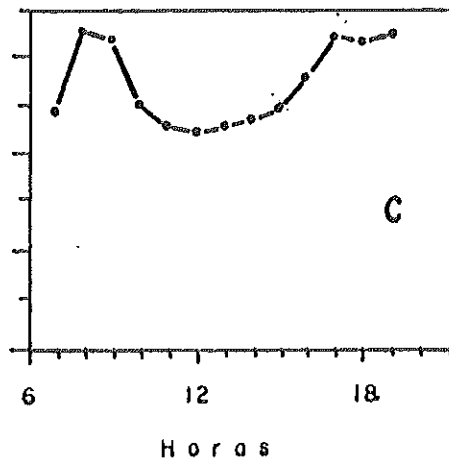
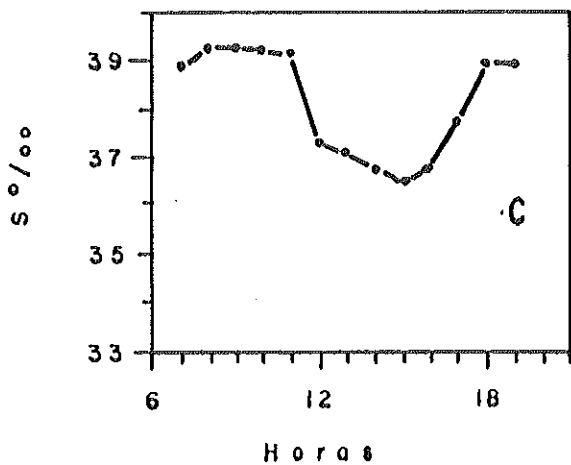
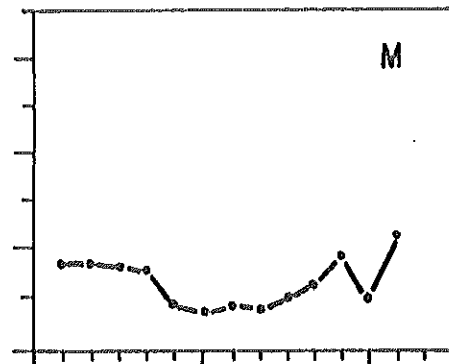
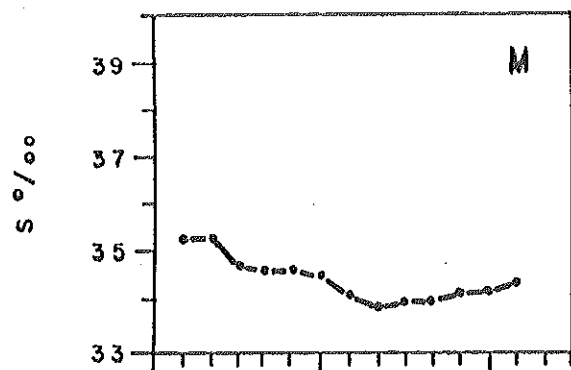
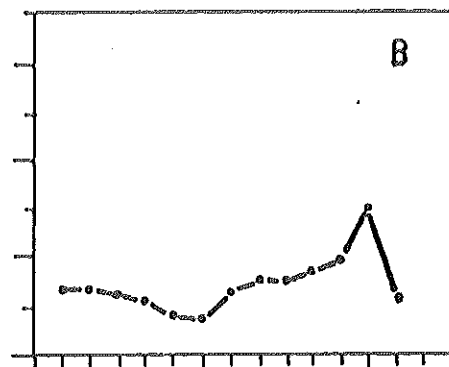
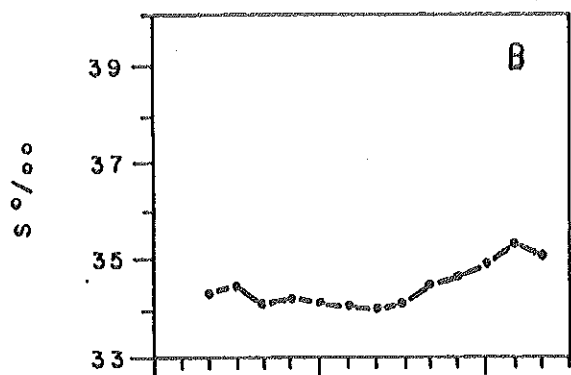
VARIABLE	TEMP.	So/oo	PO4	NH4	NO2+NO3
No. MTRAS	13	13	13	13	13
PROMEDIO	25	38.3	1.2	2.8	3.5
MEDIANA	26.1	37.9	1.2	2.9	3.5
DESV. EST	2.5	0.8	0.3	1.6	2.1
MIN.	21.7	37.4	0.7	0.3	0.7
MAX.	29.9	39.5	1.9	5.3	7.4

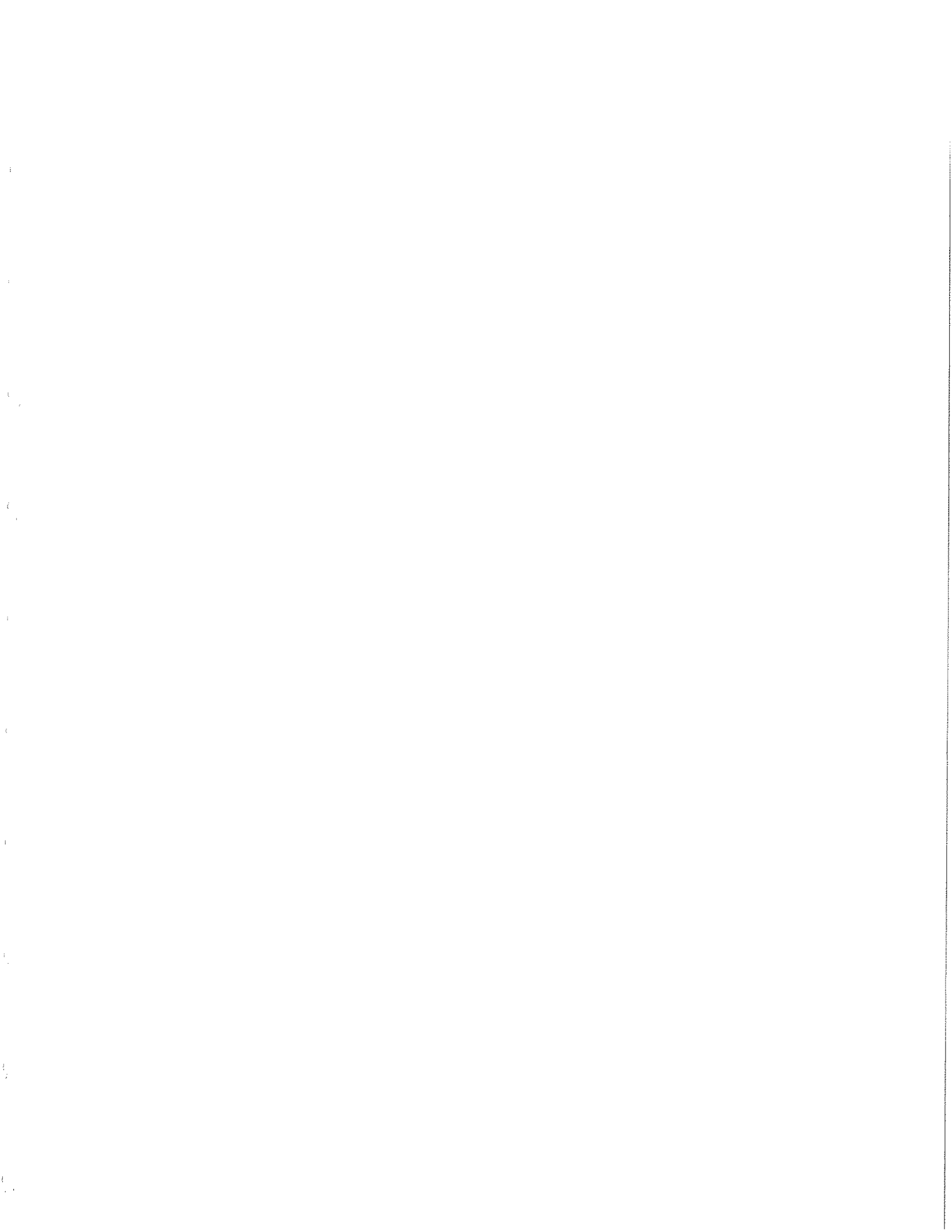
Los mínimos de salinidad del punto C fueron más altos que los máximos del B y M (Tabla I). Los máximos de salinidad del canal C fueron mayores a 39 0/00 en ambos muestreos (Fig.4). Aunque se presentaron algunas irregularidades en la variación de la salinidad en cada muestreo, en general se tuvo una cierta correlación con la marea, con valores más bajos de salinidad en marea alta con relación a los de marea baja.

El diagrama de temperatura versus salinidad muestra claramente que la salinidad del punto C fue más alta que en los otros dos puntos (Fig. 5). El diagrama T-S podría dividirse en cuatro regiones mediante dos líneas paralelas a los ejes coordenados, que podrían situarse a 36.4 0/00 y a 24 °C. Las dos regiones superiores corresponderían claramente al canal del extremo interno del Estero, y las inferiores a la parte media y la boca; mientras que las dos regiones de la izquierda corresponderían, en general, a propiedades del agua en marea subiendo, y las de la derecha a las propiedades del agua en marea bajando. Esta última división no es claramente discriminatoria, pero representa la tendencia de la mayoría de los datos.

En general, los valores más altos de nutrientes se presentaron en el canal C, sobre todo en el muestreo del 3 de agosto que fue en marea viva (Figs. 6, 7 y 8, y Tabla I).







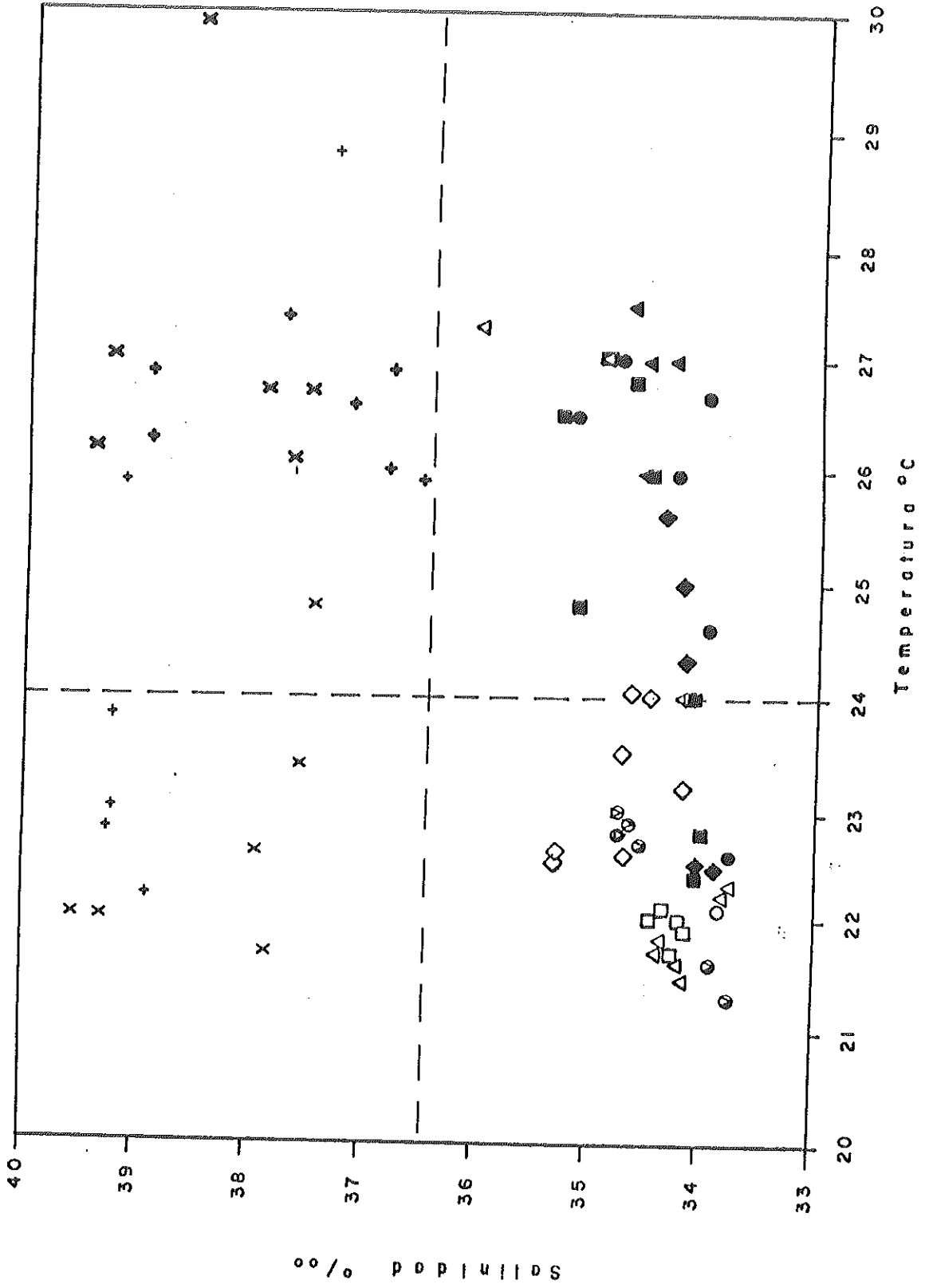
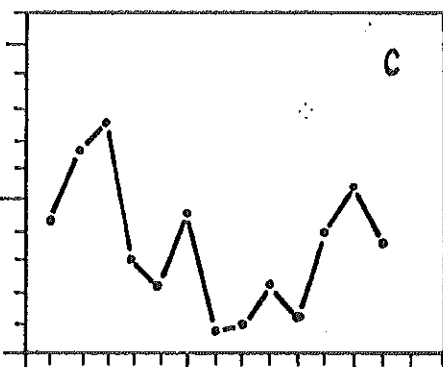
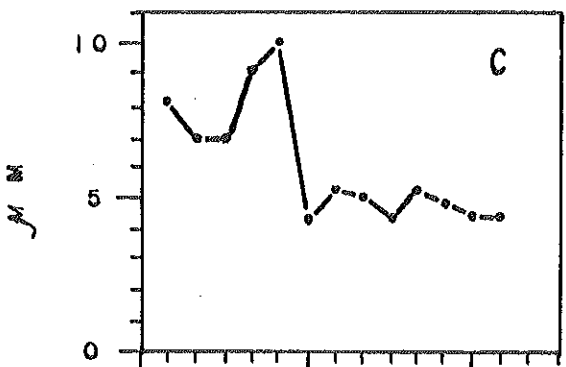
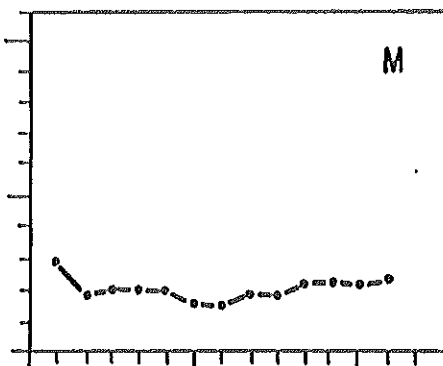
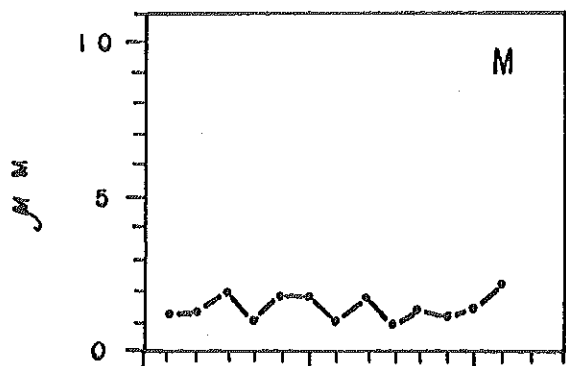
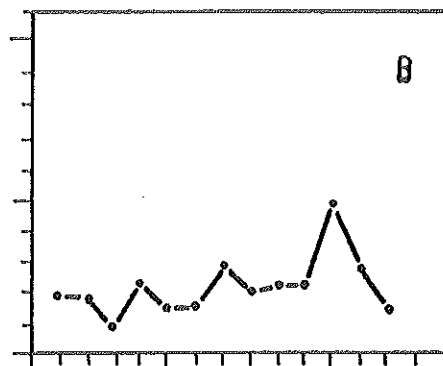
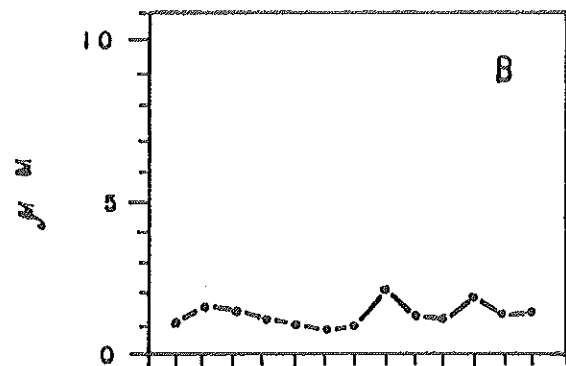


Fig. 6.- Series de tiempo de nitrato más nitrito para los canales B, M y C. Las de la izquierda son las de los días 2, 4 y 2 de agosto; y las de la derecha son las de los días 15, 17 y 16, como en la figura 2.



6 12 18

Horas

6 12 18

Horas

Fig. 7.- Series de tiempo de amonio para los canales B, M y C. Las de la izquierda son las de los días 2, 4 y 3 de agosto; y las de la derecha son las de los días 15, 17 y 16, como en la figura 2.

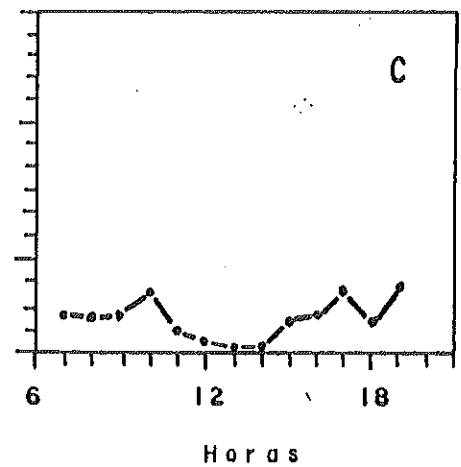
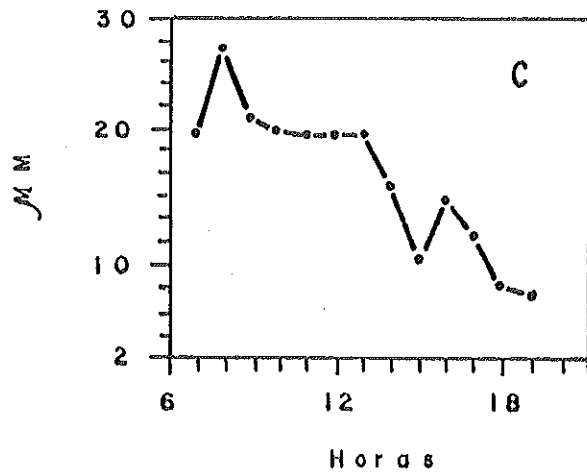
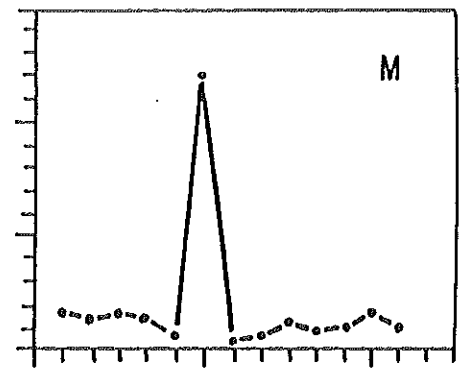
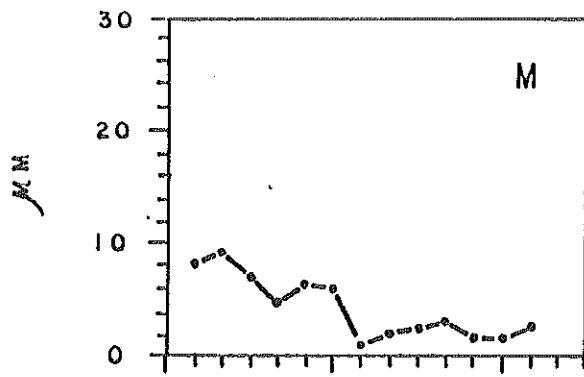
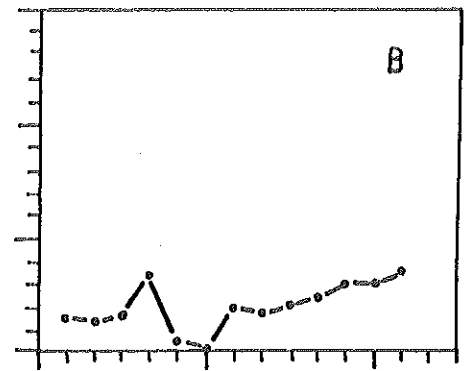
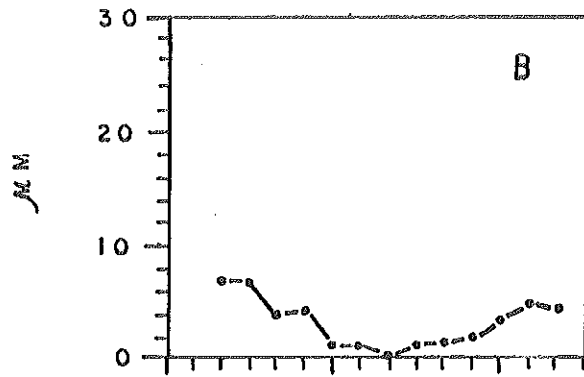
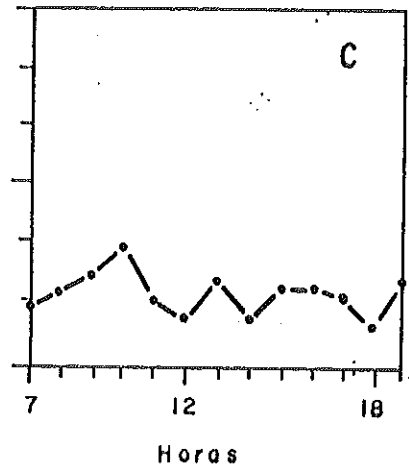
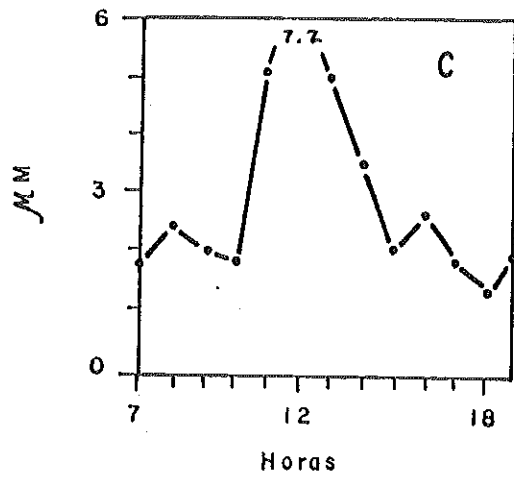
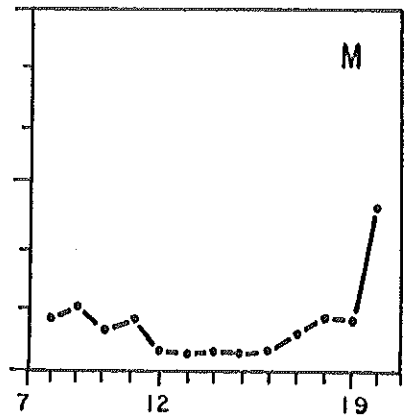
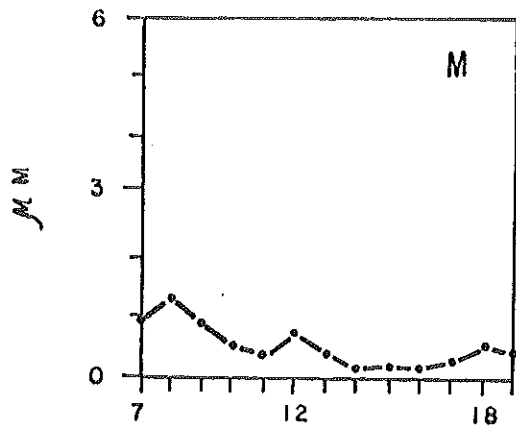
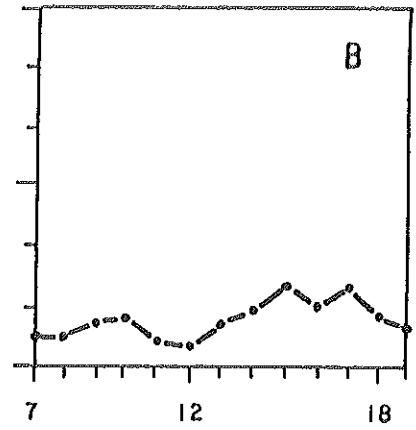
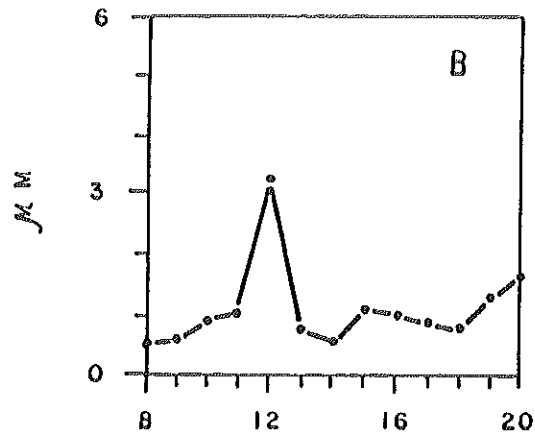


Fig. 8.- Series de tiempo de fosfato para los canales B, M y C. Las de la izquierda son las de los días 2, 4 y 3 de agosto; y las de la derecha son las de los días 15, 17 y 16, como en la figura 2.



Es interesante notar la gran congruencia interna de los valores de los nutrientes en el muestreo del 3 de agosto, ya que todos fueron altos. A pesar de que existen irregularidades en el cambio de concentración de los nutrientes con el tiempo, en algunos casos se aprecia una relación con el nivel del mar, con las concentraciones más bajas en marea alta y viceversa. Tal como en los casos de los muestreos de NH_4 del 2, 15 y 16 de agosto (Figs 2 y 7); y en los de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ del 16 de agosto (figs. 2 y 6). PO_4 fue la que mostró una menor relación con las mareas. Sin embargo, para el punto M se aprecia que se presentaron mayores valores de fosfato con marea baja y viceversa (Figs. 2 y 8). En el punto C no sólo se presentaron los mayores valores para los tres nutrientes, sino también la variación mayor con valores muy altos el 3 de agosto y muy bajos el 16 de agosto (sobre todo, para el NH_4).

Los diagramas de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ versus salinidad (Fig. 9), de NH_4 versus salinidad (Fig. 10), y de PO_4 versus salinidad (Fig. 11) de nuevo muestran una clara separación de los valores del canal del extremo interno, pero sólo en la dimensión de la salinidad. Como se mencionó en el párrafo anterior, en estos diagramas se aprecia la gran dispersión de los valores de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, NH_4 y PO_4 del punto C. Los valores de los canales de la boca y del medio (B y M) se aglutinan en la parte

Fig. 9.- Diagrama de nitrato mas nitrito versus salinidad de los muestreos de los canales B, M y C. Los simbolos oscuros representan datos en marea bajando, y viceversa. □, Δ, ◇, 0, +, x, representan datos del 2, 15, 4, 17, 3 y 16 de agosto, respectivamente.

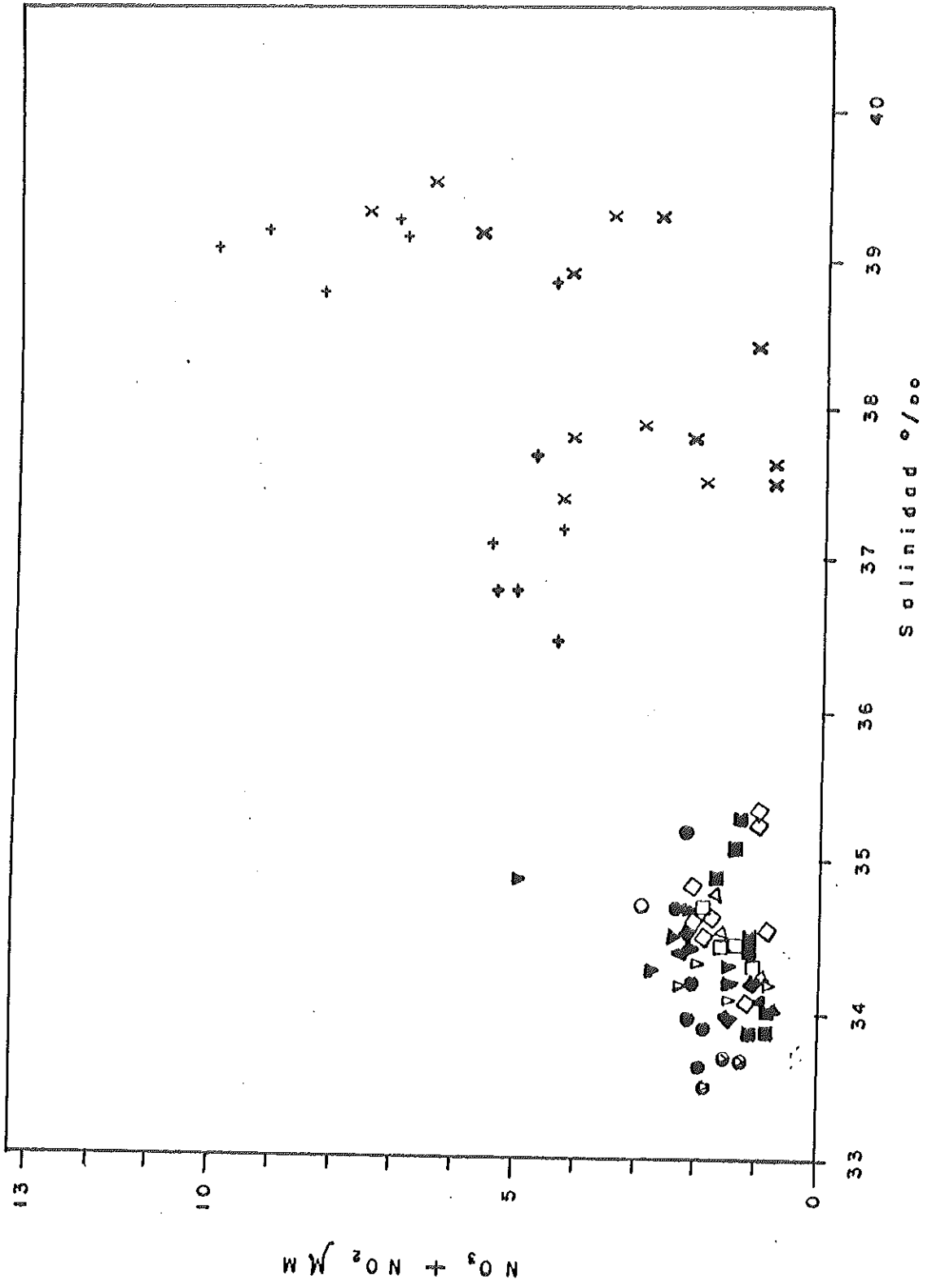


Fig. 10.- Diagrama de amonio versus salinidad de los muestreos de los canales B, M y C. Los simbolos oscuros representan datos en marea bajando, y viceversa. □, Δ, ◇, ○, +, x, representan datos del 2, 15, 4, 17, 3 y 16 de agosto, respectivamente.

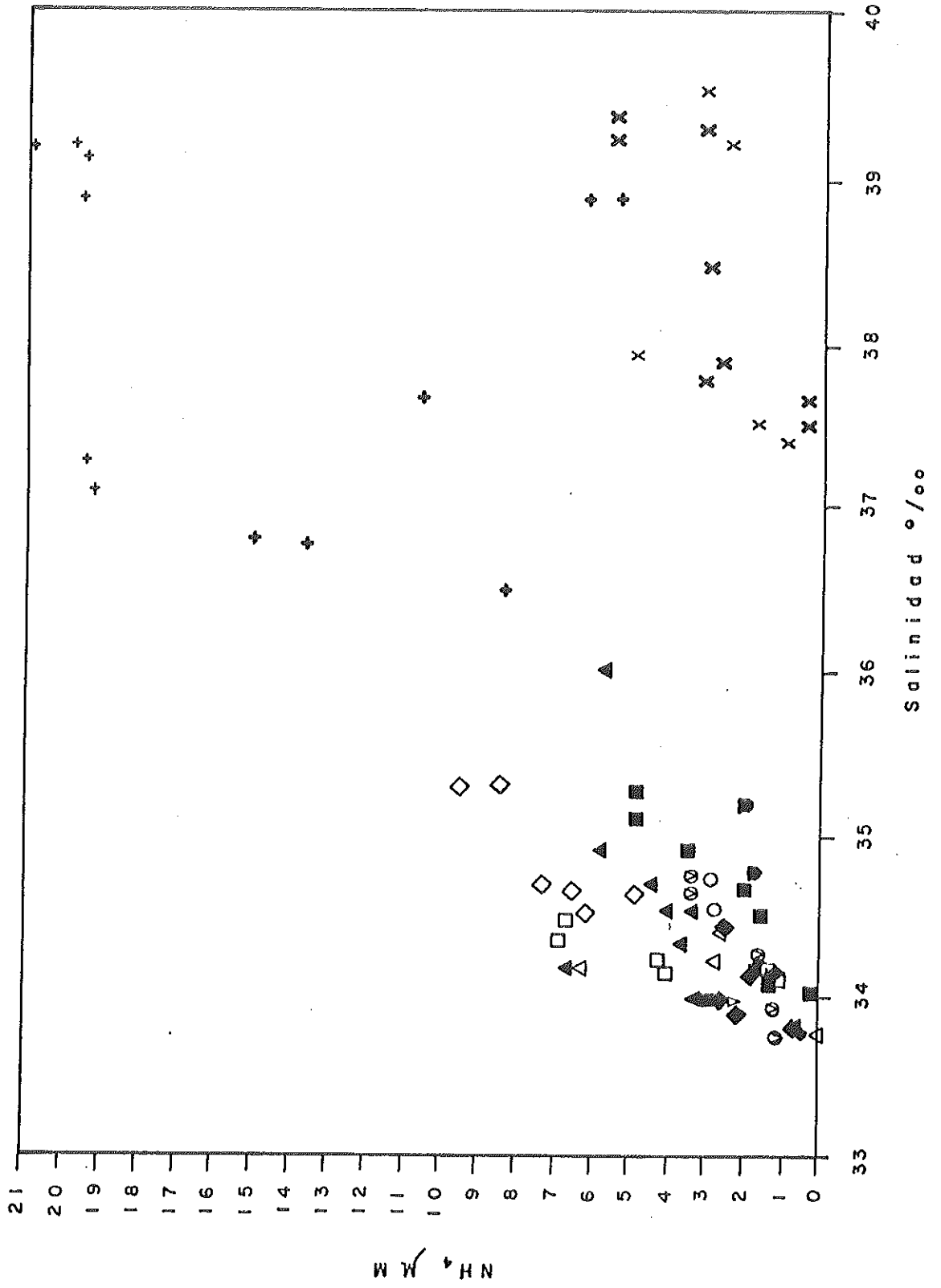
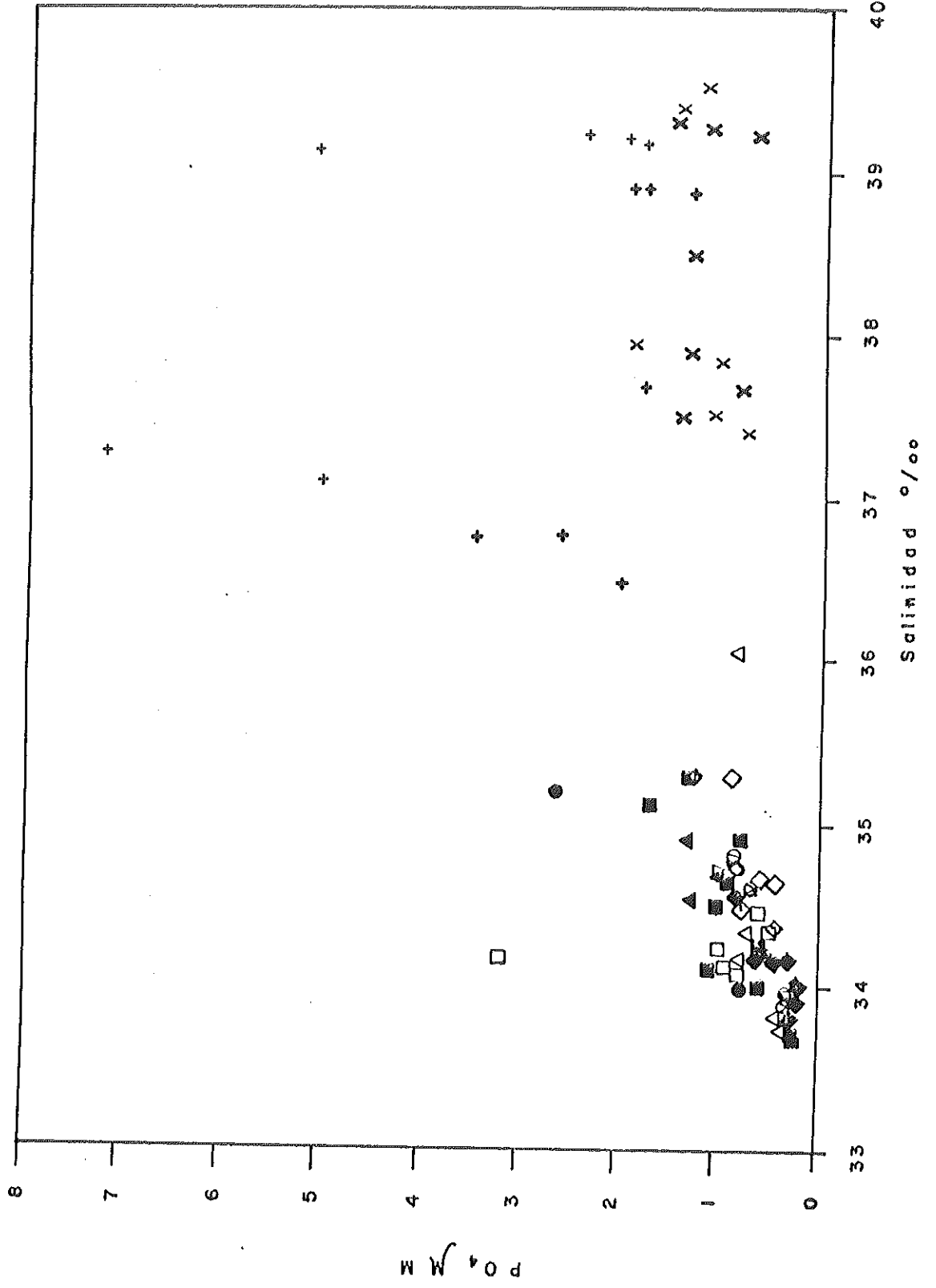


Fig. 11.- Diagrama de fosfato versus salinidad de los muestreos de los canales B, M y C. Los simbolos oscuros representan datos del 2, 15, 4, 17, 3 y 16 de agosto, respectivamente.



inferior e izquierda de los diagramas. Es interesante notar que no se aprecia una diferencia entre los valores de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, NH_4 y PO_4 para flujo y reflujo, aunque los valores más altos de las tres propiedades se presentaron en flujo en el punto C.

Al comparar los promedios de cada muestreo, de las diferentes propiedades, mediante una prueba t, al 95% (Tabla II), se puede observar más apropiadamente lo que se aprecia en las gráficas. No hubo diferencias significativas entre los canales de la boca y el medio, con excepción de los promedios de PO_4 de los días 2 y 4 de agosto. Las diferencias entre el canal del extremo interno del Estero (C) y los de la boca y del medio fueron entre significativas y altamente significativas, con excepción de los promedios de temperatura y NH_4 de los días 15, 16 y 17. Cuando se comparan los promedios de muestreos de un mismo canal, y de diferentes fechas, en general no hubo diferencias significativas, con excepción de los promedios de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ que presentaron diferencias muy significativas en los tres canales, y los promedios de NH_4 y PO_4 que presentaron diferencias muy significativas en el canal del extremo interno. En los casos de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, los promedios más altos se presentaron tanto en mareas vivas como en mareas

DIAS	TEM	SAL.	PO4	NH4	NO2+NO3
2-3	DS *	DS ***	DS **	DS ***	DS ***
2-4	NDS *	NDS *	DS *	NDS *	NDS *
3-4	DS **	DS ***	DS ***	DS ***	DS ***

DIAS	TEM	SAL	PO4	NH4	NO2+NO3
15-16	NDS *	DS ***	DS **	NDS *	DS **
15-17	NDS *	NDS *	NDS *	NDS *	NDS *
16-17	NDS *	DS ***	DS *	NDS *	DS *

DIAS	TEM	SAL	PO4	NH4	NO2+NO3
2-15	NDS *	NDS *	NDS *	NDS *	DS **
3-16	NDS *	NDS *	DS **	DS **	DS **
4-17	NDS *	NDS *	NDS *	NDS *	DS **

TABLA II Resultados de la prueba t para comparaciones de las medias de dos muestreos, según se indica a la izquierda. DS indica que la diferencia es significativa. NDS indica lo contrario. *, **, y *** representan: diferencia significativa, muy significativa, y altamente significativa, respectivamente; de acuerdo al criterio de Sokal y Rohlf (1969).

muertas. Es decir, no se percibió una diferencia en las propiedades del agua de los canales estudiados claramente atribuible a las mareas vivas y muertas.

En general, en los dos muestreos a lo largo del canal principal del Estero se presentó una tendencia de todas mis variables a disminuir de la cabeza a la boca de la laguna (Figs. 12, 13, 14 y 15). Los valores de PO_4 del muestreo del 18 de agosto son una excepción a lo anterior (Fig. 15). PO_4 del 18 de agosto presentó valores similares en el extremo interno y en la boca con variaciones irregulares en los puntos intermedios.

El 5 de agosto, la temperatura varió alrededor de $24.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en las seis primeras estaciones, para disminuir a $22.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la estación 8, luego aumentó a 24.4 en la nueve y disminuyó a 22.1 en la diez (Fig. 12). El 18 de agosto, la temperatura disminuyó monótonicamente de $24.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la estación uno a 22.6 en la ocho, para luego aumentar a 24.0 en la nueve y volver a disminuir a 21.9 en la diez (Fig. 14). Es interesante notar que la temperatura relativamente alta de la estación 9 se presentó en ambos muestreos (Figs. 12 y 14), y es del orden de $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ más alta que lo que le correspondería de acuerdo a la tendencia de disminución hacia la boca. La salinidad presentó en ambos muestreos valores cercanos a $35.5\text{ }0/00$ de

Fig. 12.- Resultados del muestreo a lo largo del canal principal con la marea en flujo (T °C y S 0/00).

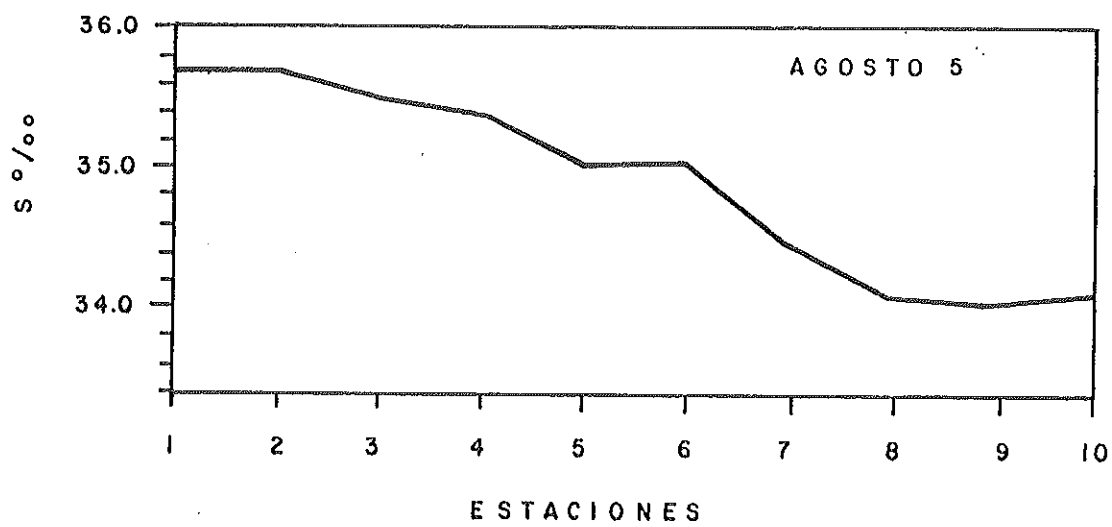
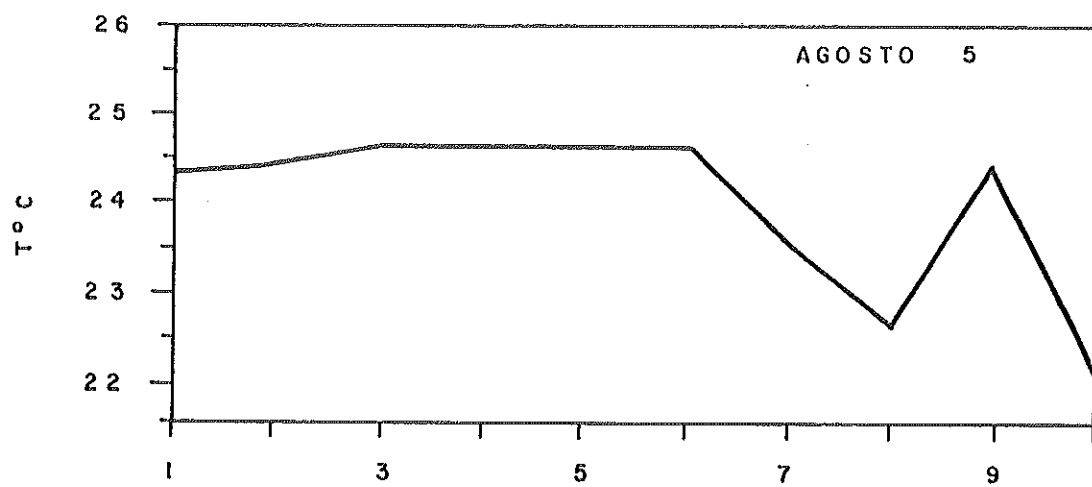
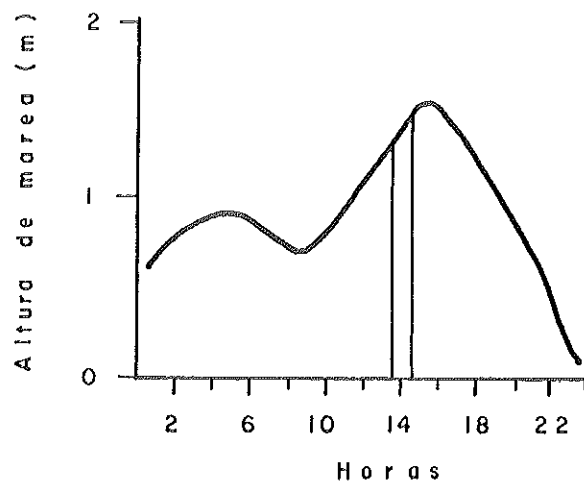


Fig. 13.- Resultados del muestreo a lo largo del canal principal con la marea en flujo ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, NH_4 y PO_4)..

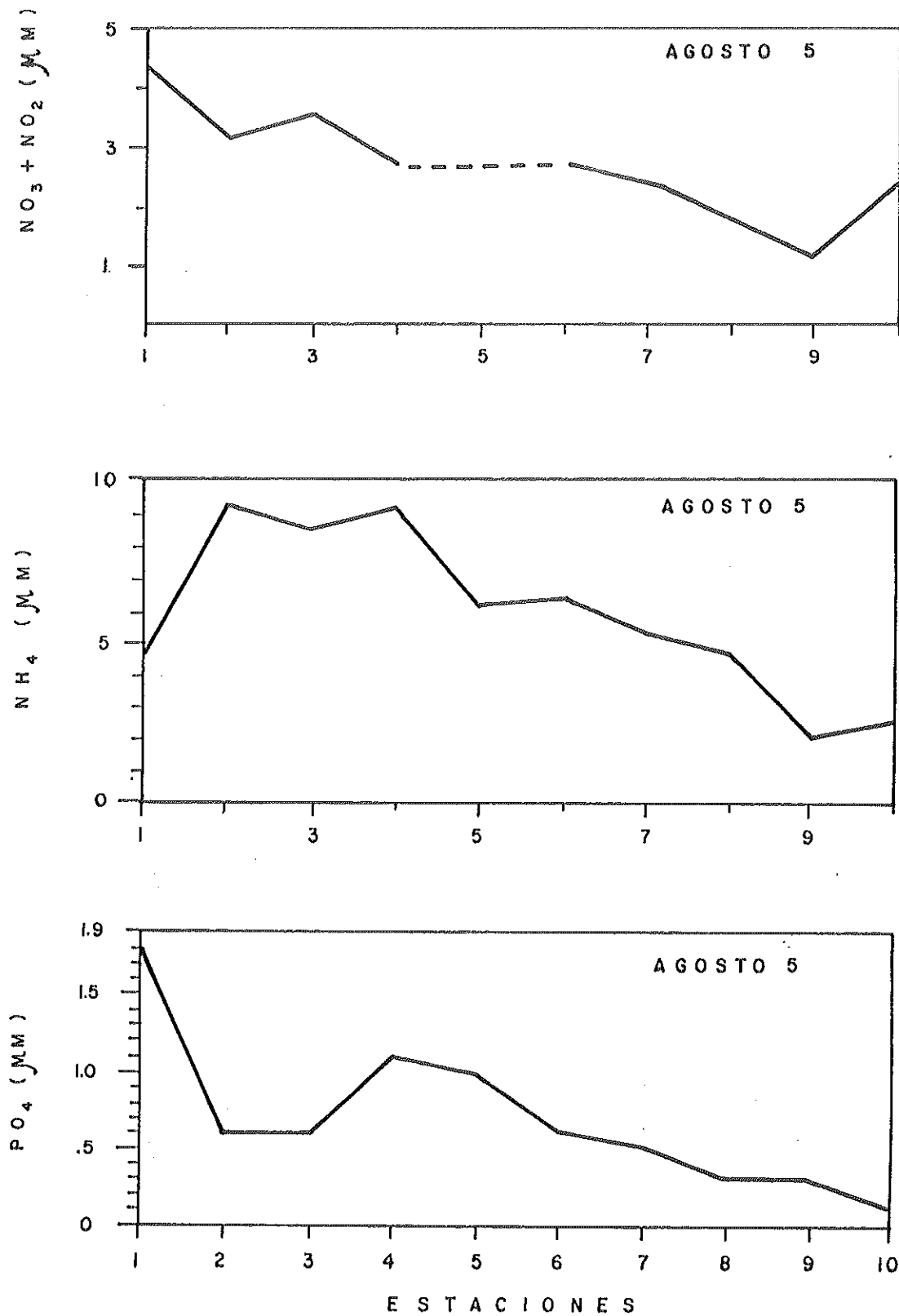


Fig. 14.- Resultados del muestreo a lo largo del canal principal con la marea en reflujo (T °C, y S ‰).

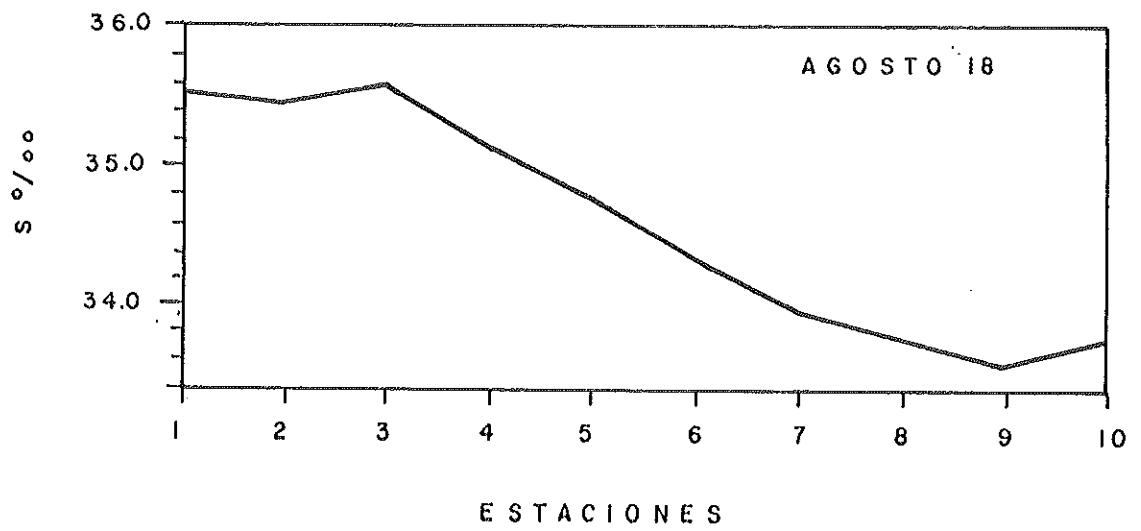
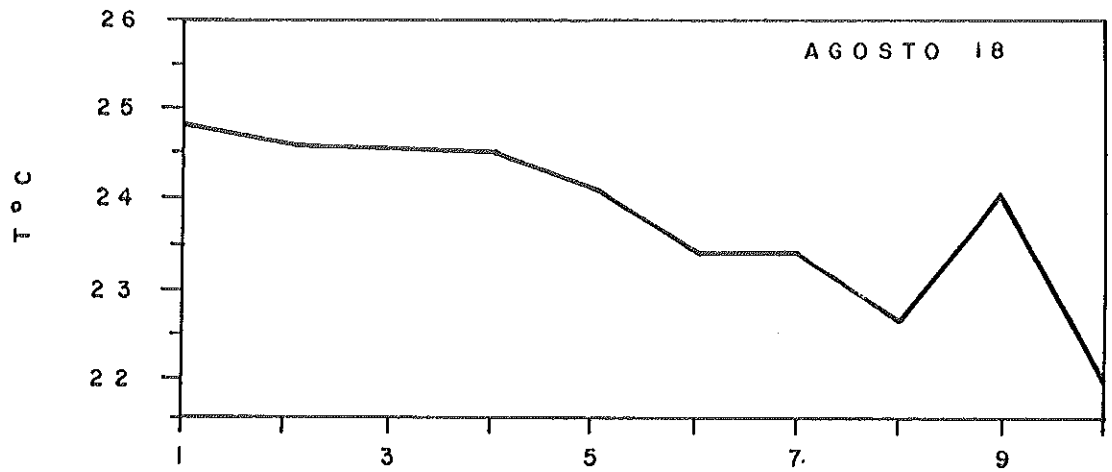
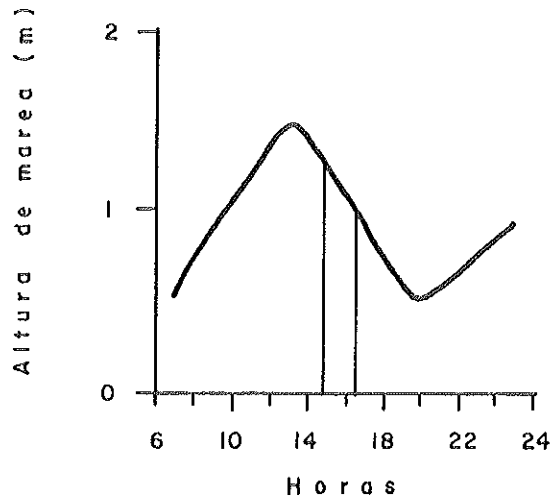
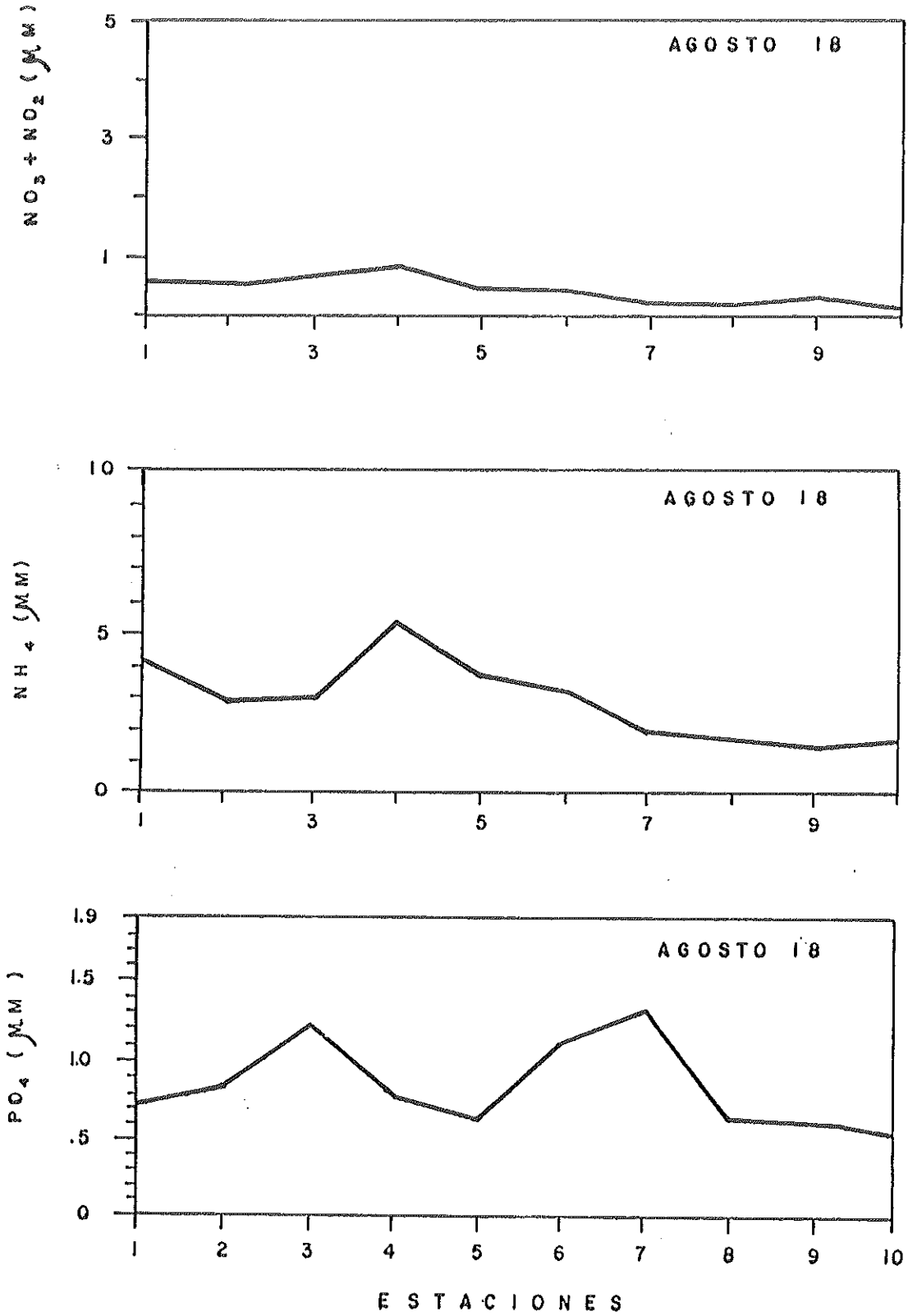


Fig. 15.- Resultados del muestreo a lo largo del canal principal con la marea en refluo ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, NH_4 y PO_4).



la estación uno a la tres; y disminuyó a cerca de 34.2 0/00 en las estaciones ocho a diez el 5 de agosto, y a cerca de 33.7 0/00 el 18 de agosto.

Las concentraciones de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ y de NH_4 fueron más altas el 5 de agosto que el 18. $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ presentó valores de hasta más de 4 μM , y NH_4 hasta más de 9 μM , en la región de la cabeza, el 5 de agosto; y sólo alrededor de 0.7 μM la suma de los primeros, y entre 4 y 5.3 μM el segundo, el 18 de agosto (Figs. 13 y 15). PO_4 no presentó una clara diferencia entre los dos muestreos

IV. DISCUSIONES

La mayoría de las lagunas costeras del mundo se caracterizan por un máximo de PO_4 en verano de hasta más de $2 \mu\text{M}$ (Riley, 1941; Smayda, 1957; Taft y Taylor, 1976; Nixon y Lee, 1981; y Postma, 1981) (tomado de Nixon, 1982). Este patrón ha sido atribuido a la remineralización de la materia orgánica que se acarrea al interior de las lagunas, producto de proliferaciones previas de fitoplancton en las aguas oceánicas adyacentes (Postma, 1981). También ha sido atribuido a la liberación de fosfato de los sedimentos donde las aguas del fondo se hacen anóxicas con la estratificación de verano, y las altas velocidades de respiración (Taft y Taylor, 1976). Sin embargo, el máximo de PO_4 de verano también se desarrolla en sistemas que no importan materia orgánica del océano adyacente y cuyas aguas del fondo permanecen bien oxigenadas a través del verano (Nixon et al., 1980). El factor físico más importante que afecta la velocidad de remineralización de los nutrientes en los sedimentos y en la columna de agua es la temperatura. La velocidad del metabolismo de las bacterias que degradan la materia orgánica aumenta exponencialmente con la temperatura, generalmente con un aumento de dos a cuatro veces cada 10°C . Esto le impone una fuerte estacionalidad a los procesos de regeneración de

nutrientes mediados por bacterias (Klump y Martens, 1983). De acuerdo con los datos reportados por Zertuche González y Alvarez Borrego (1978) y Sánchez Hernández (1978), sólo se aprecia una clara estacionalidad de PO_4 en el brazo corto del Estero, con mayores valores en verano. Esto puede deberse a un mayor tiempo de residencia del agua en el extremo interno del Estero con relación al del agua del brazo largo, que tiene un mayor intercambio con la Bahía de Todos Santos. Por todo lo anterior, es muy posible que mis datos de más alta concentración de nutrientes del canal C sean de los más altos que se presentan en el año.

La figura 8 de Nixon (1982) muestra que, en general, en la mayoría de las lagunas costeras PO_4 se mantiene en el intervalo 0.2 a 0.8 μM de otoño a primavera, en el cuerpo principal de agua, con cambios irregulares y sin ninguna tendencia en particular. En mis muestreos a lo largo del canal principal del Estero, PO_4 varió de 0.1 a 1.3 μM en el brazo largo; pero alcanzó hasta 1.8 μM en el extremo interno (Figs. 13 y 15).

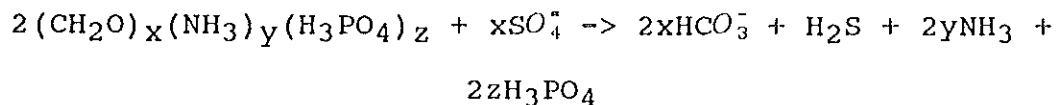
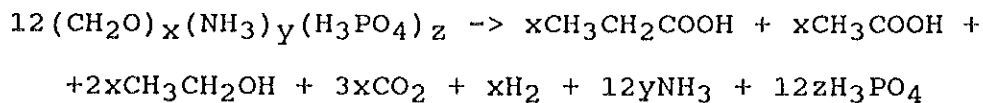
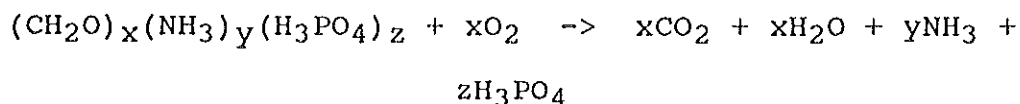
Cuando se comparan diversas lagunas costeras, existe una mayor variabilidad de la concentración de nitrógeno inorgánico que la de fosfato. También es más difícil identificar patrones estacionales comunes en la concentración de nitrógeno

inorgánico, excepto que en muchas lagunas los altos niveles de concentración de nitratos están asociados al aporte de agua dulce. En contraste con el fosfato, puede haber periodos en los que virtualmente todo el nitrógeno inorgánico es removido de la columna de agua (Nixon, 1982).

Farfán y Alvarez Borrego (1983) estimaron para verano en Bahía San Quintín concentraciones de NH_4 de hasta $3 \mu\text{M}$ en la boca de la Bahía, en donde NO_3 no fue similarmente alta ya que el nitrógeno se encontraba mayormente en formas reducidas (NH_4), así como compuestos orgánicos de nitrógeno, tales como urea y aminoácidos lábiles. Mis sitios de muestreo poseen zonas de marismas con vegetación variada y algunos autores concluyen que las marismas juegan un papel muy importante en el movimiento de nitratos a la columna de agua.

Como un resultado de la proximidad del fondo, la regeneración bentónica de nutrientes juega un papel importante en la dinámica biológica de los sistemas costeros (Klump y Martens, 1983). Las bacterias aeróbicas son capaces de degradar completamente muchos aminoácidos a CO_2 y amonio (Massey et al., 1976). En medios ambientes anóxicos, la degradación ocurre frecuentemente de paso a paso, con el metabolito de un organismo constituyendo el sustrato de crecimiento para otro (Thauer et al., 1977; Brock, 1979). Los procesos de

degradación han sido representados estequiométricamente por las siguientes reacciones idealizadas (Mechalás, 1974; Claypool y Kaplan, 1974):



Sin embargo, esta estequiometría no se observa en la realidad debido a las diferencias en el comportamiento fisicoquímico de los productos de las reacciones. Por ejemplo, la relación de NH_4 a PO_4 no es constante debido a diferencias en la adsorción a partículas y en la precipitación o coprecipitación con la variación del potencial redox (Krom y Berner, 1980; Mackin y Aller, 1984). Además, en medios aeróbicos, el amonio producto de la degradación de la materia orgánica es oxidado a nitrito y nitrato. Esto ocurre en la columna de agua y en los sedimentos superficiales (Suess et

al., 1980). Pero, bajo condiciones anóxicas el NH_4 es oxidado a gas nitrógeno con la pérdida subsecuente hacia la atmósfera, o denitrificación (Head, 1976). Debido a ésto, algunas veces se observan altas concentraciones en un nutriente inorgánico que no se observan en otros. Tal es el caso de los altos picos de PO_4 en los días 2 y 3 de agosto (Fig. 8). Si sumamos el $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ y el NH_4 de la muestra de agua con $7.2 \mu\text{M}$ de PO_4 del 3 de agosto, tenemos que el PO_4 está en exceso de lo que se esperaría de la estequiometría de acuerdo con las ecuaciones anteriores y el modelo de Redfield (Redfield et al., 1963). Los relativamente bajos valores de NH_4 del 16 de agosto también pueden deberse en gran medida a procesos de nitrificación, lo cual se infiere de los relativamente altos valores de nitratos más nitritos (Figs. 6 y 7).

Se ha reportado que la concentración de los nutrientes es altamente variable en periodos cortos, del orden de una hora, tanto en el canal principal del Estero como en los sedimentos de entremareas (Zertuche Gonzalez y Alvarez Borrego, 1978; Millán Núñez et al., 1981; Abrajan Villaseñor y Alvarez Borrego, 1987; Muñoz Anderson y Millán Núñez, en prensa; Camacho Ibar y Alvarez Borrego, 1988; Aguiñiga García y Alvarez Borrego, 1989). Zertuche González y Alvarez Borrego (1978) reportaron un intervalo de variación de 0.05 a $0.9 \mu\text{M}$ de PO_4

para un muestreo de siete días con intervalo de una hora, realizado en invierno en la boca del Estero. Las variaciones máximas reportadas por estos autores fueron de hasta más de $0.4 \mu\text{M}$ en un intervalo de muestreo. Millán Núñez et al. (1981) reportaron intervalos de variación de 0.3 a $1.2 \mu\text{M}$, y de 0.5 a $1.8 \mu\text{M}$ de PO_4 para la boca y el vértice de la L, respectivamente, para un muestreo de diez días con intervalo de cuatro horas, realizado en verano. Estos últimos autores reportaron variaciones máximas de hasta más de $1.0 \mu\text{M}$ en un intervalo de muestreo. Las variaciones más drásticas temporales de nutrientes se han reportado para el agua intersticial del sedimento de entremareas del Estero. Camacho Ibar y Alvarez Borrego (1988) reportaron cambios de NH_4 de hasta más de $1000 \mu\text{M}$, y de PO_4 de hasta más de $60 \mu\text{M}$, en solamente media hora, a 30 cm de profundidad, en el extremo interno del Estero. Desafortunadamente, la generación de series de tiempo no es todavía una práctica común, por lo que no es posible comparar con otras lagunas del mundo, con excepción de Bahía San Quintín donde también ha trabajado el grupo de Ecología de Lagunas Costeras y Mares Adyacentes a Baja California del CICESE. Para Bahía San Quintín se han reportado variaciones de la concentración de nutrientes en

la columna de agua del canal principal similares a las reportadas para el Estero (Zertuche González y Alvarez Borrego, 1978; Millán Núñez et al., 1982).

Mis datos también muestran una alta variabilidad en las propiedades del agua de las bocas de los canales de inundación de las marismas del Estero. El pico de $24 \mu\text{M}$ de NH_4 a la mitad del muestreo del 17 de agosto, las variaciones de hasta más de $5 \mu\text{M}$ de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, y el pico de más de $7 \mu\text{M}$ de PO_4 el 3 de agosto indican la alta variabilidad de estos nutrientes en los bocas de los canales B, M, y C (Figs. 6, 7 y 8). Esta alta variabilidad se debe a una intensa distribución en forma de manchas, o petacheo, y a las corrientes de marea.

Aguíñiga García y Alvarez Borrego (1989) reportaron que ocasionalmente se presentaron valores de PO_4 hasta de $6 \mu\text{M}$ y de NH_4 hasta de $35 \mu\text{M}$ para la superficie del sedimento de entremareas de una localización en la mitad de la barra que separa al Estero de la Bahía. Estos autores concluyeron que dichas altas concentraciones están evidenciando un aporte de nutrientes del sedimento a la columna de agua por percolación desde profundidades de unos 15 a 20 cm.

Debido a que el agua que fluye y refluye en las bocas de los canales secundarios está en mayor contacto con los fondos de las marismas, uno esperaría que el agua de estos canales

tuviera concentraciones de nutrientes claramente más elevadas que las del agua del canal principal. Sin embargo, mis datos muestran que el agua de los canales secundarios tuvo ambas, mayores y menores concentraciones, que las del canal principal. Esto se debe, de nuevo, al petacheo de las propiedades del agua del Estero. Mis datos, y los reportados anteriormente, muestran que el factor que controla el que haya altos valores o no de concentración de nutrientes y salinidad, no es el que el agua sea del canal principal o de un canal secundario, sino qué tan cerca o lejos esté el punto de muestreo de la boca del Estero. Es decir, el factor más importante es el tiempo de residencia del agua, o su contraparte la velocidad de renovación. Los valores de salinidad y nutrientes de la parte cercana a la boca del Estero, como los de las estaciones 9 y 10 (Figs. 12, 13, 14 y 15), tienden a ser los más bajos por ésta razón. Con mareas vivas la renovación del agua debe ser mayor en todo el Estero que con mareas muertas. Sin embargo, mis datos muestran que las propiedades del agua no presentaron diferencias consistentes y claras que indiquen este efecto. Parece ser que la renovación del agua depende mucho más de la distancia a la boca del Estero que de las condiciones de marea.

Es interesante notar que en el canal C no sólo se presentaron los más altos valores de concentración de nutrientes, sino también tan bajos como en el B y M (Figs. 9, 10 y 11). Por ésto, los datos del canal C muestran que el más intenso petacheo se presenta en el extremo interno del Estero. Este petacheo ha sido atribuido a factores físicos, como la batimetría irregular, y al efecto de la biota (Camacho Ibar y Alvarez Borrego, 1988). Estos últimos autores reportaron que con unos pocos metros de distancia horizontal (unos 5 m) existen diferencias de varios órdenes de magnitud en la concentración de nutrientes del agua intersticial de sedimentos someros (unos 30 cm de profundidad); por lo que también deben existir diferencias grandes en el aporte de estos nutrientes a la columna de agua, causando con ello un gran petacheo horizontal.

Mis relativamente altas concentraciones de nutrientes inorgánicos, y las reportadas por autores previos, muestran que en el Estero de Punta Banda el crecimiento del fitoplancton y de las plantas multicelulares no está limitado por ellos. La situación en el Estero es similar a la de Bahía San Quintín, para la cual Silva Cota y Alvarez Borrego (1988) expresaron que los factores que limitan el crecimiento del fitoplancton no son los nutrientes sino otros, como el régimen de luz

(turbiedad) o la temperatura.

Las más altas salinidades del punto C, así como los más altos valores de los nutrientes inorgánicos (que también se muestran para el brazo corto interno del Estero en el trabajo de Sánchez Hernández, 1978), indican que en las mareas más bajas, en las que el Estero se vacía mucho, el agua que queda en el interior del Estero es el agua que en marea alta llena el extremo interno del mismo. En las estaciones 1 a 3, y posiblemente 4, se presentaron las más altas salinidades y nutrientes, indicando que ésta es el agua que se intercambia menos con la del resto del Estero y de la Bahía. Posiblemente, en marea alta el volumen del agua de la zona interior del Estero, del extremo interno al vértice de la L, sea igual al volumen de agua de todo el Estero en marea muy baja. Habría que hacer un estudio que actualice la batimetría para probar esto.

Además, en las series de tiempo de nivel del mar y de salinidad se aprecia una correlación negativa, con salinidades relativamente bajas en mareas altas, y viceversa, sobre todo en el canal C (figs. 2 y 4). Esto no necesariamente implica un intercambio o renovación del agua del extremo interno del Estero. Podría deberse sólo a una advección de agua por las corrientes de marea, en asociación con un gradiente

horizontal intenso de salinidad alrededor del punto C, con valores muy altos de salinidad en las aguas de la marisma (más de 39 0/00) y valores menores en la región entre la estación 1 y el punto C.

En el canal principal, los más altos valores de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ y de NH_4 del día 5 con respecto a los del día 18, posiblemente se deban a que durante los días previos al 5 hubo poco intercambio de las aguas del Estero con las de la Bahía, mientras que en los días previos al 18 el intercambio fue relativamente intenso. Contreras Rivas (1973) describió la presencia de corrientes costeras paralelas a la playa frente a la boca del Estero. Estas corrientes mueven el agua que sale del Estero, en reflujos, hacia el noreste o hacia el suroeste, de tal manera que en flujo entra agua "nueva" de la Bahía al Estero. Alvarez Borrego et al. (1977) reportaron que uno de los efectos de dichas corrientes es la disminución rápida de temperatura en la boca del Estero cuando el flujo comienza. Alvarez Sánchez et al. (1988) ha realizado mediciones de corrientes costeras en la zona de la Bahía de Todos Santos cercana al Estero; y ha reportado que las corrientes en la zona adyacente a la boca del Estero son muy variables, dependiendo entre otras cosas del patrón de vientos. Cuando la corriente paralela a la playa es fuerte hay un gran

intercambio de agua del Estero con la de la Bahía. Pero, cuando la corriente es débil o no existe, el intercambio con la Bahía se minimiza. Se han reportado casos como el de Millán Nuñez y Rivas Lozano (1983) en el que $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ y SiO_2 fueron mayores en la parte norte de la Bahía, mientras que en la parte sur los valores fueron no detectables. Los altos valores de concentración de nitrógeno inorgánico, sobre todo el amonio, se originan en el interior del Estero por remineralización de la materia orgánica. Con poco intercambio de las aguas del Estero con las de la Bahía, estos nutrientes tienden a acumularse en el Estero. Los datos de PO_4 no son congruentes con esta hipótesis, ya que tanto el 5 como el 18 de agosto fueron altos, aunque los comportamientos fisicoquímicos del fósforo y el nitrógeno son diferentes y no se debe esperar necesariamente una correlación elevada entre ambos. Si los bajos valores del nitrógeno inorgánico del 18 de agosto se deben realmente a una fuerte corriente paralela a la playa, frente a la boca del Estero, ésta constituiría un mecanismo importante de fertilización de la Bahía de Todos Santos. Se requiere obtener datos en un muestreo especialmente diseñado para probar esto.

Los valores de salinidad fueron claramente mayores en el canal C (Fig. 5). Sin embargo, la temperatura presentó

intervalos de variación similares en los tres canales. Esto posiblemente se debe a que en el canal C no hay un calentamiento mayor que en los otros dos, a pesar del mayor tiempo de residencia del agua, debido al calor que se escapa hacia la atmósfera por evaporación. El viento que se presenta en el Estero en verano es a menudo fuerte y frío por las surgencias que se manifiestan en Punta Banda. La densa neblina, producto de estas surgencias, son un fenómeno que comúnmente se aprecia de una manera visual, en el propio Estero.

Lo amplio y somero de las marismas que se inundan con marea alta permite un calentamiento significativo del agua con pocas horas de exposición solar. Esto posiblemente sea la explicación de las más altas temperaturas en las aguas en marea bajando que en las de marea subiendo (Fig. 5). En los pocos casos en que la temperatura con flujo se trataba de agua que recientemente había salido del interior de la marisma. Algo similar ocurrió en los pocos casos en que la temperatura fue baja con reflujos; se trataba de agua que recientemente había entrado a través de la boca. Lo anterior se infiere analizando para cada uno de estos puntos el estado de la marea en el momento del muestreo. La figura 5 indica que para obtener altas salinidades se requiere de un tiempo de residencia mucho más allá de unas horas, suficiente para que la evaporación

proceda significativamente (v.g.: si suponemos una evaporación anual de 1 m, la salinidad de 39 0/00 se obtendría en aproximadamente un mes y medio, y para mantenerse en dicho valor se tendría que renovar sólo un 40% del agua en el mismo período). Mientras que la obtención de las altas temperaturas sólo requieren de unas horas de exposición solar en las marismas someras.

Las altas salinidades del canal C indican que cualquier contaminante que se introduzca en el extremo interno del Estero tenderá a permanecer en él mucho más persistentemente que si se introdujera en la zona cercana a la boca de la laguna. De hecho, en el brazo corto del Estero, la introducción de contaminantes de lenta degradación, como aceites u otros derivados del petróleo, tenderá a causar una acumulación de los mismos. Por ello es altamente riesgoso para la ecología del Estero el establecimiento de industrias como la Boss Pacific, o de cualquier otra actividad que implique la posibilidad de introducción de contaminantes del vértice de la L al extremo interno de la laguna. En el Estero de Uriás de Mazatlán, Sinaloa, hasta hace unos 30 años el Ferrocarril del Pacífico mantenía unos tanques de almacenamiento de combustible para locomotoras. Estos tanques eran purgados periódicamente tirando los desechos a uno de los extremos

internos del estero. Estos aceites pesados (chapopotes) se acumulaban de una manera permanente causando gruesas capas en las riberas y diezmando grandemente los manglares, que poco a poco fueron desapareciendo (Alvarez Borrego, IIO-UABC, comunicación personal). Algo similar podría pasar en el brazo interno del Estero con el establecimiento de alguna industria que produjera este tipo de derrames, aunque sólo fueran accidentales.

Las relativamente altas temperaturas de la estación nueve del canal principal del Estero (Figs. 12 y 14) se deben a la cercanía de la boca del canal B que aporta agua caliente del interior de la marisma. En el caso del día 5, en que el muestreo se realizó en marea subiendo, la presencia de agua más caliente que en las estaciones 8 y 10 indica que al bajar la marea se forman "lentes" de agua relativamente caliente que por efectos de circulación irregular, como remolinos, se quedan frente al canal B y son introducidas de nuevo a éste al subir la marea.

V. CONCLUSIONES

Las condiciones de mareas vivas o muertas no fueron determinantes para controlar las propiedades del agua del Estero.

El canal C mostró valores mayores de salinidad y nutrientes que los otros dos canales. Esto se debió principalmente al mayor tiempo de residencia del agua del extremo interno del Estero. A "grosso modo" se estima que el tiempo de residencia del agua del canal C es del orden de mes y medio.

El alto tiempo de residencia de las aguas del extremo interno del Estero lo hacen especialmente vulnerable a la introducción de contaminantes. Los contaminantes que se introduzcan del vértice de la L hacia el interior tenderán a acumularse en el mismo y su permanencia será mucho mayor que los que se introduzcan en el brazo largo de la laguna.

Al igual que ha sido reportado por autores previos para las aguas del canal principal y para las aguas intersticiales de los sedimentos del Estero, las propiedades del agua de los canales de inundación de las marismas presentaron una gran variación con el tiempo. Esto se debe al petacheo causado por factores físicos y la actividad de la biota, y a las corrientes de marea.

Tanto en flujo como en reflujó, en general, los valores más altos de las propiedades estudiadas del agua del canal principal se presentaron en las estaciones del brazo corto del Estero (1 a 4). Esto se debe a que el agua del brazo corto es la que más permanece dentro del Estero aún en las mareas más bajas.

En general, la temperatura de los canales B, M y C fue mayor en reflujó que en flujo, lo cual muestra que la temperatura aumenta significativamente con unas horas de exposición solar del agua en las marismas. Mientras que la salinidad requiere de algunas decenas de días para que, mediante la evaporación, aumente significativamente.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Abrajan Villaseñor, I. y Alvarez Borrego, S., 1987. Relación Fotosíntesis-Irradiancia de fracciones de tamaño del fitopláncton de verano de una laguna costera del Noroeste de Baja California. *Ciencias Marinas*, 13 (3): 49-62.
- Acosta Ruiz, M. J. y Alvarez Borrego, S. 1974. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos físicos y químicos en el Estero de Punta Banda, B.C. en otoño e invierno. *Ciencias Marinas*, 1(1): 16-45.
- Aguñiga García, S. y Alvarez Borrego, S. 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.
- Alvarez Borrego, S. 1978. Maricultivos en aguas protegidas y semiprotegidas de Baja California. *Ciencia y Desarrollo, México*, 22: 21-23.
- Alvarez Borrego, S. y Chee Barragan, A. 1976. Distribución superficial de fosfatos y silicatos en Bahía San Quintín B. C. *Ciencias Marinas*, 3(1): 51-61.
- Alvarez Borrego, S., Lara Lara, R. y Acosta Ruiz, M. J. 1977. Parámetros relacionados con la productividad orgánica primaria en dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas*, 4(1): 12-22.

- Alvarez Sánchez, L. G., Hernández Walls, R. y Durazo Arvizu, R. 1988. Patrones de deriva de trazadores lagrangeanos en Bahía de Todos Santos. *Ciencias Marinas*, 14(4): 135-162.
- Brock, T. D. 1979. *Biology of microorganisms*. Prentice Hall, Englewood, New Jersey.
- Camacho Ibar, V. F. y Alvarez Borrego, S. 1988. Nutrient concentration in pore waters of intertidal sediments in a coastal lagoon: patchiness and temporal variations. *The Science of the total Environment*, 75: 13-16.
- Celis Ceseña, R. y Alvarez Borrego, S. 1975. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos, físicos y químicos en el Estero de Punta Banda, Baja California, en primavera y verano. *Ciencias Marinas*, 2(1): 98-105.
- Claypool, G., and Kaplan, I. R. 1974. The origin and ditribution of methane in marine sediments. In: Kaplan I. R. (Ed.), *Natural gases in marine sediments*, Plenum, New York, 99-139.
- Contreras Rivas, I. 1973. Influencia termohalina de las aguas del Estero de Punta Banda en la Bahía de Todos Santos, B. C. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C.

- Day J. W. Jr. and Yañez-Arancibia, A. 1982. Coastal Lagoons and Estuaries: An Ecosystem Approach. *Ciencia Interamericana (Mar. Sci.)*, OAS, Washington D. C., 22(1-2): 11-26.
- Farfán, B. C. and Alvarez-Borrego, S. 1983. Variability and Fluxes of Nitrogen and Organic Carbon at the mouth of a coastal lagoon. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 17: 599-612.
- Grasshoff, K., Ehrhardt, G., and Kremling, K. 1983. *Methods of Seawater analysis*. Second, revised and extended edition. 419 pp.
- Green Ruiz, M. de J., Caschetto, S. y Alvarez Borrego, S. 1984. Sílice disuelto en la columna de agua y en las aguas intersticiales de una laguna costera. *Ciencias Marinas*, 9 (2): 51-74.
- Head, P. C. 1976. Organic processes in estuaries. Chapter 3 in: Burton, J. D. and Liss, P. S. (Eds.), *Estuarine Chemistry*, Academic Press, London, 229 pp.
- Ibarra-Obando, S. E. y Escofet, A. 1987. Industrial Development Effects on the Ecology of a Pacific Mexican Estuary. *Environmental Conservation*, 14(2): 135-141.

- Klump, J. V. and Martens, C. S. 1983. Benthic Nitrogen Regeneration. Chapter 12 in: Carpenter, E. J. and Capone, D. G. (Eds.), Nitrogen in the Marine Environment, Academic Press, London, 411-457.
- Mackin, J. R. and Aller, R. C. 1984. Ammonium adsorption in marine sediments. *Limnology and Oceanography*, 29: 250-257.
- Margalef, F.R. 1969. Comunidades planctónicas en lagunas litorales. Memorias del Simposio Internacional sobre lagunas costeras. UNAM., UNESCO. Mexico. D.F., Nov.;28-30. p.545-562.
- Margalef, R. 1980. Ecología. Editorial Planeta. 87 pp.
- Massey, L. K., Sokatch, J. R. and Conrad, R. S. 1976. Branched-Chain aminoacid catabolism in bacteria. *Bacteriological Review*, 40: 42-54.
- McRoy, C. P., Barsdate, R.J. and Nebert, M. 1972. Phosphorus cycling in an elgrass (*Zostera marina*) ecosystem. *Limnology and Oceanography*, 17: 58-67.
- Mechalas, B. J. 1974. Pathways and environmental requirements for biogenic gas production in the oceans. In: Kaplan, I. R. (Ed.), Natural gases in marine sediments, Plenum, New York, 11-25.

- Millán-Nuñez, R., Alvarez-Borrego, S. and Nelson, D. M. 1982. Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 15: 317-337.
- Millán Nuñez, R. y Rivas Lozano, A.M. 1988. Nutrientes y clorofilas en la Bahía Todos Santos (mayo 1983). *Ciencias Marinas*, 14(4): 23-42.
- Muñoz Anderson M.A. y Millán Nuñez R. Variación anual de la productividad del fitoplancton en el Estero de Punta Banda B. C., en prensa.
- Nishikawa, Kinomura. 1983. Consideraciones sobre el posible impacto ambiental de la instalación de la fábrica de jackets petroleros Boss-Pacific en el Estero de Punta Banda. En: Informe preliminar sobre el posible impacto ecológico que la empresa Boss-Pacific, S. A. de C. V. ocasionará al instalarse en el Estero de Punta Banda, B. C. División de Oceanología. CICESE, México: 60 pp.
- Nixon, S. W. 1982. Nutrient dynamics, primary production and fisheries yields of lagoons. *Oceanologica Acta. Proceedings International Symposium on Coastal Lagoons SCOR/ IABO/UNESCO, Bordeaux, 8-14 September, 1981*, 357-371.

- Pomeroy, L. R. 1960. Residence time of dissolved phosphate in natural waters. *Science*, 131: 1731-1732.
- Postma, H. 1981. Exchange of materials between the North Sea and the Wadden Sea. *Marine Geology*, 40: 199-213.
- Pritchard, D. W., De la Paz Vela, R., Cabrera Muro, H. R., Farreras Sanz, S. y Morales, E. 1978. Hidrografía Física del Estero de Punta Banda, Parte 1: Análisis de datos. *Ciencias Marinas* 5(1): 1-23.
- Redfield, A. C., Ketchum, B. H. and Richards, F. A. 1963. The influence of organisms on the composition of sea-water. In: Hill, M. N. (Ed.), *The Sea*, Interscience, 2: 26-77.
- Sánchez Hernández, J. L. 1978. Distribución superficial de micronutrientes en el Estero de Punta Banda, B. C. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C.
- Silva-Cota, S. and Alvarez-Borrego, S. 1988. "El Niño" effect on the phytoplankton of a northwestern Baja California coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 27: 109-115.
- Strickland, J. D. H. and Parsons, T. R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.

- Sokal, R. R. and Rohlf, F. J. 1969. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. State University of New York at Stony Brook, 519 pp.
- Suess, E., Müller, P. J., Powell, H. S., and Reimers, C. E. 1980. A closer look at nitrification in pelagic sediments. *Geochemistry Journal*, 14: 129-136.
- Taft, J. L., and Taylor, W. R. 1976. Phosphorus dynamics in some coastal plain estuaries. In: Wiley, M. (Ed.), *Estuarine Processes*, 1: 79-89, Academic Press, New York.
- Thauer, R. K., Jungermann, K., and Decker, K. 1977. Energy conservation in chemotrophic anaerobic bacteria. *Bacteriological Review*, 41: 100-180.
- Velasco Nova, M. 1987. Concentración de fosfato en el agua intestinal de la planicie de inundación de la laguna costera del estero de Punta Banda, Baja California, Mexico. Tesis de Licenciatura. U.A.B.C.
- Welsh, L. B. 1979. Comparative nutrient dynamics of a marsh-mudflat ecosystem. Marine Science Institute, University of Connecticut, Groton, Connecticut, 143 pp.
- Zertuche González, J. A. y Alvarez Borrego, S. 1978. Series de tiempo de variables fisicoquímicas en las bocas de dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas*, 5(1): 91-103.

Zimmermann, C. F., Montgomery, J. R. and Carlson, P. R. 1985.
Variability of dissolved reactive phosphate flux rates in
nearshore estuarine sediments: effects of groundwater
flow. *Estuaries*, 8: 228-236.