CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

DINAMICA DE NUTRIENTES DE LAS AGUAS INTERSTICIALES DE SEDIMENTOS LODOSOS CON HALOFITAS EN UNA LAGUNA COSTERA

T E S I S
MAESTRIA EN CIENCIAS

Victor F. Camacho Ibar

RESUMEN de la tésis de VICTOR FROYLAN CAMACHO IBAR presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en OCEANOLOGIA con opción en ECOLOGIA MARINA. Ensenada, Baja California, México. Agosto de 1987.

Dinámica de nutrientes de las aguas intersticiales de sedimentos lodosos con halófitas en una laguna costera.

Resúmen aprobado por

Saúl Alvarez Borrego
Director de Tésis.

En el verano de 1986 se estudió la dinámica de los nutrientes y la salinidad en las aguas intersticiales de sedimentos con halófitas (Spartina foliosa), en una marisma localizada en el extremo interno del Estero de Punta Banda, una laguna costera del noroeste de Baja California, México. Se generaron series de tiempo de 6 horas, con intervalos de muestreo de una hora con un muestreador "in situ" de aguas intersticiales. En los perfiles verticales de PO_4 y NH_4 se encontraron gradientes intensos en los primeros 10 cm, y debajo de los 20 cm las variaciones con la profundidad fueron menores. En general, encontramos concentraciones máximas entre 5 y 15 cm; durante mareas vivas estos máximos fueron mayores (PO_4 ~93 µM; NH_4 ~530 µM) que en mareas muertas (PO_4 ~50 µM; NH_4 ~240 µM). Debajo del máximo las concentraciones

disminuyeron con la profundidad y a 40 cm se observó un incremento. La salinidad disminuyó con la profundidad registrandose valores hasta 48‰ a 0 cm y valores tan bajos como 32‰ a 40 cm. Se encontraron variaciones de las concentraciones en escala de tiempo pequeña (minutos) relacionadas con los cambios en la altura de la marea. Las máximas variaciones con el tiempo ocurrieron en los sedimentos superficiales y a 40 cm de profundidad, debidas posiblemente a una mayor permeabilidad. Las concentraciones en las profundidades intermedias muestreadas fueron menos sensitivas a los cambios del nivel del mar. También se detectaron variaciones fuertes en el sentido horizontal en los valores de PO_4, NH_4 y S‰, debidas a una intensa heterogeneidad ambiental. En los muestreos con 7 colectores colocados a 30 cm de profundidad en una linea no mayor de 3 m, y dentro de 1 m^2, las variaciones de las concentraciones entre colectores, con una distancia minima de 7 cm entre ellos, fueron mayores que las que ocurrieron en cada colector con respecto al tiempo.

La relación generalmente inversa de PO_4 y NH_4 con respecto a la altura de marea sugiere que durante el flujo existe penetración del agua de la columna hacia el sedimento, y durante el reflujo el agua intersticial es capáz de fluir hacia fuera del sedimento, por lo que la percolación puede ser un mecanismo importante de transporte de nutrientes remineralizados en la marisma, hacia el estero.

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

DIVISION DE OCEANOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA MARINA

DINAMICA DE NUTRIENTES DE LAS AGUAS INTERSTICIALES DE SEDIMENTOS LODOSOS CON HALOFITAS EN UNA LAGUNA COSTERA

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS presenta

VICTOR FROYLAN CAMACHO IBAR

Ensenada, B.C., Agosto de 1987.

TESIS APROBADA PARA SU DEFENSA POR:

Dr. Saúl Alvarez Borrego, Director del Comité

Dr. José Rubén Lara Lara, Miembro del Comité

M.C. Gilberto Gaxiola Castro, Miembro del Comité

M.C. Francisco Suárez Vidal, Miembro del Comité

M.C. Gregory Hammann, Jefe del Departamento de Ecología Marina

Dr. José Rubén Lara Lara, Director Interino de la División de Oceanología

M.C. Cuauhtémoc Nava Button, Director Académico Interino

Tesis presentada en Agosto 12, 1987.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, especialmente a mi madre

A mi novia Gaby y la familia Covarrubias

A la familia Becerril

A mis amigos

A mis maestros, alumnos y compañeros

Porque con su cariño, amistad, comprensión y ayuda han contribuido a mi realización personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer en forma especial a mi asesor el Dr. Saúl Alvarez Borrego por su atinada dirección y toda su ayuda prestada durante el desarrollo de mi tésis.

A los miembros de mi Comité de Tésis, por sus comentarios para mejorar éste trabajo.

A mi compañero Sergio Aguiñiga y a los jóvenes estudiantes de la Facultad de Ciencias Marinas de la UABC que participaron en la preparación y realización de los trabajos de laboratorio y campo.

Al Dr. Alberto Zirino del NOSC en Point Loma, California, por su ayuda desinteresada y sus recomendaciones para el uso de los electrodos.

A todo el personal académico, administrativo, técnico y de intendencia de CICESE con quienes convivi durante mi estancia como estudiante de maestria y que también de alguna manera fueron partícipes en la elaboración del trabajo que aqui presento.

A todas aquellas personas, especialmente de la Facultad de Ciencias Marinas de la UABC, que contribuyeron de una u otra forma a la elaboración de mi tésis y que por falta de espacio y por temor a cometer omisiones no menciono.

CONTENIDO

	Página
I. Introducción	1
II. Area de estudio	9
III. Métodos y materiales	14
IV. Resultados	25
V. Discusión	60
VI. Conclusiones	83
Literatura Citada	85

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Potencial de oxido-reducción al que se reducen varias sustancias inorgánicas reducibles en sedimentos inundados. (Tomada de Delaune et al,, 1976).	7
2	Localización del Estero de Punta Banda y del área de estudio (zona azurada).	10
3	Dibujo esquemático de la marisma. En el dibujo superior se muestra la localización apróximada de los puntos de muestreo en la marisma baja (A) y en el canal en la marisma media (B). En el dibujo inferior se muestra un perfil con la altura apróximada de los puntos de muestreo en la marisma baja con respecto al NBMI y N M M.	13
4	Nivel del mar (m) con respecto al NBMI para cada uno de los muestreos. El tiempo es la hora local.	15
5	Muestreador "in situ" de aguas intersticiales. (Tomada de Alvarez Borrego et al., en prensa).	18
6	Burbuja de vidrio para la determinación de amonio con electródo.	22
7	Perfiles de la porosidad (%) para los muestreos en que se generaron perfiles verticales de nutrientes.	27
8	Perfiles verticales de materia orgánica (%) determinada por ignición a 550°C por 24 hrs.	29
9	Series de tiempo de PO_4 (μM) para el primer muestreo, realizado el 11 de junio.	31
10	Series de tiempo de PO_4 (μM) para el segundo muestreo, realizado el 13 de junio.	33
11	Series de teimpo de PO_4 (μM) para el tercer muestreo, realizado el 23 de junio.	34
12	Series de tiempo de PO_4 (μM) para el cuarto muestreo, realizado el 24 de junio.	35
13	Series de tiempo de PO_4 (μM) para el octavo muestreo, realizado el 25 de julio.	37

LISTA DE FIGURAS (cont.)

Figura		Página
14	Series de tiempo de PO_4 (μ M) para el quinto (M5) y sexto (M6) muestreos en que se colocaron 7 tubos colectores a 30 cm de profundidad en línea paralela y perpendicular a la línea de playa respectivamente. El colector A en el M6 fue el mas cercano a la línea de playa.	38
15	Series de tiempo de PO_4 (μ M) para el séptimo muestreo en el que se colocaron 4 tubos a 10 cm y 4 tubos a 30 cm dentro de una área de 1 m^2. La gráfica superior representa las variaciones de PO_4 en la superficie.	40
16	Series de tiempo de NH_4 (μ M) para el primer muestreo.	41
17	Series de tiempo de NH_4 (μM) para el segundo muestreo.	42
18	Series de tiempo de NH_4 (μM) para el tercer muestreo.	44
19	Series de tiempo de NH_4 (μM) para el cuarto muestreo.	45
20	Series de tiempo de NH_4 (μ M) para el octavo muestreo.	46
21	Series de tiempo de HN_4 (μM) para el quinto (M5) y sexto (M6) muestreos.	48
22	Series de tiempo de S°/$_{oo}$ y NH_4 para el séptimo muestreo.	49
23	Series de tiempo de S°/$_{oo}$ para el primer muestreo.	50
24	Series de tiempo de S°/$_{oo}$ para el segundo muestreo.	52
25	Series de tiempo de S°/$_{oo}$ para el tercer muestreo.	53
26	Series de tiempo de S°/$_{oo}$ para el cuarto muestreo.	55
27	Series de teimpo de S°/$_{oo}$ para el octavo muestreo.	56
28	Series de tiempo de S°/$_{oo}$ para el quinto y sexto muestreo.	57

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Distribución del tamaño de grano, porosidad, materia orgánica y clasificación en los sedimentos de los muestreos 1 y 2. (A.L = Arena limosa, L.A= limo arenoso y A= arena).	26
II	Porcentajes de porosidad y materia orgánica para los sedimentos de 30 cm de profundidad en los muestreos 5, 6 y 7.	30
III	Coeficientes de variación de PO_4 , NH_4 y $S°/_{oo}$ durante el tiempo de cada muestreo en que se generaron perfiles verticales.	59
IV	Zonación biogeoquímica en sedimentos (tomada de Klump y Martens, 1983).	68

DINAMICA DE NUTRIENTES DE LAS AGUAS INTERSTICIALES DE SEDIMENTOS LODOSOS CON HALOFITAS EN UNA LAGUNA COSTERA

I. INTRODUCCION

Las lagunas costeras son ecosistemas de gran importancia tanto ecológica como comercial, gracias a que reúnen varias caracteristicas que no se presentan en otros ecosistemas marinos. Una de las caracteristicas mas importantes es su alta tasa de producción primaria y secundaria, y como consecuencia, su alta biomasa tanto de organismos autótrofos como heterótrofos (Krumbein, Lasserre y Nixon, 1981).

Para poder mantener una alta productividad, las lagunas costeras deben contar con un aporte alto y eficiente de sustancias quimicas como los nutrientes inorgánicos, los cuales serán sillares para la sintesis de compuestos mas complejos via la fotosintesis. Sin embargo, y a pesar de su importancia, poco se conoce de la dinámica de los nutrientes en las lagunas costeras, y sobre todo, de los mecanismos de regeneración de los mismos, siendo estos últimos uno de los factores que ayudan a mantener dicha productividad tan alta.

En los sedimentos superficiales estuarinos se realiza una intensa actividad bentónica, sirviendo asi no sólo como área de pastoreo para los organismos bentónicos, sino también, como base para la asimilación activa y tranformación

de varios compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, que a su vez, pueden estar gobernando la ecología química y la diagénesis sedimentaria en estos lugares (Ho y Lane, 1973); en los sedimentos de las lagunas costeras deben ocurrir procesos similares.

El estudio de la química de las aguas intersticiales nos puede dar una información integrada de los complejos procesos biogeoquímicos que en el sedimento ocurren, y a su vez, pueden proveer información valiosa acerca de los ciclos de los nutrientes dentro de las lagunas costeras (Bowen, 1984).

Las investigaciones a nivel mundial sobre la composición de las aguas intersticiales se han enfocado principalmente al estudio de sedimentos de aguas oceánicas profundas, y los estudios sobre cuerpos de agua protegidos se han realizado básicamente en estuarios, dejando prácticamente virgen el campo de estudio de las aguas intersticiales de los sedimentos en las lagunas costeras sin aporte continuo de agua dulce.

En estudios sobre nutrientes de sedimentos estuarinos, se han encontrado evidencias de regeneración de dichos compuestos (Allen, Mandelli y Zimmerman, 1981), lo que permite un flujo de estos del sedimento hacia la columna de agua. Dicho flujo, mas que depender solamente de un proceso difusivo, es también función de la velocidad de renovación del agua intersticial, dependiendo esta última a su vez de la bioturbación, la percolación, el rango de mareas, la

evaporación durante periodos de exposición, y del oleaje que produce bombeo submareal (Postma, 1981).

El papel que juegan las aguas intersticiales dentro del ciclo de los componentes del agua de mar se puede estimar mediante la medición de los flujos antes mencionados, pero hasta la fecha solo se ha considerado como factor principal en estos flujos, inclusive en sedimentos estuarinos, la difusión molecular (Postma, 1981). Wolaver, Zieman, Wetzel y Webb (1983) concluyeron que es muy importante el papel que juega la percolación en el transporte de los nutrientes del sedimento hacia la columna de agua en las marismas intermareales.

El papel que juegan las marismas como importadoras o exportadoras de nutrientes ha sido un tema controversial, pues algunos estudios realizados en diferentes marismas estuarinas han arrojado resultados diferentes, tanto en la dirección en que ocurren los flujos como en la magnitud de los mismos. Nixon (1980) hizo una revisión de trabajos realizados a lo largo de veinte años para evaluar la importancia de las marismas con respecto a los estuarios y a las aguas costeras adyacentes y de las diferentes conclusiones a las que se han llegado. Al parecer las diferencias se han debido principalmente a las diferentes metodologías para estimar los flujos, las diferentes suposiciones que cada autor ha utilizado, y además, algo muy importante es que cada marisma presenta carecterísticas físicas, químicas y biológicas particulares que pueden hacer que

su papel dentro de su ecosistema sea diferente, aún con respecto a marismas en ecosistemas próximos. A pesar de las controversias, Nixon (1980) reporta que en general las marismas funcionan como exportadoras de fosfato y amonio en una base anual, aunque pueden ocurrir variaciones estacionales.

En México, el estudio sobre las aguas intersticiales de sedimentos en lagunas costeras ha sido practicamente nulo, a pesar de que contamos con aproximadamente diez mil kilómetros de litoral y al menos una tercera parte de éste es conformado por estas lagunas. Green Ruiz, Caschetto y Alvarez Borrego (1983) hicieron estudios sobre el silice disuelto en la columna de agua y en agua intersticial en el Estero de Punta Banda, Baja California, encontrando flujos por difusión molecular del sedimento hacia la columna de agua en el rango de 3.5 a 8.3×10^{-7} micromoles cm^{-2} seg^{-1}. Arenas y De la Lanza (1981) hicieron estudios de laboratorio sobre el efecto del resecamiento y del agrietamiento en la disponibilidad de fosfatos, con sedimentos de la laguna Calmanero, Sinaloa. Estos autores encontraron que el resecamiento aumenta la disponibilidad del fosfato inorgánico. En sedimentos anóxicos, en el campo, el resecamiento y agrietamiento pueden producir un aumento en la disponibilidad del fosfato, al proporcionar espacio y vias de acceso mas rápidas del agua de la columna hacia el sedimento. Al oxigenarse el sedimento, se puede acelerar la velocidad de degradación de la materia orgánica por mecanismos aeróbicos; sin embargo, también la

oxidación del sedimento es acompañada por la de compuestos ferrosos y manganosos, y el fosfato inorgánico puede coprecipitarse con los óxidos férricos y mangánicos resultantes, o puede precipitarse directamente formando fosfatos de estos elementos (Bray, Bricker y Troup, 1973).

En los sedimentos de las marismas, los procesos de oxido-reducción son muy importantes. Aunque el sedimento en general es anóxico, es decir, con un potencial de oxido-reducción (Eh) bajo, pueden ocurrir reacciones redox muy variadas pues es posible encontrar un amplio rango de Eh que puede ir desde +700 hasta -300 mV (De Laune, Patrick y Branon, 1976). Los nutrientes en los sedimentos son regenerados por la oxidación de la materia orgánica y la sustancia que actúa como aceptora de electrones durante ésta oxidación, dependerá del Eh al que se lleva la reacción. El oxigeno molecular es el primer componente que se reduce en el sedimento, hasta llegar a niveles no detectables si su consumo es mayor que su producción. El siguiente oxidante, una vez que se ha consumido el oxigeno , son los nitratos, los cuales al agotarse, dan paso a la reducción de compuestos mangánicos, los cuales pasan a formas manganosas mas solubles. El sistema mineral del ión férrico es el siguiente en la secuencia termodinámica a ser reducido; a continuación los sulfatos se reducen a sulfuros y agotados los sulfatos, puede tener lugar la producción de metano por la reducción del bióxido de carbono (De Laune et al., 1976). Es importante señalar que las reacciones de reducción anteriores, necesitan

una fuente de energía que en los sedimentos es proporcionada principalmente por distintos tipos de bacterias. En la figura 1 se muestra el potencial redox al cual ocurre cada una de las reacciones arriba descritas.

Es difícil la obtención del agua intersticial sin perturbar el sedimento, por lo tanto, no es fácil el estudio de la composición química de estas aguas. El uso de muestreadores in situ puede reducir dichas perturbaciones, mejorando así la calidad de los datos que se obtienen (Sayles et al.,1976; Montgomery, Zimmerman y Price, 1979). Hasta la fecha, el método mas común para la obtención de aguas intersticiales ha sido mediante la obtención de un núcleo de sedimento al cuál se le extrae posteriormente el agua, ya sea por centrifugación o por presión. Además de que éste procedimiento requiere de una manipulación grande de la muestra, la cual puede producir ciertas interacciones físicas y químicas capaces de alterar la concentración y el estado de las especies químicas de interés (Fanning y Pilson, 1971; Troup, Bricker y Bray, 1974; Sayles et al., 1976; Koros y Orban, 1978; Lyons, Gaudette y Smith, 1979), éste no permitirá la medición de los cambios in situ que pueden ocurrir a lo largo del tiempo en sistemas tan dinámicos como las zonas intermareales en una laguna costera. En el presente estudio se utilizó un muestreador in situ, el cual es descrito en la sección de métodos y materiales.

El objetivo general del presente trabajo fue determinar la variación espacial y temporal de las concentraciones del

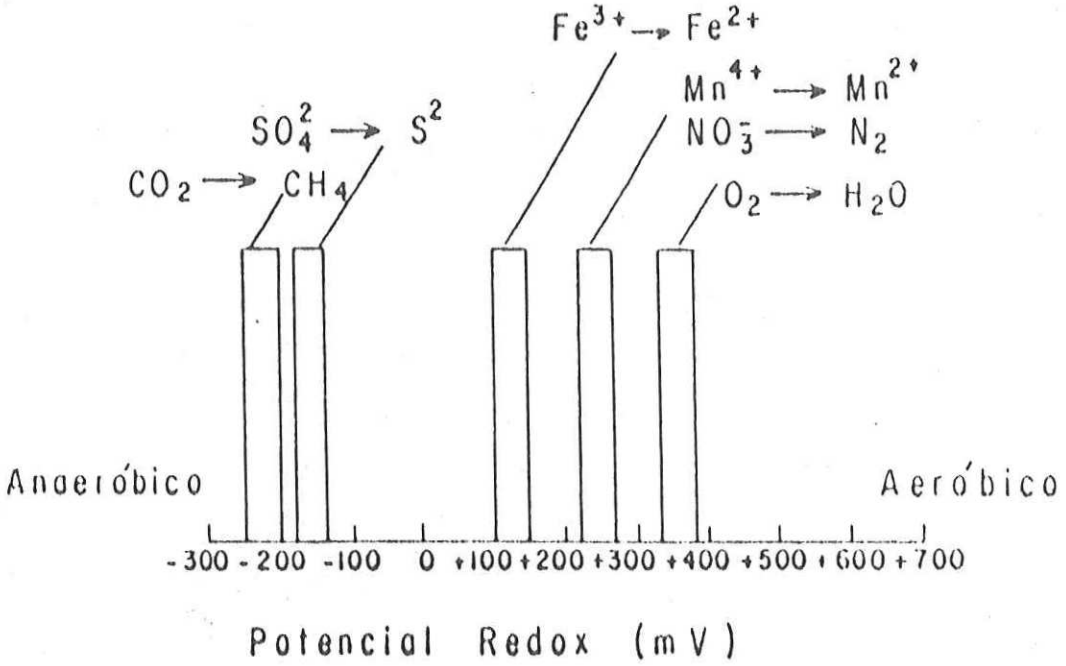

FIGURA 1. Potencial de oxido-reducción al que se reducen varias sustancias inorgánicas reducibles en sedimentos inundados. (Tomada de Delaune et al., 1976).

fosfato inorgánico (PO_4), del ión amonio (NH_4) y de la salinidad (S‰) del agua intersticial de sedimentos lodosos con vegetación, ricos en materia orgánica, en la marisma de una laguna costera del noroeste de Baja California. Particularmente, se generaron perfiles verticales de PO_4, NH_4 y S‰, para determinar el efecto que tienen diferentes condiciones de marea, tales como mareas vivas y mareas muertas, en la distribución de tales perfiles durante los muestreos, con una duración aproximada de seis horas, con intervalos de muestreo de una hora. Otro objetivo particular fue determinar la relación existente entre el tamaño de grano, la porosidad y el contenido de materia orgánica con la distribución vertical de los nutrientes. El último objetivo particular fue determinar si existen diferencias significativas en la concentración de los nutrientes a una misma profundidad dentro de una área pequeña (v.g.: dentro de 1 m^2 y en una línea de 3 m).

II. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio del presente trabajo es una marisma localizada en el extremo interno del Estero de Punta Banda, una laguna costera cercana a Ensenada, Baja California. El estero se ubica entre los 31° 42'-31°47' N y 116° 37'-116°40' W en el extremo sureste de la Bahía Todos Santos. Esta laguna es una cuenca de evaporación ya que no tiene aporte continuo de agua dulce, pero durante la temporada de lluvias en el invierno, el aporte puede ser considerable através del arroyo San Carlos que drena cerca de la boca, y del arroyo San Antonio que drena cerca del extremo interno del estero (Fig. 2), siendo además, los principales aportadores de material sedimentario terrígeno hacia el estero, como hacia la Bahía Todos Santos (Avila Serrano, 1983).

El estero está separado de la bahía por una barra arenosa de poco mas de 7 km de longitud que parte de la base de Punta Banda. Se caracteriza por tener un canal en forma de "L" con una profundidad máxima de 7.5 m la cual va decreciendo en forma irregular hacia el interior del canal. El área superficial y el volúmen total del estero son respectivamente 3.6 km^2 y 5.3 $x10^6$ m^3 en bajamar media inferior, y 11.6 km^2 y 17.2 $x10^6$ m^3 en pleamar media superior (Pritchard et al., 1978). La boca del estero varía en amplitud de acuerdo al aumento o disminución de los sedimentos depositados por el oleaje. Esta boca es permanente y se encuentra aproximadamente a 14 km de la zona de

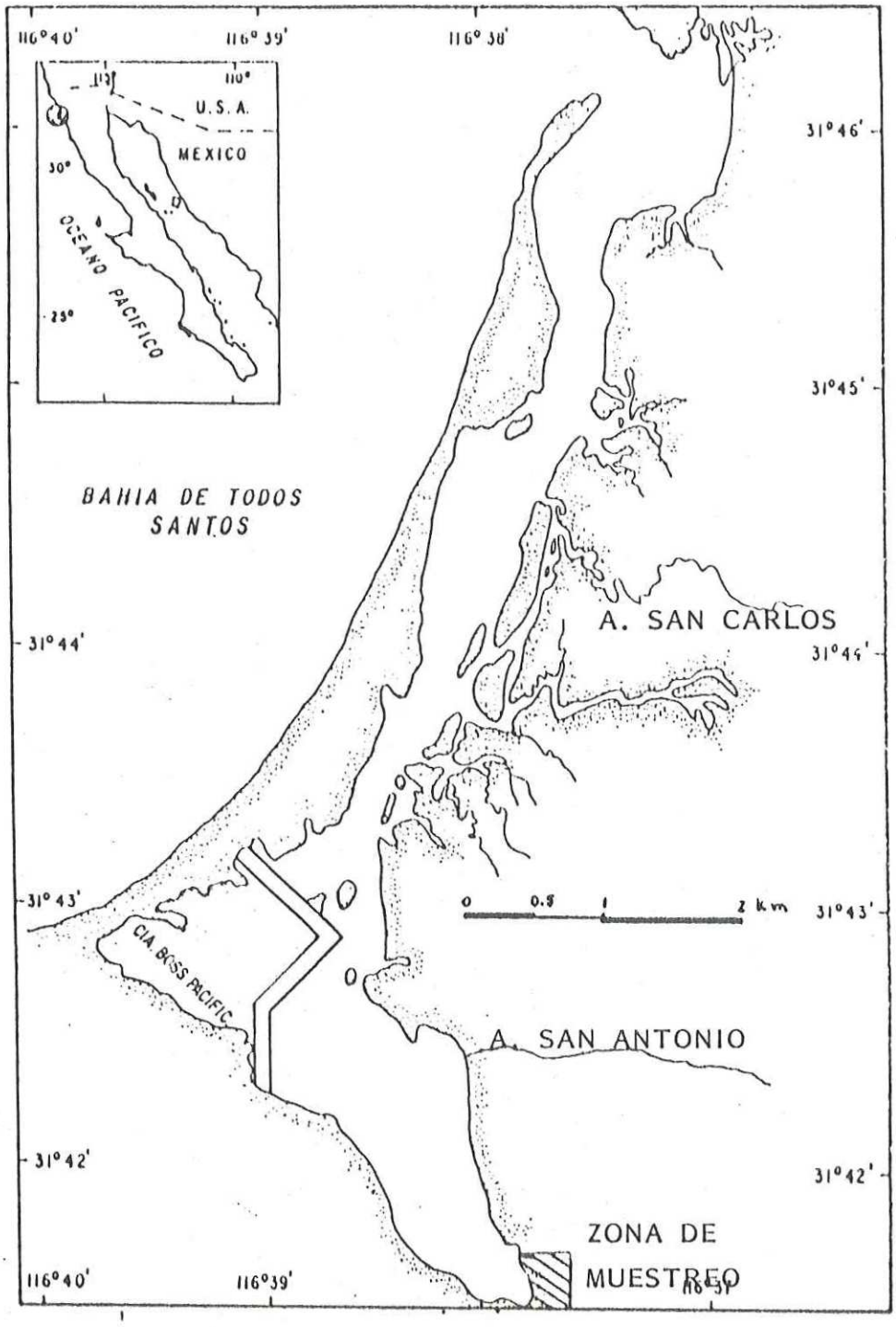

FIGURA 2. Localización del Estero de Punta Banda y del área de estudio (zona azurada).

surgencias de Punta Banda, que está fuera de la Bahía Todos Santos. Algunas veces el agua de surgencias es acarreada por corrientes costeras hacia el interior del estero (en primavera-verano), pero ésta agua llega modificada por procesos químicos, biológicos y físicos durante su trayectoria (Alvarez Borrego y Alvarez Borrego, 1982; Millán Nuñez et al., 1981). El estero se clasifica en general como una laguna neutra (Pritchard, 1967). La densidad de sus aguas es casi igual a la de Bahía Todos Santos, y el movimiento del agua es causado solamente por las mareas y el viento. En general, durante todo el año existen gradientes horizontales de salinidad y temperatura con valores aumentando hacia el interior del estero, teniendo las concentraciones de nutrientes el mismo comportamiento. En general no hay gradientes verticales de salinidad, y en la boca existe un gradiente vertical de temperatura la cual cambia con las corrientes de marea pero generalmente es mayor en la superficie y disminuye con la profundidad (Millán Nuñez et al., 1981). Los valores mas altos de nutrientes en la columna de agua se han registrado para el extremo interno (Millán Nuñez et al., 1981). En ésta parte del estero se encuentra una marisma poco desarrollada, cortada por canales sinuosos (Aguilar Rosas, 1982), en donde se realizaron los muestreos para el presente trabajo (Fig. 2). Los primeros 7 muestreos se llevaron a cabo alrededor de las coordenadas 31° 41.77' N, 116° 37.65' W, en la franja correspondiente a la marisma baja, cuya superficie se ubica aproximadamente a 1.06 m sobre el

nivel de bajamar media inferior (Fig. 3). El retraso de la marea en éste punto con respecto a la boca del estero es aproximadamente de 40 minutos, con un rango promedio aproximado durante mareas vivas de 2.5 m y durante mareas muertas de 1 m (Gutierrez Velázquez, com. pers.). La marisma baja es caracterizada por la dominancia de Spartina foliosa, y la marisma media por Spartina foliosa (de menor tamaño que la de marisma baja), Batis maritima y Salicornia virginica (Ibarra Obando, com. pers.). El octavo muestreo se realizó en un canal en la marisma media, el cual generalmente está cubierto por agua. Los siete muestreos de la marisma baja se realizaron dentro de un área aproximada de 9 x 3 m. El primero se llevó a cabo aproximadamente a 20 m del canal principal (Fig. 3), y en cada uno de los siguientes muestreos se avanzó alrededor de 1 m, respecto al punto del muestreo anterior, en dirección opuesta al canal. En cada muestreo los colectores se colocaron aproximadamente a 7 m del limite inferior de la marisma baja (Fig. 3), a excepción del sexto en que se colocaron en linea perpendicular a la de playa y solamente el colector A se colocó a la distancia antes mencionada, y el resto se colocaron hacia el interior de la marisma.

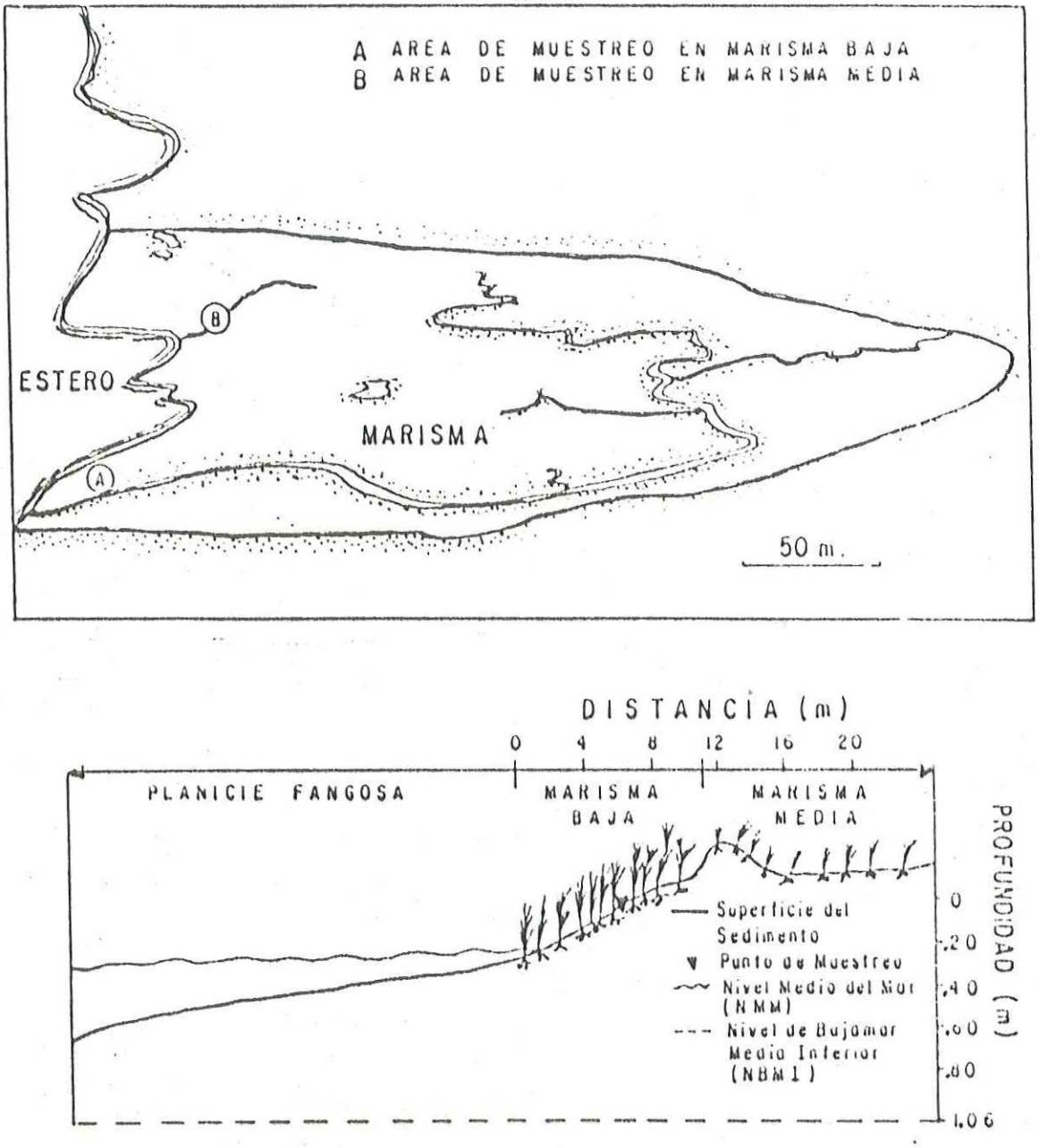

FIGURA 3. Dibujo esquemático de la marisma. En el dibujo superior se muestra la localización apróximada de los puntos de muestreo en la marisma baja (A) y en el canal en la marisma media (B). En el dibujo inferior se muestra un perfil con la altura apróximada de los puntos de muestreo en la marisma baja con respecto al NBMI y N M M.

III. METODOS Y MATERIALES

Se realizaron un total de 8 muestreos en el verano de 1986, los dias 11, 13, 23 y 24 de junio y 14, 15, 24 y 25 de julio, 5 de ellos para evaluar el efecto de la marea sobre PO_4, NH_4, y S‰ a diferentes profundidades en el sedimento, y los otros tres muestreos para evaluar la heterogeneidad en espacios cortos, en sentido horizontal, a una misma profundidad (30 cm) en el sedimento. El 11 y 13 de junio el muestreo se realizó bajo condiciones de mareas muertas, con un rango para cada dia de 1.56 y 1.18 m respectivamente, y con una variación de la altura de marea de 0.32 y 0.25 m (Fig. 4) durante el tiempo de muestreo. El 23 y 24 de junio se trabajó con mareas vivas con un rango de 2.53 y 2.29 m respectivamente, y con una variación durante cada muestreo de 0.69 y 0.61 m. Los muestreos 5, 6 y 7 se realizaron los dias 14, 15 y 24 de julio, los dos primeros con mareas muertas y el tercero con mareas vivas. El rango diurno para cada una de ellos fué de 1.03, 1.03 y 1.79 m y la variación del nivel durante el periodo de muestreo de cada uno de ellos fué 0.31, 0.35 y 0.54 m respectivamente (Fig.4). El muestreo número 8 correspondiente al dia 25 de julio se realizó a finales del periodo de mareas vivas con un rango diurno de 1.34 m y 0.39 m durante el periodo de muestreo. A diferencia de los anteriores, este muestreo se realizó en la franja correspondiente a la marisma media (Fig. 3).

En los muestreos 1, 2, 3, 4 y 8 se tomaron muestras a 0,

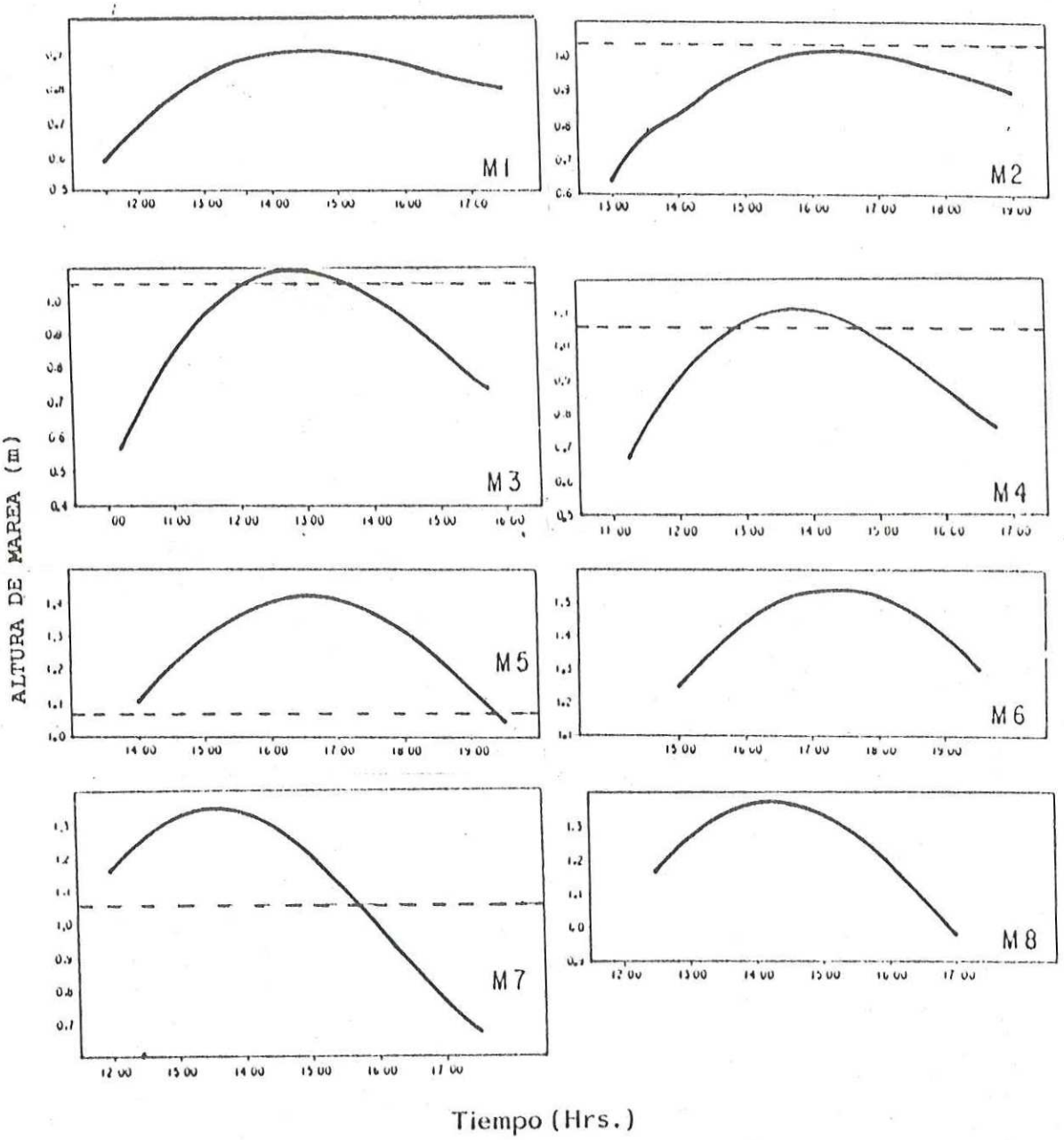

FIGURA 4 Nivel del mar (m) con respecto al NBMI para cada uno de los muestreos. El tiempo es la hora local. La línea punteada indica la altura de la superficie del punto de muestreo.

5, 10, 15, 20, 30 y 40 cm de profundidad, en forma simultánea y con un intervalo aproximado de 30 minutos. Para tener suficiente volúmen de agua intersticial para cada análisis, las muestras colectadas se destinaron en forma alterna para amonio y salinidad por una parte y para fosfatos por la otra, por lo que el intervalo de muestreo para cada variable fue aproximadamente de una hora.

Los muestreos 5, 6 y 7 se diseñaron para determinar la heterogeneidad horizontal del medio. Para estos muestreos se colocaron al azar 7 muestreadores a una misma profundidad (30 cm) tomandose las muestras con el mismo intervalo descrito anteriormente. En los muestreos 5 y 6 los tubos colectores se colocaron formando una linea paralela y una perpendicular respecto a la linea de playa, respectivamente. En ambos casos, la distancia entre los muestreadores mas alejados no excedió los 3 m y la mas cercana fue 7 cm. En el muestreo 7 los colectores se colocaron al azar dentro de un cuadrante de un metro cuadrado.

La duración de cada uno de los ocho muestreos fué de 6 horas, iniciandose y terminandose aproximadamente 3 horas antes y tres horas después de que el agua alcanzó el nivel de pleamar inferior.

La toma de las muestras de agua intersticial se llevó a cabo mediante un muestreador in situ de diseño original construido en el CICESE. Este muestreador consiste básicamente de una serie de tubos colectores de acrilico transparente (plexiglass) de diferentes longitudes. Cuentan

con perforaciones pequeñas en su parte inferior de tal manera que permiten colectar el agua intersticial unicamente de la profundidad a la que se encuentran dichas perforaciones (Fig. 5). Este muestreador fue diseñado especialmente para la zona intermareal y para minimizar la perturbación del sedimento durante la inserción del mismo. Fué probado satisfactoriamente antes de la realización de los muestreos para la presente tésis y algunos de los resultados y una descripción mas detallada del mismo se encuentran reportados en Alvarez Borrego, Aguiñiga Garcia y Camacho Ibar (en prensa). Es importante aclarar que en nuestro caso no fue necesario mantener un ambiente anaeróbico al tomar y analizar las muestras de agua intersticial, pues cuando ésta fluye en forma natural hacia fuera del sedimento, tiene contacto con el aire o se mezcla en la columna de agua donde existe oxigeno en solución, asi que cualquier efecto de oxidación directo o indirecto, que afecte las concentraciones de formas disueltas de nitrógeno y fósforo, lo hará de manera similar al proceso natural, en una muestra que tomemos sin evitar el contacto con el aire.

Para minimizar la perturbación del sedimento durante el proceso de colocación de los colectores y durante el muestreo en general, se utilizaron dos tablas de madera (triply) de 1.20 x 2.20 m para poder desplazarnos sobre ellas. Antes de llegar al punto de muestreo colocamos por enfrente una de las tablas y nos apoyamos sobre ésta para lanzar al frente la otra, de tal manera que la perturbación que causamos al

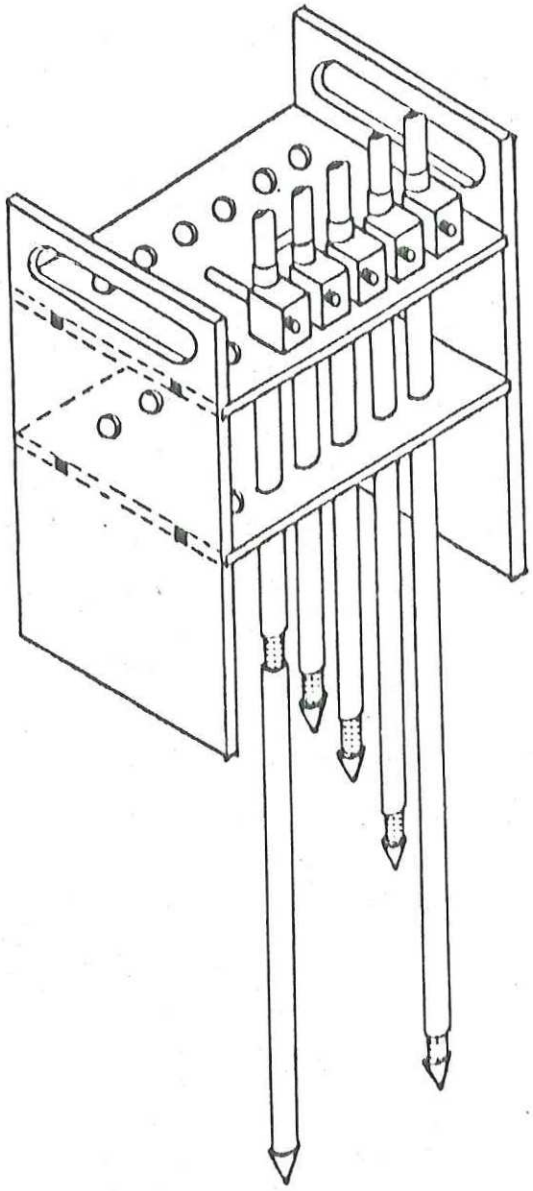

FIGURA 5 Muestreador "in situ" de aguas intersticiales.
(Tomada de Alvarez Borrego et al.,en prensa).

caminar sobre el lodo se encontraba aproximadamente a 6 m del punto de muestreo.

Una vez colocadas las tablas insertamos la caja que sostiene los tubos colectores (Fig. 5) y la nivelamos, para posteriormente ubicar cada tubo colector y abrirlos cuidadosamente una vez insertos. El agua que colectó cada tubo después de ser abierto fue descartada, y la primera muestra para nuestros análisis fue tomada aproximadamente una hora después del proceso de inserción del muestreador. De esta manera, las posibles alteraciones en la química del agua intersticial asociadas a la perturbación del sedimento fueron minimizadas. Cabe señalar que el flujo del agua intersticial hacia el interior de los tubos colectores fue lento en mi área de estudio, por lo que la muestra que se analizó fue la que se acumuló durante aproximadamente 30 minutos, y los resultados que se presentan en este trabajo representan un valor promedio de las variables estudiadas para los 30 minutos de colecta y no un valor puntual en la serie de tiempo.

El agua intersticial se extrajo de los tubos colectores mediante jeringas de plástico de 50 ml, a las cuales se les adaptaron mangueras delgadas de longitud suficiente para que se colectara el agua desde el fondo de cada tubo. Para cada tubo se utilizó una jeringa y una manguera. Tanto las jeringas y mangueras como los colectores se lavaron previamente en el laboratorio con ácido clorhídrico al 10% y se enjuagaron con agua desionizada. Cada jeringa se enjuagó

varias veces con agua desionizada entre cada toma de muestras en el campo. La muestra de agua que nos representa los 0 cm fue tomada directamente con una jeringa acercada lo mas posible a la superficie del sedimento.

Una vez tomada la muestra para PO_4, a cada jeringa se le adaptó un portafiltros de plástico con un filtro Whatman GF/C de 1.2 micras de tamaño de poro y 4.7 cm de diámetro. Las muestras se pasaron a través del filtro directamente hacia botellas de polietileno y se almacenaron en baño de hielo a 4 °C y se congelaron en el laboratorio hasta su análisis a -18 °C. El PO_4 se determinó por el método descrito por Strickland y Parsons (1972). Debido a los volúmenes pequeños de muestra obtenidos (5 a 25 ml) y a las altas concentraciones de éstas aguas, se hicieron diluciones de las muestras con agua desionizada para poder analizar cada muestra por triplicado, con réplicas de 50 ml cada una. La absorbancia y la concentración de las muestras se obtuvieron mediante un espectrofotómetro Baush & Lumb Spectronic 1001. Cada concentración se multiplicó por su factor de dilución correspondiente para obtener la concentración corregida.

En muestreos de prueba se midieron las concentraciones de nitratos y nitritos en el agua intersticial y no encontramos niveles detectables (Alvarez Borrego et al., en prensa), por lo que se decidió determinar solamente NH_4 como especie química representativa del nitrógeno inorgánico disuelto en el agua intersticial. El análisis de NH_4 se llevó a cabo en el campo de la forma que a continuación se

describe. Una vez extraída la muestra, al igual que para PO_4 se le adaptó a la jeringa un portafiltros con un filtro Whatman GF/C. A éste portafiltros se le adaptó a su vez una aguja metálica y la muestra se inyectó directamente a una burbuja de vidrio de 25 ml de capacidad construida en CICESE (Fig. 6). La idea para la fabricación de ésta burbuja fue tomada de la que usó Zirino (1975). A la burbuja se le adaptó un electrodo sensor de amoniaco Orion mod. 95-10 conectado a un medidor digital de pH y mV, Orion Research mod. 611. Este medidor funciona con energía eléctrica por lo que también se llevó al campo un generador portátil. Las curvas de calibración se hicieron en el campo antes de iniciar los muestreos, y entre cada toma de muestra se corrieron dos estándares de diferentes concentraciones para probar el funcionamiento correcto del electrodo. El uso de la burbuja nos permitió tener tiempos cortos de estabilización del electrodo, en general no mayores de un minuto, y una precisión apropiada en las determinaciones ($\pm$ 1 mV o $\pm$ 4% de la concentración). Para mantener un funcionamiento óptimo y tiempos de respuesta rápidos del electrodo, su membrana de papel semipermeable fue reemplazada para cada día de muestreo. Durante el procedimiento del análisis de NH_4 se agrega a la muestra hidróxido de sodio para transformar el ión amonio en amoniaco, y durante ésta adición, ocurre también precipitación de carbonatos, los cuales deterioran rápidamente la membrana, pues la alcalinidad en el agua intersticial de nuestros sedimentos parece ser muy elevada

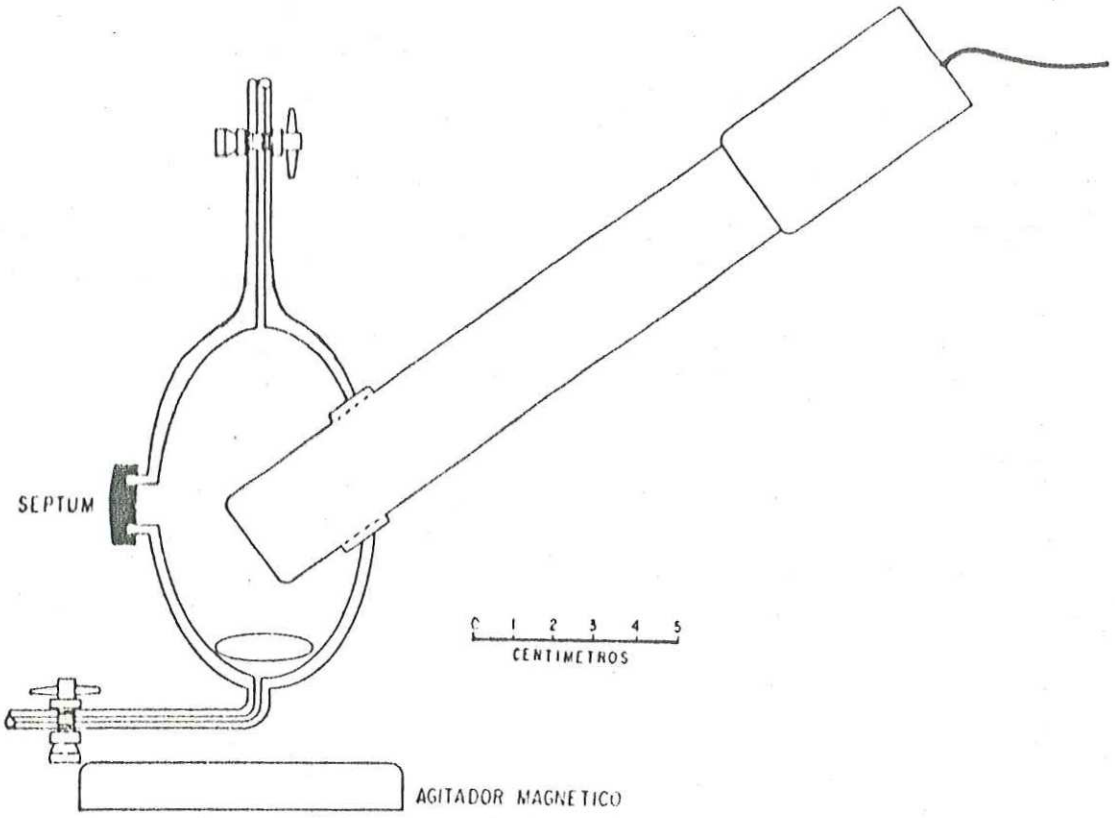

FIGURA 6 Burbuja de vidrio para la determinación de amonio con electródo.

(v.g.: Agosta reportó alcalinidades hasta 13 meq/l en sedimentos similares a los del presente estudio). Es importante mencionar que el método utilizado para éste análisis permitió una manipulación mínima de la muestra, desde su obtención con el muestreador in situ, su extracción con la jeringa y su inyección casi inmediata a la burbuja donde fue realizada la medición de esta variable. Este procedimiento presenta ventajas sobre los métodos tradicionales de obtención de aguas intersticiales y análisis del NH_4, los cuales implican mucho mayor manejo de la muestra con las probabilidades consecuentes de alteración de la muestra original (Alvarez Borrego et al., en prensa).

Antes de inyectar la muestra a la burbuja para analizar NH_4, se tomaron dos gotas del agua filtrada para el análisis de S‰. Este análisis se llevó a cabo en el campo mediante un refractómetro manual American Optical mod. 10419. Este método de análisis fue el mas adecuado para éste trabajo puesto que requiere de un volúmen mínimo de muestra y su precisión de $\pm$ 0.5‰ fue suficiente para detectar las diferencias de S‰ en el sedimento ya que en la mayoría de las ocasiones fueron mayores que 1 ‰.

Una vez terminado cada muestreo, se retiró el muestreador y se tomó una muestra de sedimentos con un nucleador manual hasta los 50 cm de profundidad aproximadamente. Los nucleadores son tubos de PVC de 4 cm de diámetro interno, y aproximadamente de 80 cm de longitud, a los cuales, una vez insertos en el sedimento, se les colocó

un tapón de plástico para poder extraer el núcleo. Cada núcleo se extrajo al llegar al laboratorio, y se seccionó en rebanadas de 5 cm, obteniendose muestras de sedimentos de las profundidades a las que se tomaron las muestras de agua intersticial. Cada rebanada del núcleo se colocó en una bolsa de plástico y se congeló a -18 °C hasta su análisis. La determinación del tamaño de grano se realizó pretratando la muestra con peróxido de hidrógeno para eliminar la materia orgánica, y tamizando en húmedo a través de un tamiz Tayler de 4 phi de luz de malla. La muestra retenida en el tamiz, correspondiente a las arenas (tamaño mayor que 64 micras), fue determinada gravimétricamente, mientras que la fracción de limos (tamaño entre 3 y 64 micras) y arcillas (particulas menores de 3 micras) se cuantificó mediante un contador de particulas ELZONE. El sedimento se clasificó de acuerdo con Folk (1951) y la porosidad se determinó de acuerdo con Behrens (1980). El contenido de materia orgánica se determinó mediante la pérdida en peso de la muestra seca, por ignición a 550 °C durante 24 horas.

Todos los datos fueron procesados en la computadora PRIME 700 del CICESE, y los isográmas se obtuvieron mediante el programa de graficado GRAFOS de la sección de estudios básicos.

IV. RESULTADOS

Las arenas y limos constituyeron las fracciones mas importantes en los muestreos 1 y 2, mientras que las arcillas se encontraron en baja proporción, con valores menores del 5% (tabla I). En ambos muestreos se pudo observar la tendencia al aumento en la fracción de arenas conforme aumentó la profundidad del sedimento. En los primeros 10 cm encontramos porcentajes de limos mayores que 39% y conforme aumentó la profundidad estos porcentajes disminuyeron hasta alcanzar valores menores del 10% a los 40 cm.

Aunque para el resto de los muestreos no se hizo la determinación del tamaño de grano, suponemos que el resto de los puntos muestreados siguen la misma tendencia en la distribución vertical que los anteriormente descritos. Para hacer tal aseveración usamos como un indicador del tamaño de grano a la porosidad. Aunque en teoria el tamaño de grano no influencia la porosidad, en la práctica se observa que a menor tamaño de grano mayor porosidad (Pettijohn, 1974). Esta relación se puede observar en la tabla I.

La porosidad de los sedimentos disminuyó con la profundidad (Fig. 7). En general, encontramos altas porosidades en los primeros 10 cm, variando desde 63% a los 10 cm en el punto del primer muestreo hasta un 85% a los 5 cm del octavo. La porosidad disminuyó gradualmente hasta encontrar los valores minimos registrados a 40 cm. Los valores varian a esta profundidad desde 37% en el primer

TABLA I Distribución del tamaño de grano, porosidad, materia orgánica y clasificación en los sedimentos de los muestreos 1 y 2. (A.L= Arena limosa, L.A= limo arenoso y A= arena).

PROF. (cm)	ARENAS (%)	LIMOS (%)	ARCILLAS (%)	POROSIDAD (%)	M.O. (%)	CLASIFICACIÓN	
5	52.5 ± 0.3	44.4 ± 0.8	3.0 ± 0.5	67.3	6.3	A.L.	
10	57.4 ± 0.1	39.8 ± 0.1	2.7 ± 0.0	66.8	6.3	A.L.	
15	67.5 ± 1.4	30.5 ± 1.3	1.9 ± 0.1	58.9	4.5	A.L.	
20	73.4 ± 1.5	25.1 ± 1.7	1.5 ± 0.1	52.8	3.4	A.L.	M 1
30	80.2 ± 1.1	18.6 ± 0.9	1.2 ± 0.2	39.7	2.8	A.L.	
40	92.1 ± 3.1	7.5 ± 2.9	0.4 ± 0.2	37.2	1.6	A.	
5	25.5 ± 0.3	69.9 ± 0.7	4.5 ± 0.3	77.8	10.6	L.A.	
10	56.8 ± 0.5	40.0 ± 0.6	3.1 ± 0.1	63.7	7.9	A.L.	
15	53.5 ± 5.1	45.9 ± 3.0	2.4 ± 0.2	58.0	4.4	A.L.	M 2
20	64.1 ± 4.9	33.5 ± 4.7	2.4 ± 0.2	49.7	4.1	A.L.	
30	87.0 ± 0.6	12.5 ± 0.3	0.5 ± 0.3	38.3	2.0	A.L.	
40	94.2	5.5	0.3	41.0	1.4	A.	

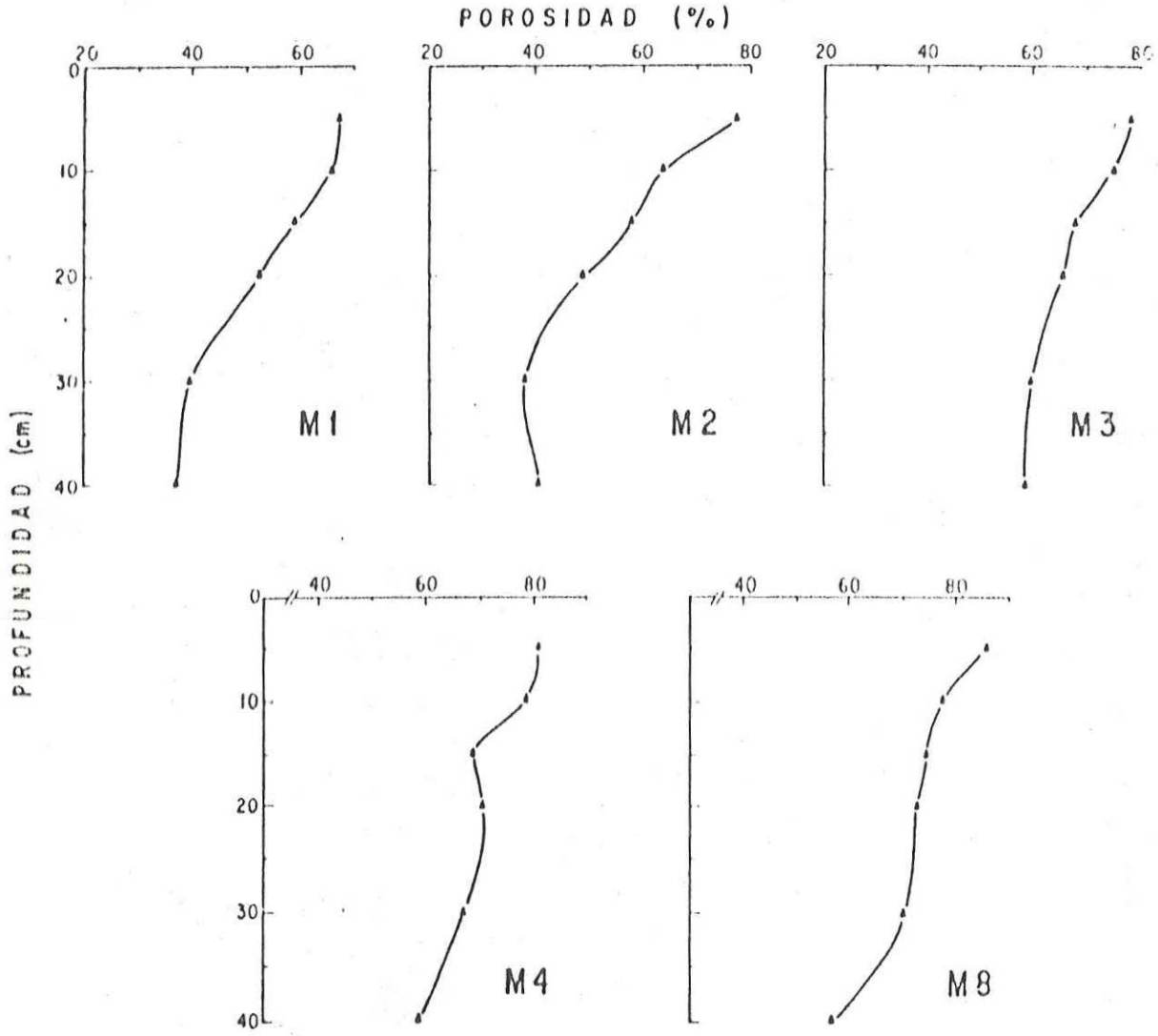

FIGURA 7 Perfiles de la porosidad (%) para los muestreos en que se generaron perfiles verticales de nutrientes.

punto de muestreo, hasta 59% en el tercero. En base a lo anterior, clasificamos los primeros 10 cm del área de muestreo como limo-arenosos (Folk, 1954), entre los 15 y 30 cm como arenas limosas, y el sedimento a los 40 cm como arenas pues la porción de limos y arcillas a esta profundidad es menor del 10 %.

La distribución vertical del contenido de materia orgánica fue similar al de la porosidad (Fig. 8). Los sedimentos en el área de estudio son ricos en materia orgánica, con valores máximos en los primeros 5 cm de profundidad, variando desde 6.3% en el muestreo número uno hasta 13.9% en el número ocho. Los valores mas bajos se encontraron a los 40 cm, variando desde 1.4% en el segundo muestreo, hasta 7.4% en el tercero.

En los casos en que las muestras se tomaron a 30 cm para estimar la varianza horizontal, las variaciones máximas fueron encontradas en el arreglo paralelo a la linea de playa y las menores en el muestreo 7 en el que los colectores se colocaron en un área de un metro cuadrado (tabla II).

Los primeros dos muestreos se realizaron durante mareas muertas (Fig. 4). En el primer muestreo PO_4 aumentó rapidamente de la superficie del sedimento hasta los 15 cm en donde encontramos los valores máximos (43 a 51 µM). Los valores de las muestras a 0 cm variaron de 7 a 11 µM (Fig.9). Por debajo de los 15 cm las concentraciones fueron menos cambiantes en éste muestreo lo cual es indicado por el aumento de la distancia entre isogramás. En esta zona, los

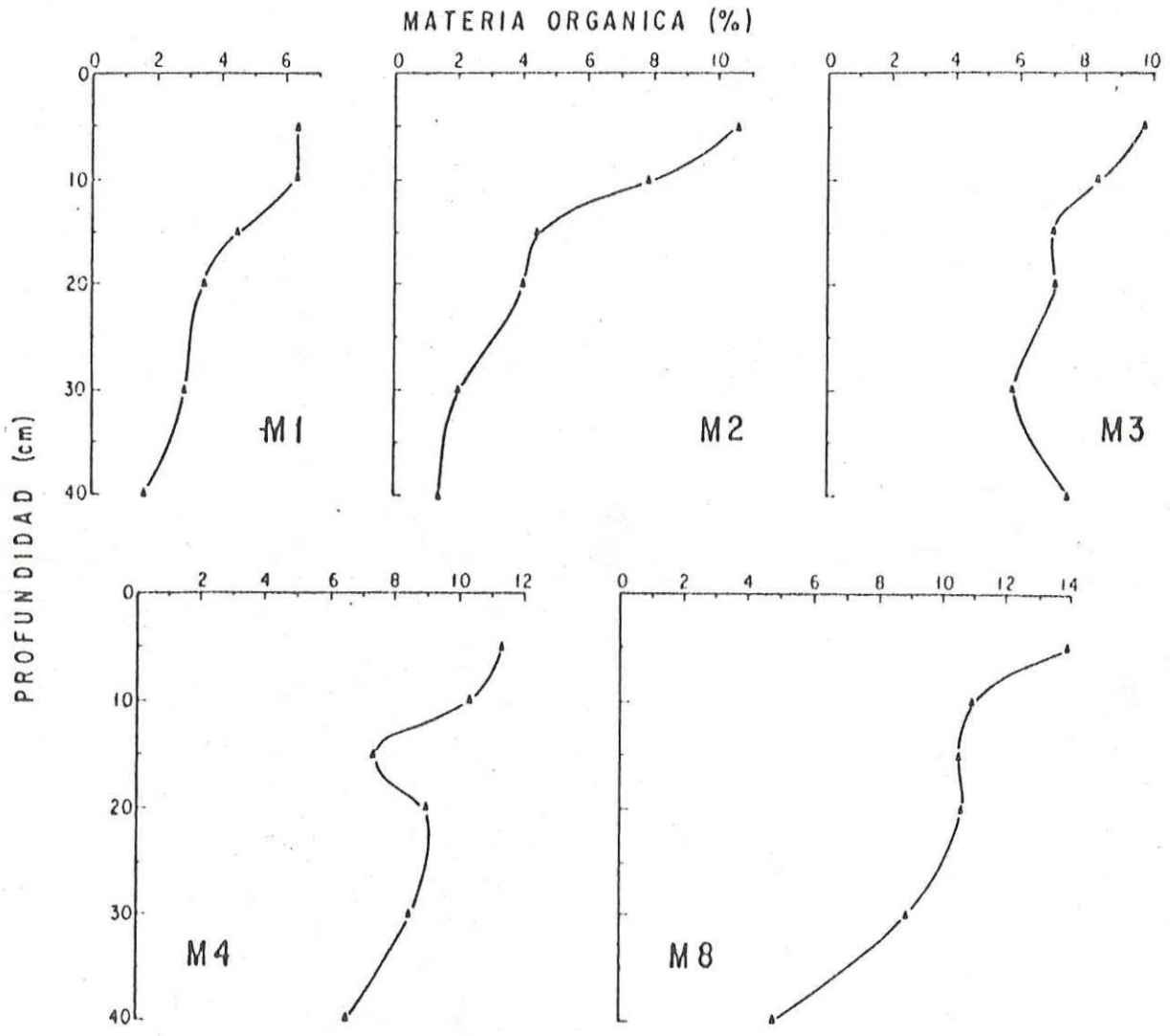

FIGURA 8 Perfiles verticales de materia orgánica (%) determinada por ignición a 550°C por 24 hrs.

TABLA II Porcentajes de porosidad y materia orgánica para los sedimentos de 30 cm de profundidad en los muestreos 5, 6 y 7.

	M 5		M 6		M 7	
NUCLEO	POROSIDAD (%)	M.O. (%)	POROSIDAD (%)	M.O (%)	POROSIDAD (%)	M. O. (%)
A	41.9	2.1	56.4	5.6	72.4	10.7
B	56.4	6.2	58.7	6.3	72.2	10.3
C	63.0	7.6	62.6	7.5	72.0	10.0
D	67.9	8.9	56.8	6.5	—	—
$\bar{X}$	57.3	6.2	58.6	6.5	72.2	10.3
S	11.3	2.9	2.8	0.8	0.2	0.4

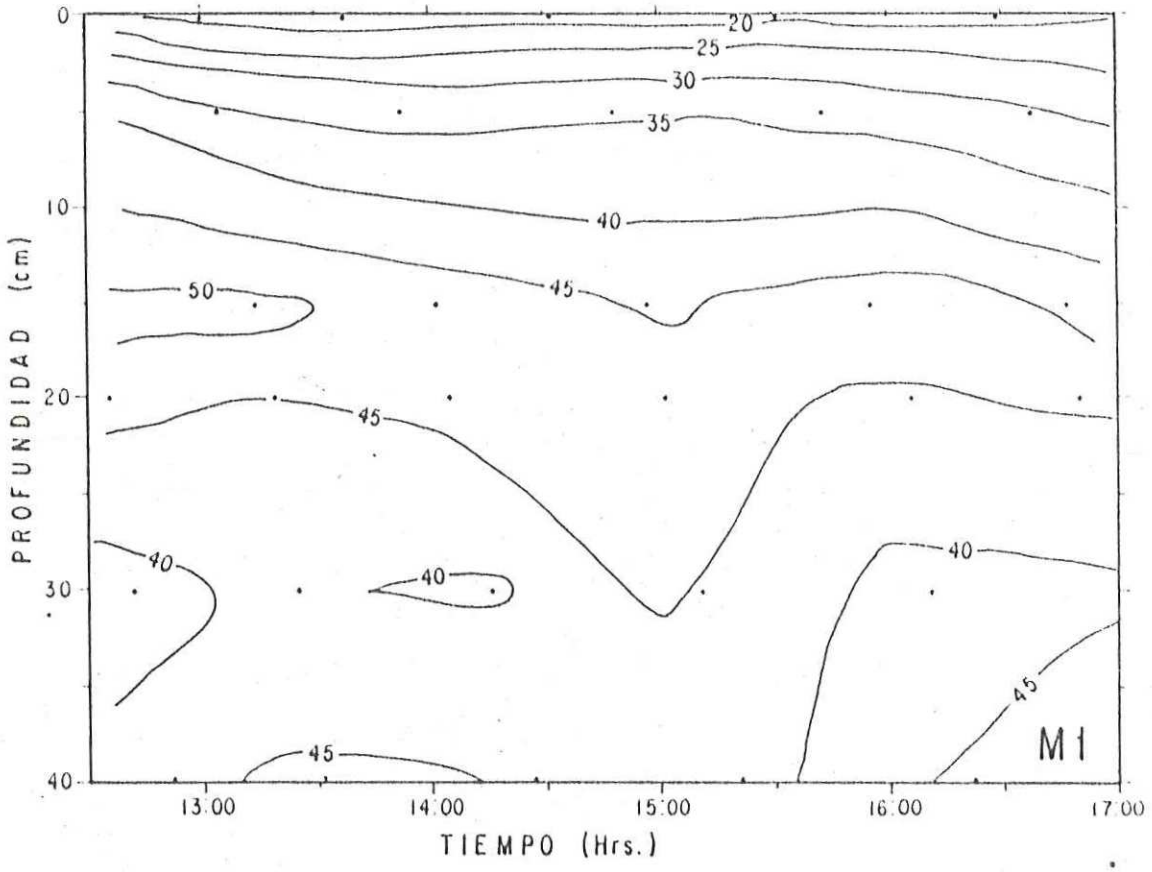

FIGURA 9 Series de tiempo de PO_4 (µM) para el primer muestreo, realizado el 11 de junio.

valores fluctuaron entre 38 y 47 µM. Dentro del sedimento, las menores variaciones en el tiempo para este muestreo fueron a los 20 cm (43 a 48 µM) (Fig. 9). Durante el segundo muestreo PO_4 fue en general menor que en el dia anterior (Fig. 10). En éste muestreo encontramos un máximo a los 5 cm, un minimo a los 15 y un aumento con la profundidad hasta alcanzar a los 40 cm valores mas altos que a los 5 cm. Los mayores cambios de la concentración en el periodo de muestreo se registraron a los 40 cm (26 a 45 µM), mientras que los menores cambios ocurrieron a los 20 cm (21 a 23 µM). El tercero y cuarto muestreos se llevaron a cabo en periodo de mareas vivas (Fig. 4). En ambos los valores máximos se encontraron a 5 cm de profundidad. En el tercer muestreo los valores a 0 cm variaron de 2 a 7 µM, aumentando hasta alcanzar valores entre 56 y 79 µM a 5 cm (Fig. 11). A 20 cm se encontró un minimo después de las 11 hrs. en donde la variación con el tiempo también fue la minima (13 a 15 µM). Debajo de los 20 cm las concentraciones aumentaron, hasta alcanzar un rango de 21 a 29 µM a 30 cm (Fig. 11). Durante el cuarto muestreo, el incremento de PO_4 de 0 a 5 cm fue mas intenso que en el tercer muestreo (Fig. 11 y 12). A los 0 cm PO_4 varió de 3 a 8 µM alcanzando valores entre 71 y 93 µM a los 5 cm. El minimo de concentraciones se encontró a 20 cm (44 a 56 µM), alcanzandose valores mas altos a 30 cm (52 a 67 µM). En el tiempo las máximas variaciones se presentaron a los 10 cm (28 a 61 µM) (Fig. 12).

El muestreo 8 fue realizado al final de un periodo de

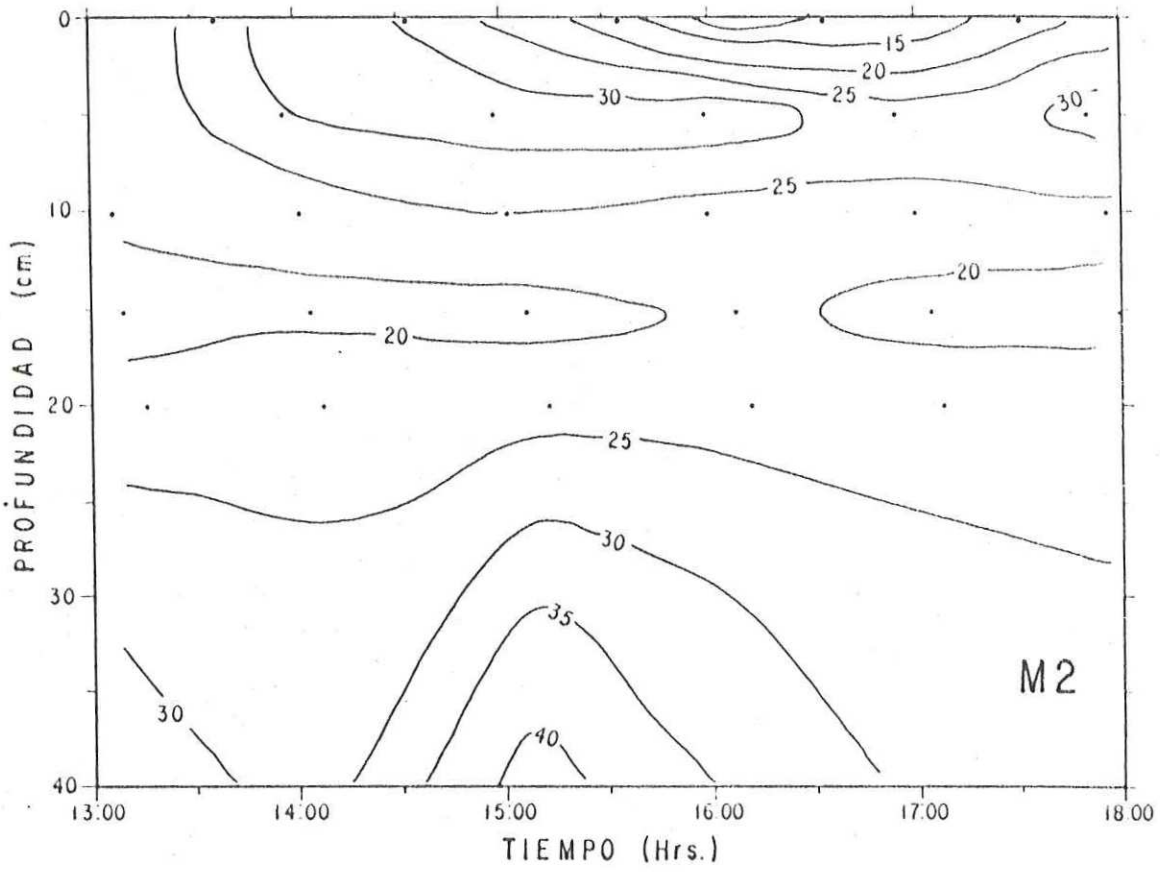

FIGURA 10 Series de tiempo de PO_4 (μM) para el segundo muestreo, realizado el 13 de junio.

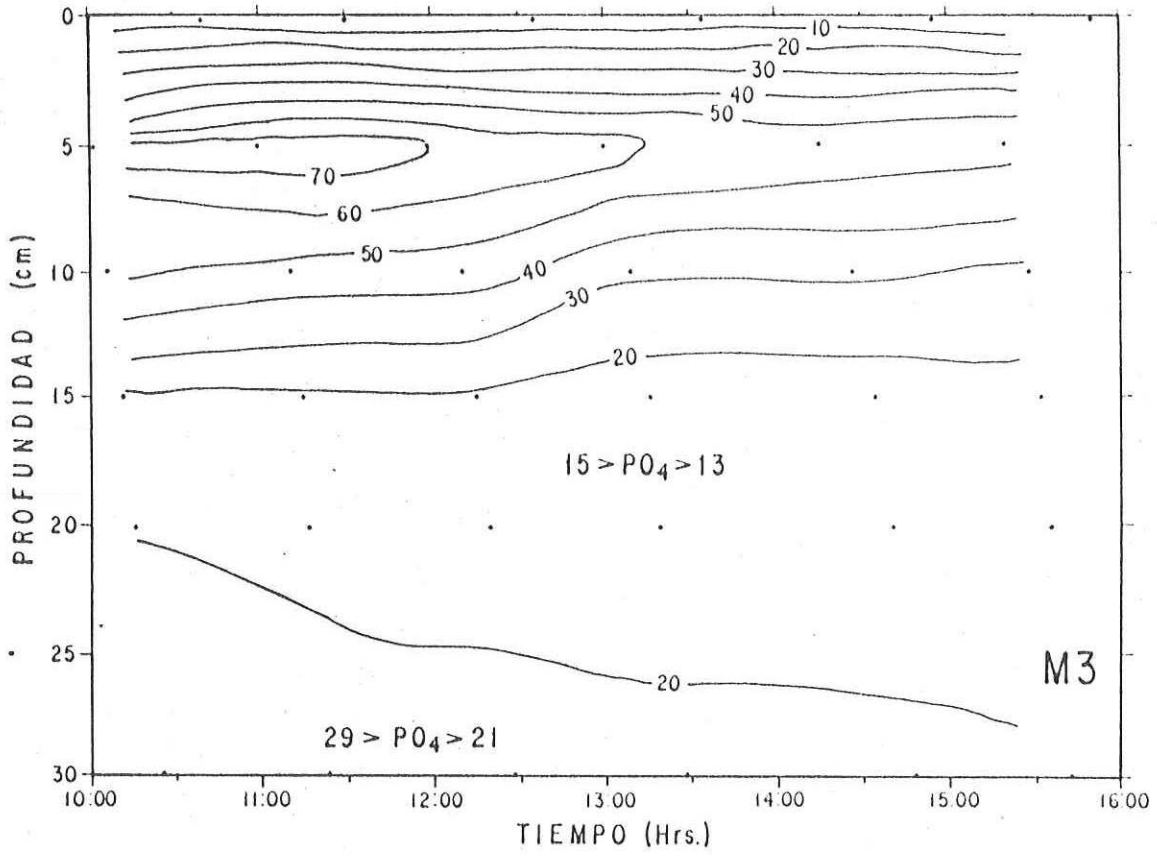

FIGURA 11. Series de tiempo de PO_4 (μM) para el tercer muestreo, realizado el 23 de junio.

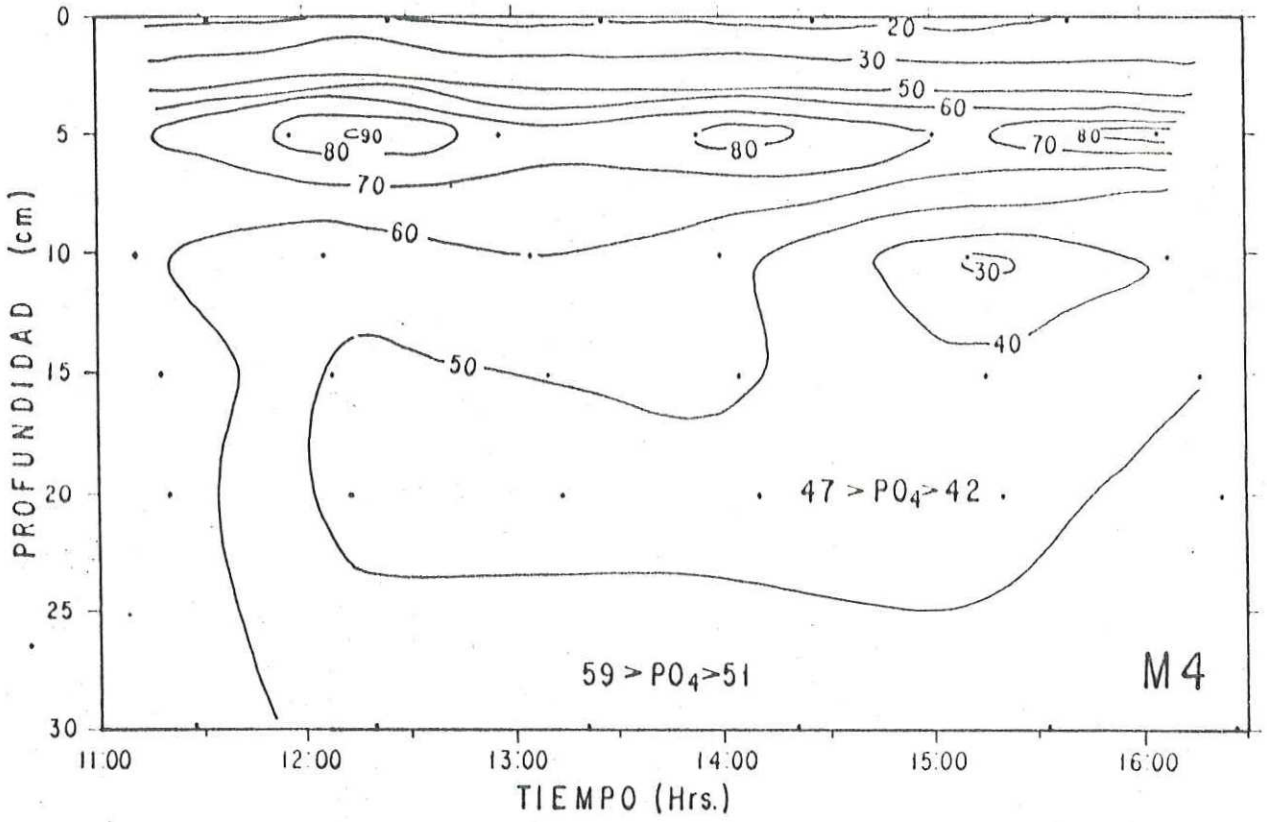

FIGURA 12. Series de tiempo de PO_4 (µM) para el cuarto muestreo, realizado el 24 de junio.

mareas vivas (Fig. 4) pero en la franja correspondiente a la marisma media (Fig. 3). En éste muestreo el incremento de los 0 a los 5 cm fue mínimo, haciendose este bastante mas pronunciado de los 5 a los 10 cm (Fig. 13). De un intervalo de 5 a 11 µM a 5 cm aumentó hasta un intervalo de 16 a 68 µM a los 10 cm. El mínimo a profundidades intermedias se registró a los 30 cm (10 a 31 µM) y de ahí los valores se elevaron hacia los 40 cm donde también se registró la máxima variación en el tiempo (12 a 74 µM) (Fig. 13).

Durante el quinto muestreo, en que los muestreadores a 30 cm se colocaron en una línea paralela a la de playa, no se encontró un patrón definido en la distribución de PO_4 entre los distintos colectores (Fig.14 M5). Lo que sí se observó fue una disminución de PO_4 hacia la parte intermedia del muestreo y un aumento al final del mismo. El muestreador mas alejado del resto del grupo (muestreador G) (Fig. 14 M5) presentó en general los valores mas altos al inicio y al final del período de colecta, siendo además el mas variable a lo largo del muestreo, presentando valores entre 24 y 103 µM. El colector B presentó valores entre 37 y 70 µM siendo así el menos variable. Durante el sexto muestreo no se observó una tendencia clara de PO_4 con respecto al tiempo, ni con respecto a la posición entre los tubos colectores (Fig. 14 M6), los cuales fueron colocados en una línea perpendicular a la de playa. La distribución de las concentraciones en éste muestreo fue repetitiva a lo largo del tiempo, siendo el colector A el mas variable, y el colector B (colocado a 7 cm

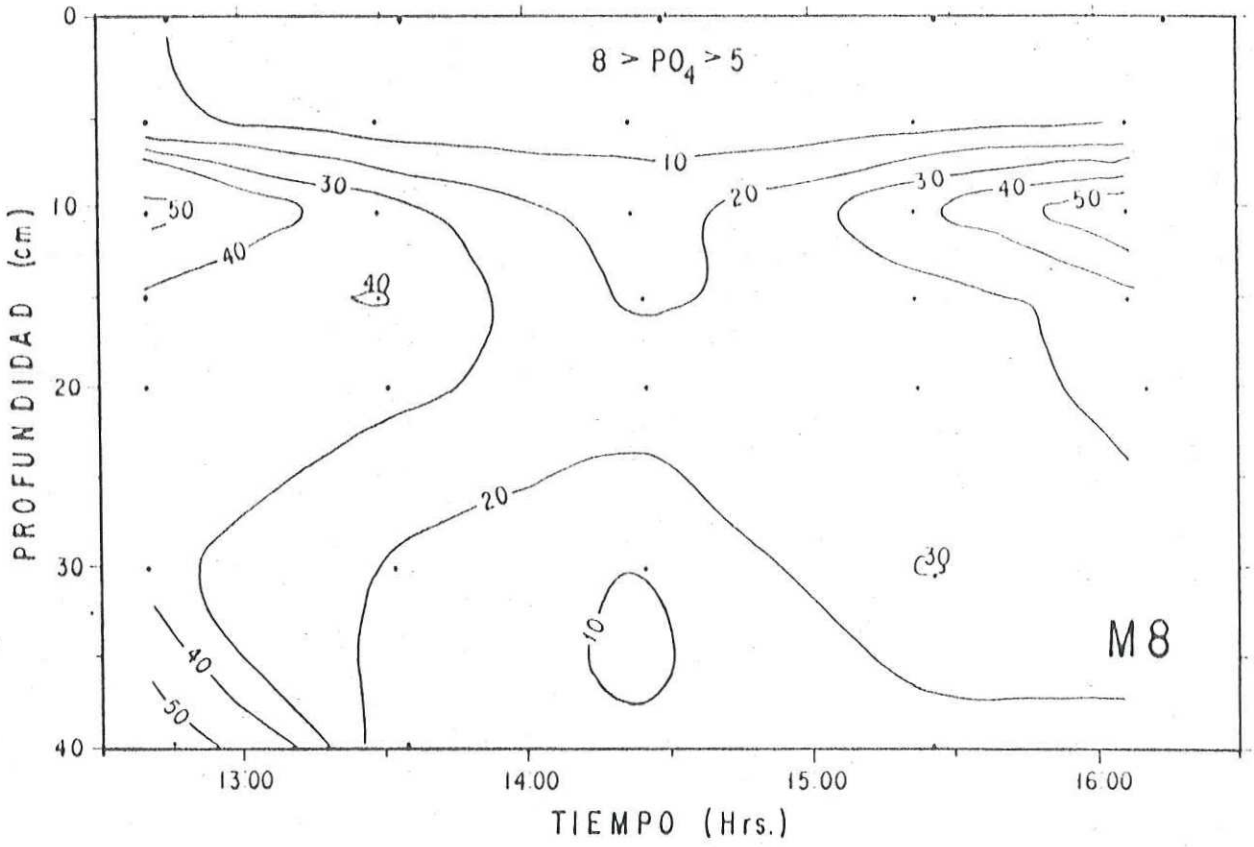

FIGURA 13. Series de tiempo de PO_4 (μM) para el octavo muestreo, realizado el 25 de julio.

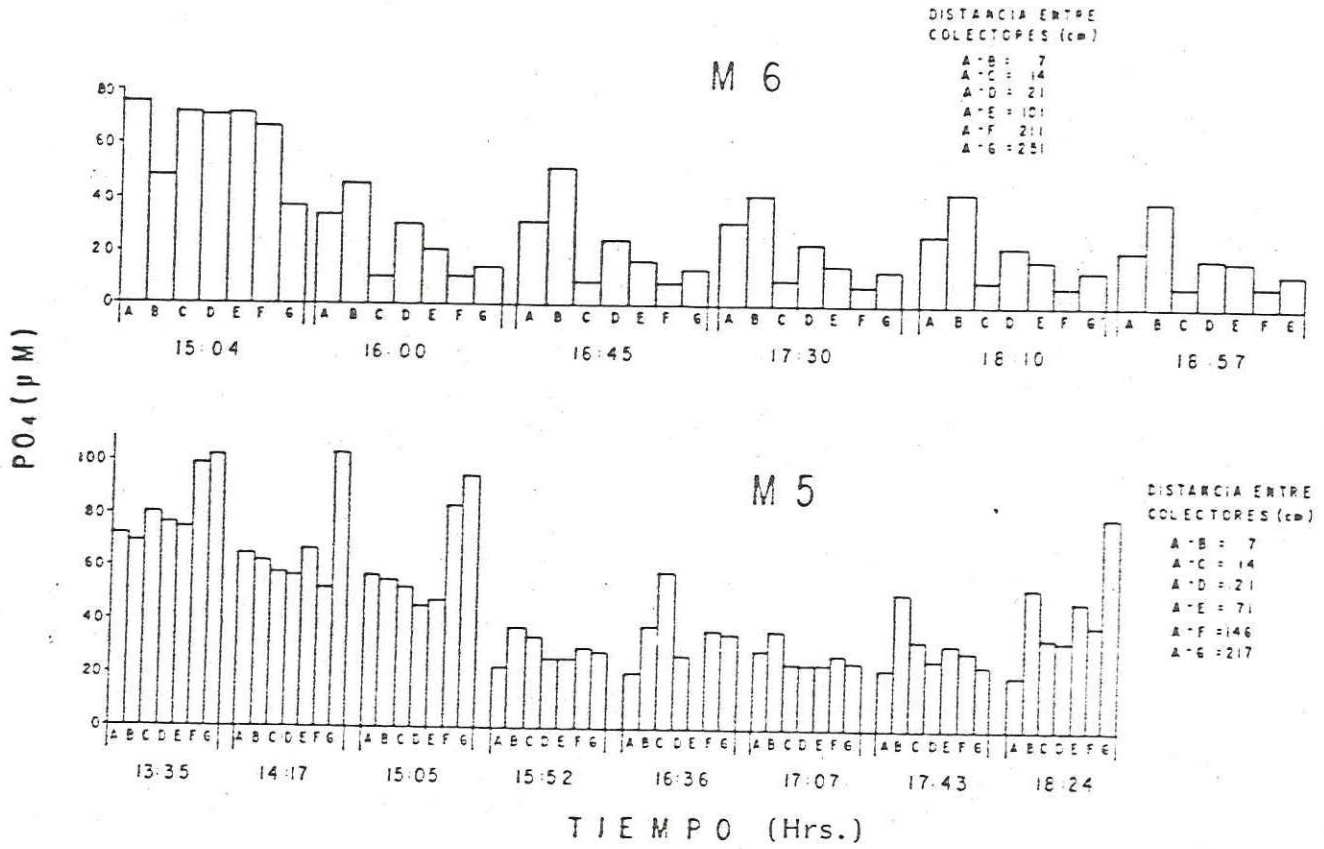

FIGURA 14 Series de tiempo de PO_4 (μM) para el quinto (M5) y sexto (M6) muestreos en que se colocaron 7 tubos colectores a 30 cm de profundidad en línea paralela y perpendicular a la línea de playa respectivamente. El colector A en el M6 fue el mas cercano a la línea de playa.

del A) el menos variable (Fig. 14 M6). Las variaciones de PO_4 en el tiempo durante el séptimo muestreo no presentaron un patrón definido (Fig. 15). En los resultados de los colectores colocados a 30 cm se ejemplifica uno de los problemas que se presentaron ocasionalmente durante los muestreos cuando algunos tubos no colectaron agua. En la parte superior de la figura 15 podemos observar que a diferencia de las muestras dentro del sedimento, en la superficie PO_4 varió en forma inversa a la marea.

En el primer muestreo NH_4 aumentó de los 0 cm, con un rango de 15 a 96 µM, hasta los 5 cm con rango de 79 a 145 µM durante el tiempo de colecta (Fig. 16). NH_4 disminuyó a los 10 cm y aumentó hasta alcanzar el máximo a 20 cm en donde encontramos valores entre 180 y 243 µM. Debajo de los 20 cm casi no hubo variación con respecto a la profundidad. La menor variación en el tiempo se presentó a los 40 cm, con valores entre 125 y 169 µM (Fig. 16). Durante el segundo muestreo las variaciones de NH_4 fueron menores que en el primero, tanto en sentido vertical como en el tiempo (Fig. 16 y 17). En éste segundo muestreo encontramos dos máximos, uno a 10 cm con valores entre 24 y 54 µM y el otro a 30 cm con NH_4 entre 10 y 90 µM. También a los 30 cm se registraron las máximas variaciones en el tiempo, mientras que las menores fueron a 20 cm en donde NH_4 varió de 13 a 26 µM (Fig. 17). NH_4 disminuyó paulatinamente con el tiempo hasta la última hora en que se registró un ligero aumento. El gradiente entre 0 y 5 cm durante el tercer muestreo fue mas intenso que en

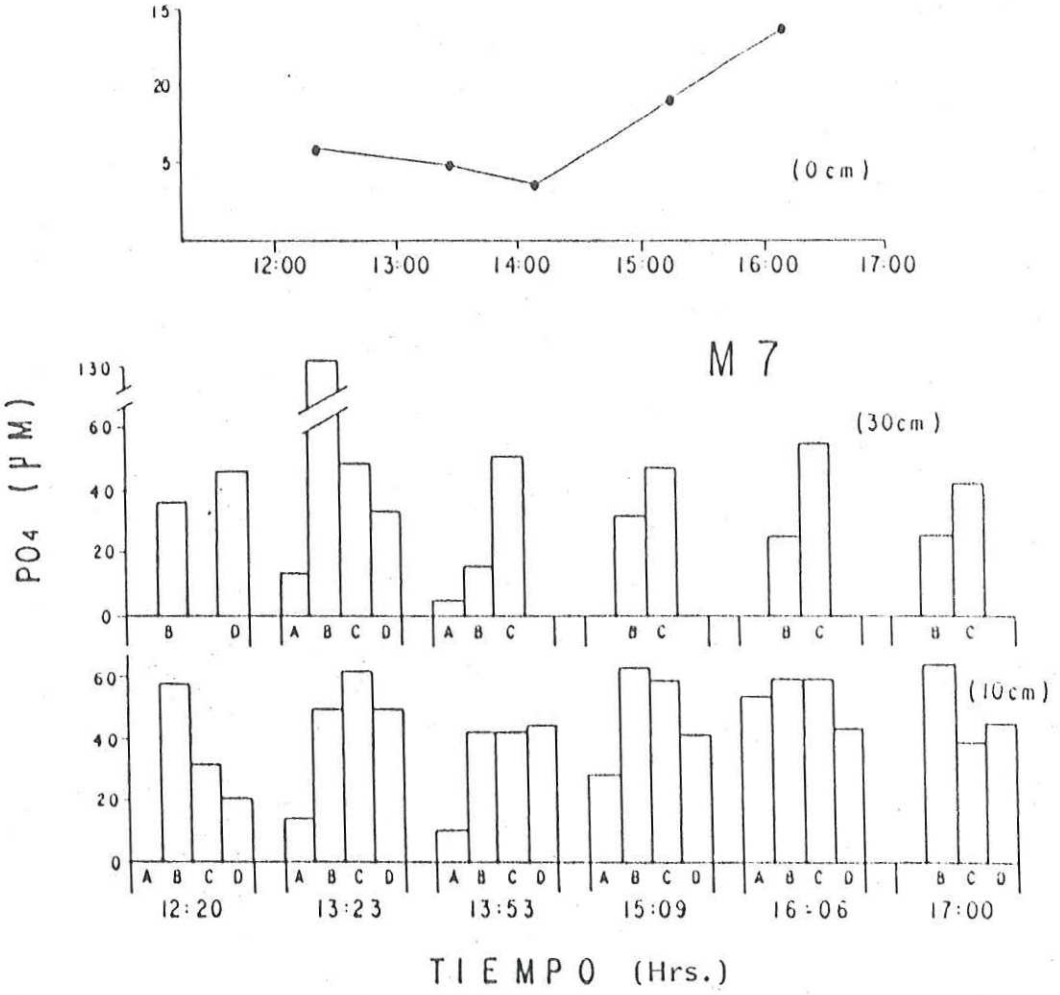

FIGURA 15 Series de tiempo de PO_4 (μM) para el séptimo muestreo en el que se colocaron 4 tubos a 10 cm y 4 tubos a 30 cm dentro de una área de 1 m^2. La gráfica superior muestra el comportamiento de PO_4 en la superficie.

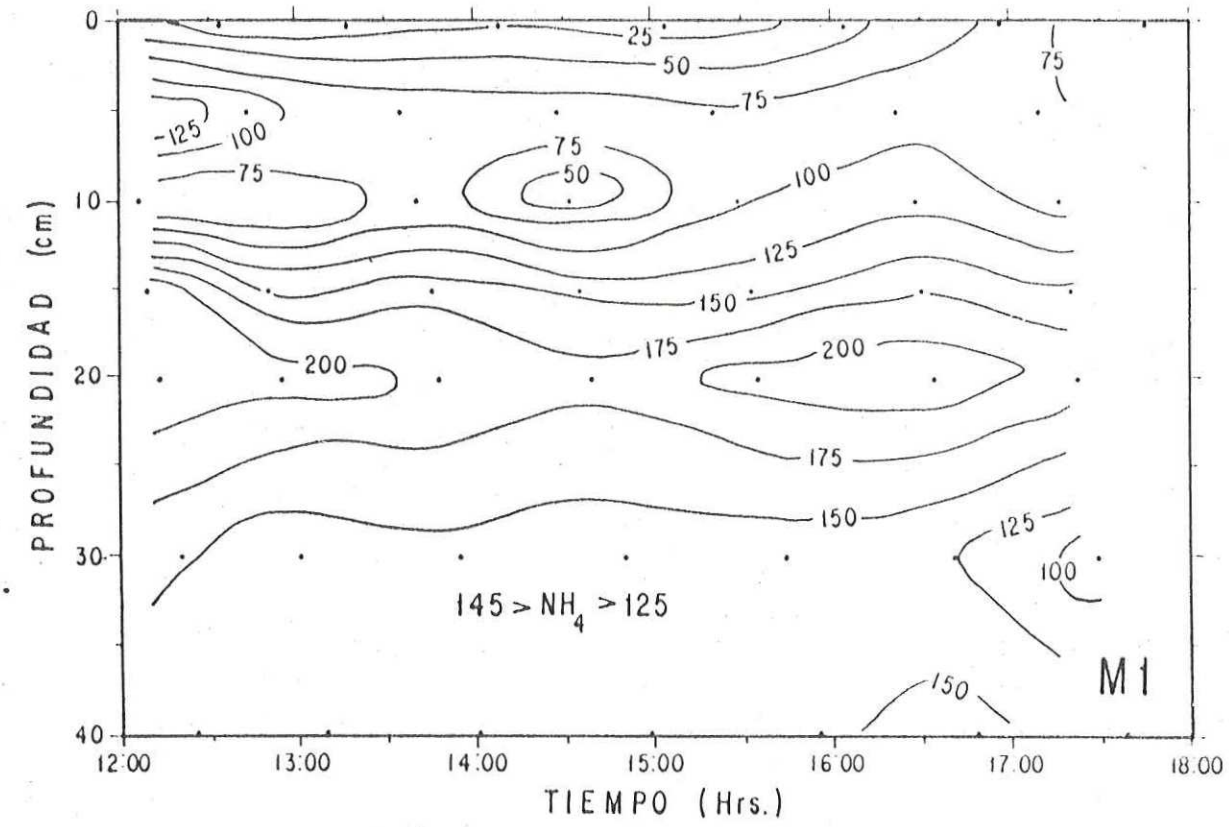

FIGURA 16. Series de tiempo de NH_4 (μM) para el primer muestreo.

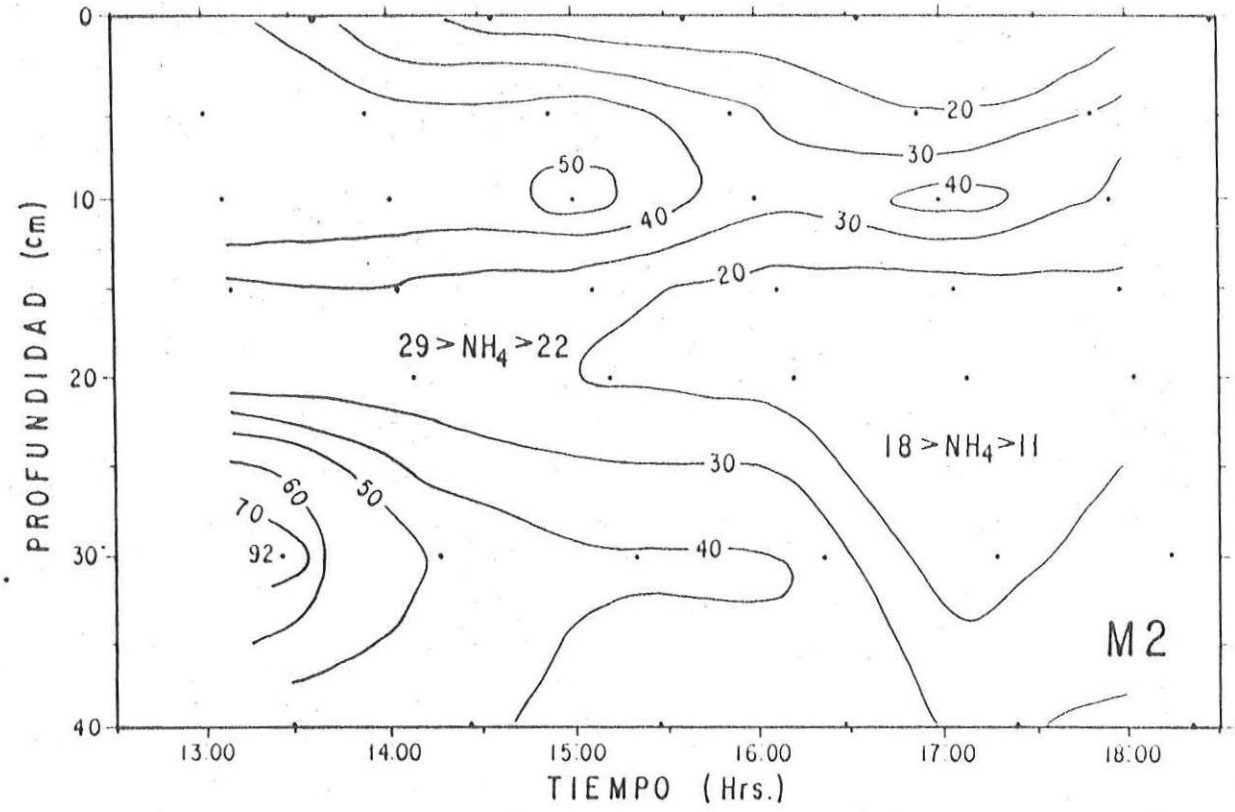

FIGURA 17. Series de tiempo de NH_4 (μM) para el segundo muestreo.

los anteriores, encontrandose valores superficiales entre 2 y 16 µM y a 5 cm entre 82 y 530 µM (Fig. 18). También a 10 cm NH_4 fue alto (86 a 400 µM), y disminuyó hasta alcanzar mínimos a 20 cm con rango de 19 a 55 µM, aumentando nuevamente hasta 40 cm donde NH_4 varió entre 29 y 126 µM. A las 12 hrs aproximadamente se observó un máximo de NH_4 en casi todas las profundidades (Fig. 18), y posteriormente disminuyó y casi no varió después de las 14 hrs. En el cuarto muestreo obtuvimos entre 3 y 38 µM a 0 cm, NH_4 aumentó drásticamente hacia los 5 cm donde el rango fue de 285 a 530 µM (Fig. 19). A 15 cm las variaciones en el tiempo fueron casi tan intensas como a 5 cm pero con valores de NH_4 menores (77 a 318 µM). Los mínimos subsuperficiales se registraron a los 30 cm, fluctuando entre 83 y 132 µM, observandose un ligero incremento a 40 cm donde NH_4 varió entre 85 y 230 µM. Las menores variaciones de NH_4 durante el muestreo ocurrieron a 30 cm. Durante el octavo muestreo realizado en el canal de la marisma media NH_4 fue consistentemente menor que en los otros muestreos (Fig. 16 a 20). En este muestreo no encontramos un gradiente entre 0 y 5 cm, y éste se manifiesta entre 5 y 10 cm, encontrandose generalmente en ésta última profundidad los valores más elevados (Fig. 20). NH_4 disminuyó hasta alcanzar mínimos a 20 cm (3 a 18 µM) y aumentó a los 40 cm, presentandose también en esta profundidad las mayores variaciones (3 a 180 µM). La variación de NH_4 con respecto a la altura de la marea en este punto de muestreo fue bastante definida, observandose una relación inversa con la misma.

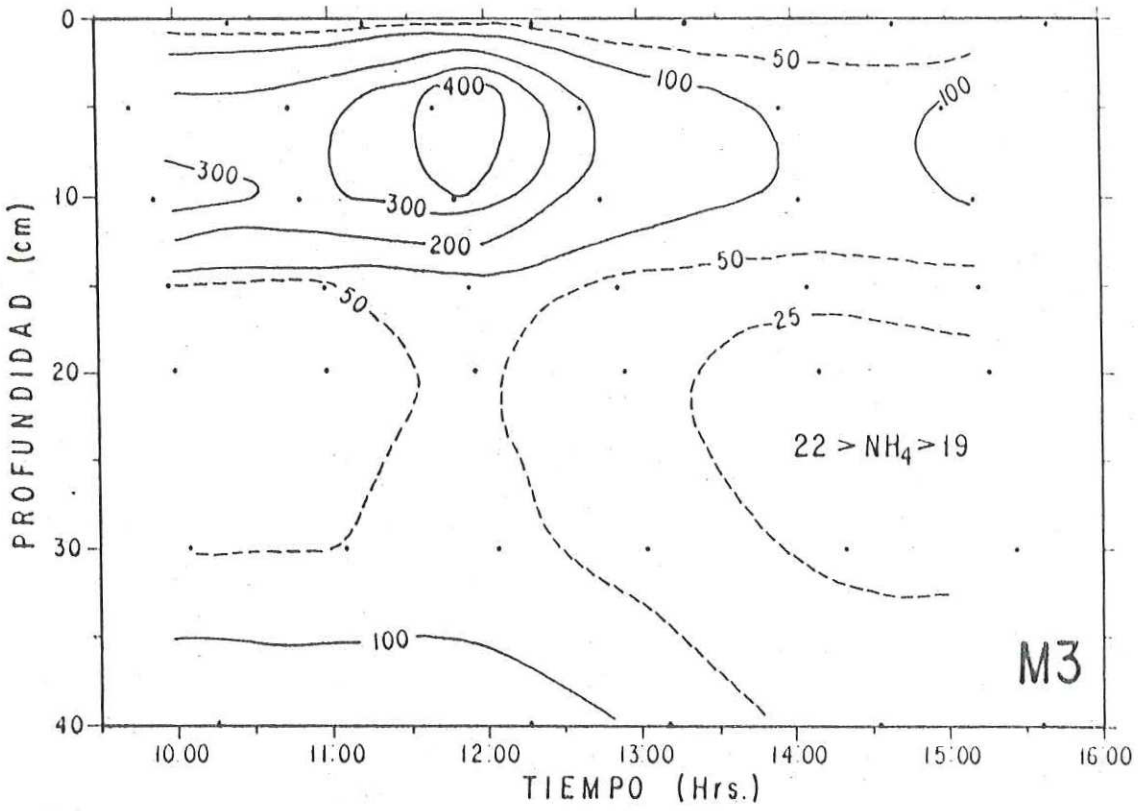

FIGURA 18. Series de tiempo de NH_4 (μM) para el tercer muestreo.

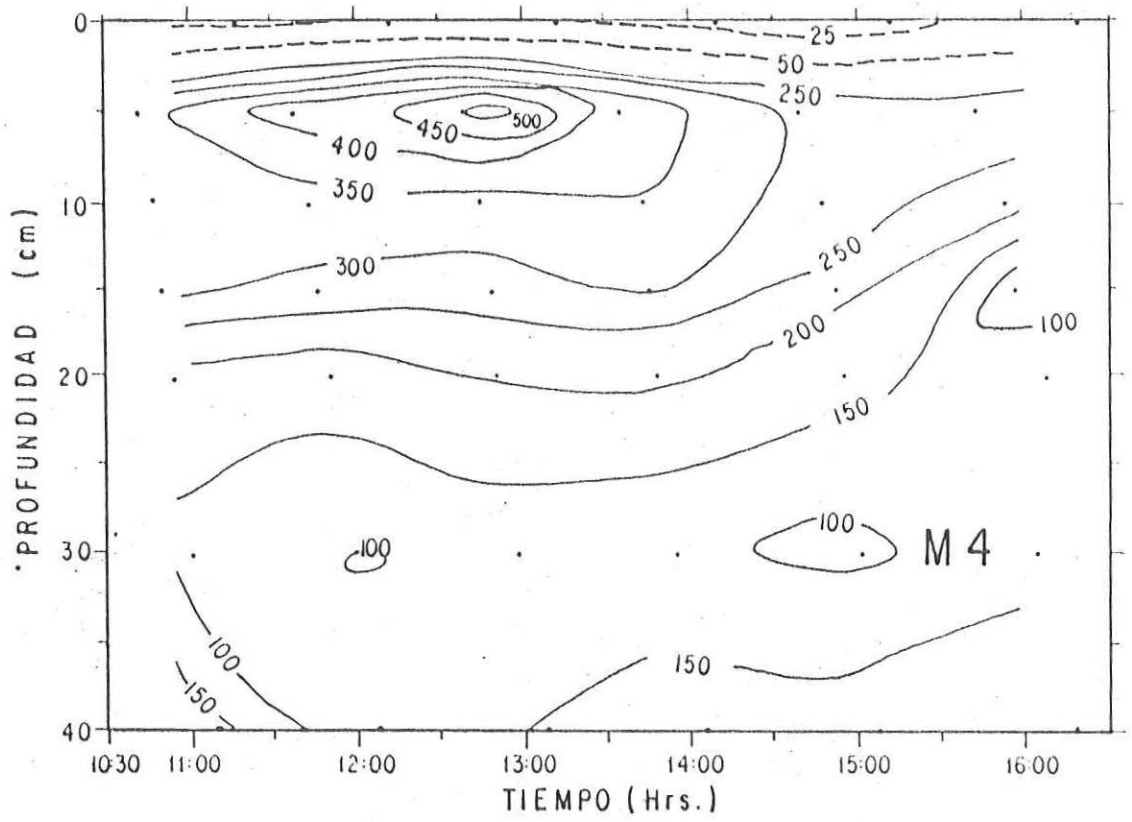

FIGURA 19. Series de tiempo de NH_4 (μM) para el cuarto muestreo.

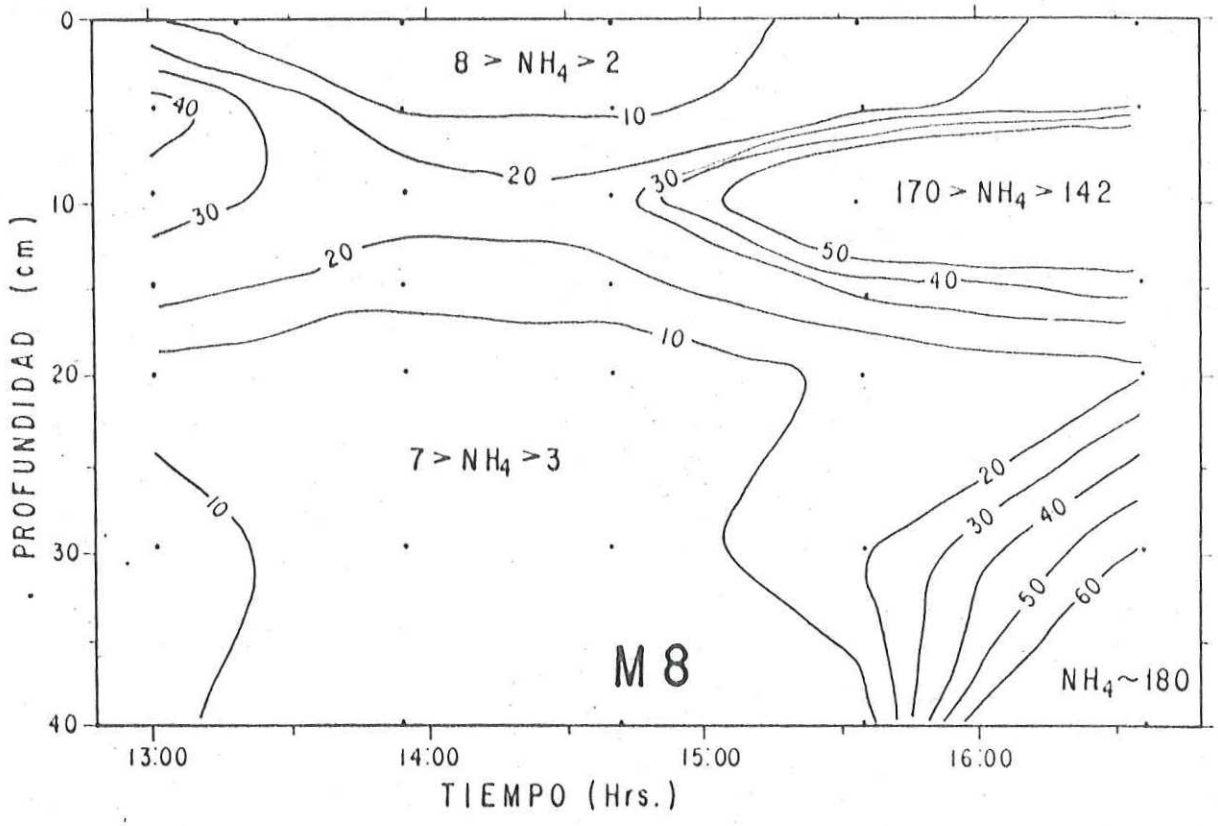

FIGURA 20. Series de tiempo de NH_4 (μM) para el octavo muestreo.

En el quinto muestreo, con los siete colectores colocados a 30 cm de profundidad se observó un comportamiento similar al del octavo muestreo entre NH_4 y la altura de la marea (Fig. 21 M5). Al igual que PO_4, NH_4 fue consistentemente mas alto en el colector G en el que se registraron valores hasta de 2000 µM (Fig. 21 M5). Asi también, en el colector B se registraron los valores mas pequeños, y en general, no hubo relación entre NH_4 y la posición entre los tubos colectores. En el sexto muestreo realizado un dia después del quinto y bajo condiciones similares de mareas (Fig. 4), los valores de NH_4 fueron notablemente diferentes. En éste muestreo no se observó una relación clara entre NH_4 y la altura de marea, y al igual que en el anterior no hubo relación entre la posición de los colectores y NH_4 (Fig. 21 M6). En el séptimo muestreo el NH_4 tanto para los 10 como para los 30 cm fue menor que en los dos anteriores, encontrandose muchos valores por debajo de 10 µM, aunque aumentaron al final del muestreo (Fig. 22). Durante las primeras horas de colecta no hubo grandes diferencias de NH_4 entre ambas profundidades, y el comportamiento de NH_4 entre los tubos colectores a una misma profundidad no presentó un patrón definido. En ambas muestras se observó un aumento de las concentraciones al bajar la marea.

Durante el primer muestreo la salinidad disminuyó con el aumento en la profundidad (Fig. 23). A 0 cm se registraron valores entre 45 y 46‰, mientras que a 10 cm las variaciones

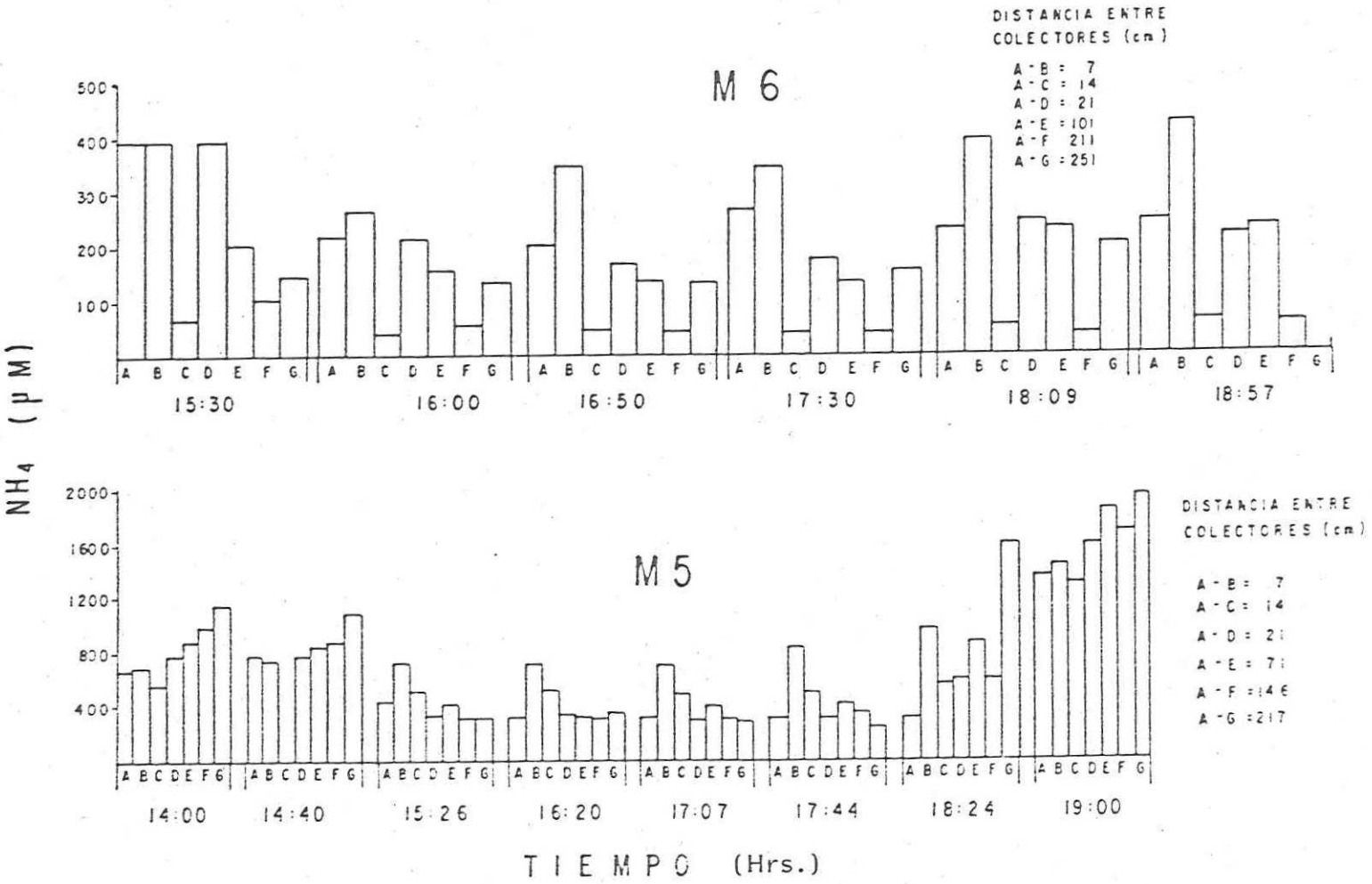

FIGURA 21 Series de tiempo de NH_4 (μM) para el quinto (M5) y sexto (M6) muestreos. El colector A en el M6 fue el mas cercano a la línea de playa.

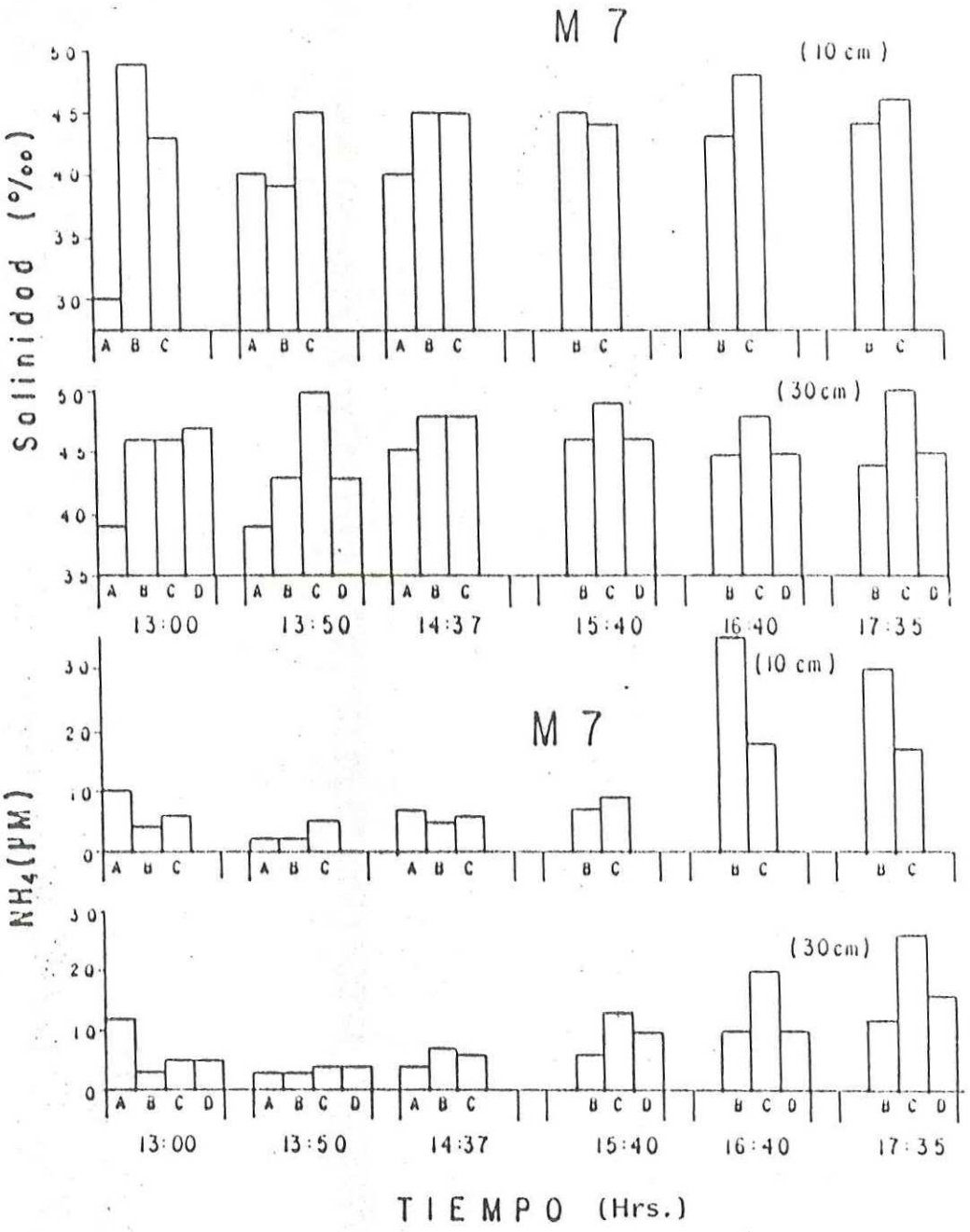

FIGURA 22 Series de tiempo de S°/$_{oo}$ y NH_4 para el séptimo muestreo.

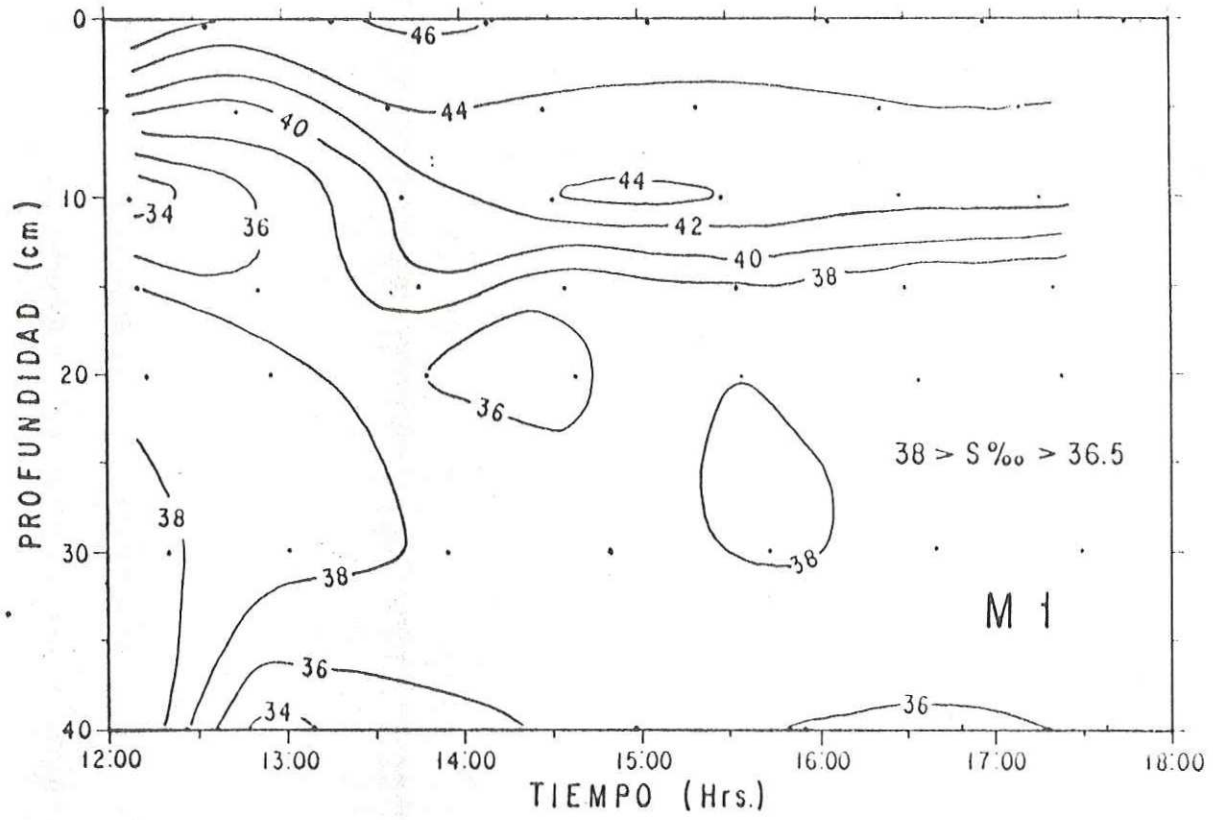

FIGURA 23. Series de tiempo de S°/oo para el primer muestreo.

durante el muestreo fueron mas intensas, con valores entre 32.5 y 44‰. Durante las primeras horas del muestreo se registraron las variaciones mas intensas en todas las profundidades, y después de las 15 hrs casi no variaron (Fig. 23). 30 cm fue la profundidad de menor variación de S‰, encontrandose casi todos los valores en 38‰, a excepción de la segunda hora del muestreo cuando fue de 39‰. En los primeros 15 cm se registraron las variaciones mas intensas en sentido vertical, y por debajo de ésta profundidad S‰ fue mas homogénea. En el segundo muestreo la distribución vertical de S‰ fue menos definida que en el primero (Fig. 24 y 23). En superficie varió entre 40 y 46.5‰ y a 10 cm se presentaron los menores cambios (43.5 a 45‰) con el tiempo. La mayor variación fue registrada a 15 cm donde se presentó un intervalo entre 34.5 y 45‰. Después de las 14 hrs la S‰ entre 20 y 30 cm casi no varió, y disminuyó entre 30 y 40 cm. El comportamiento de S‰ en cada profundidad no presentó un patrón definido con respecto al cambio en la altura de la marea (Fig. 24). El intervalo de S‰ a 0 cm en el tercer muestreo fue de 42.5 a 48‰, disminuyendo a los 10 cm con valores entre 42 y 44.5‰ (Fig. 25). A los 15 cm S‰ prácticamente no varió, manteniendose en 44‰. Los valores minimos se registraron a 40 cm con intervalo de 37 a 46 ‰. La S‰ superficial en el cuarto muestreo varió de 38.5 a 46.5‰, a 10 cm de 40 a 43.5, y debajo de los 10 hasta los 30 cm permaneció alrededor de 43‰ (Fig. 26). De 30 a 40 cm disminuyó notablemente, encontrandose a ésta última

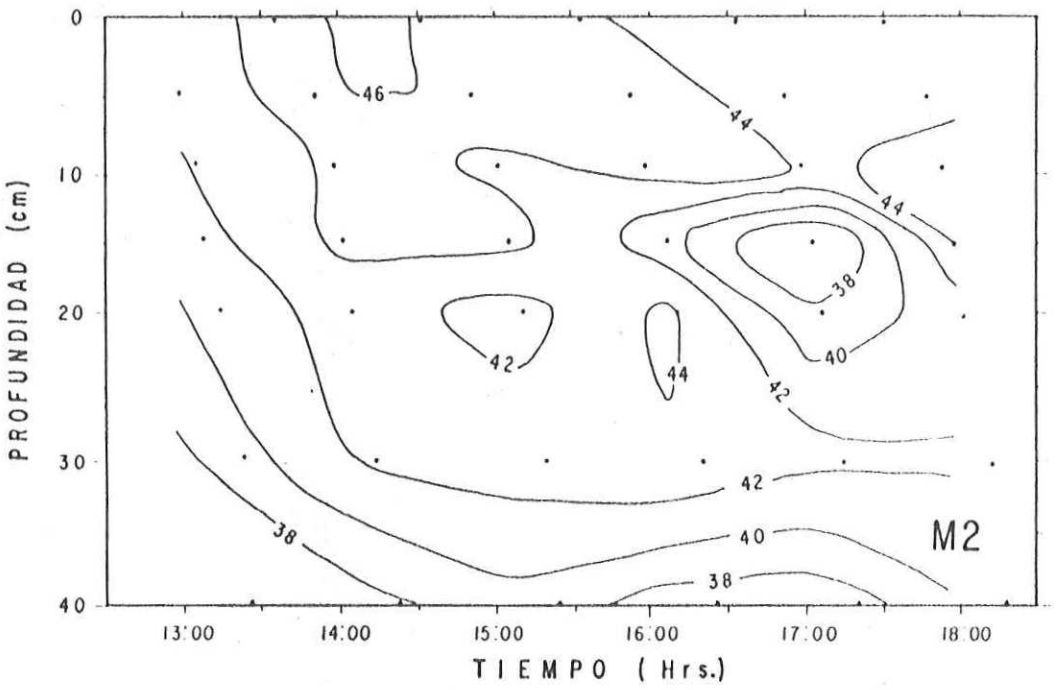

FIGURA 24 Series de tiempo de S°/$_{oo}$ para el segundo muestreo.

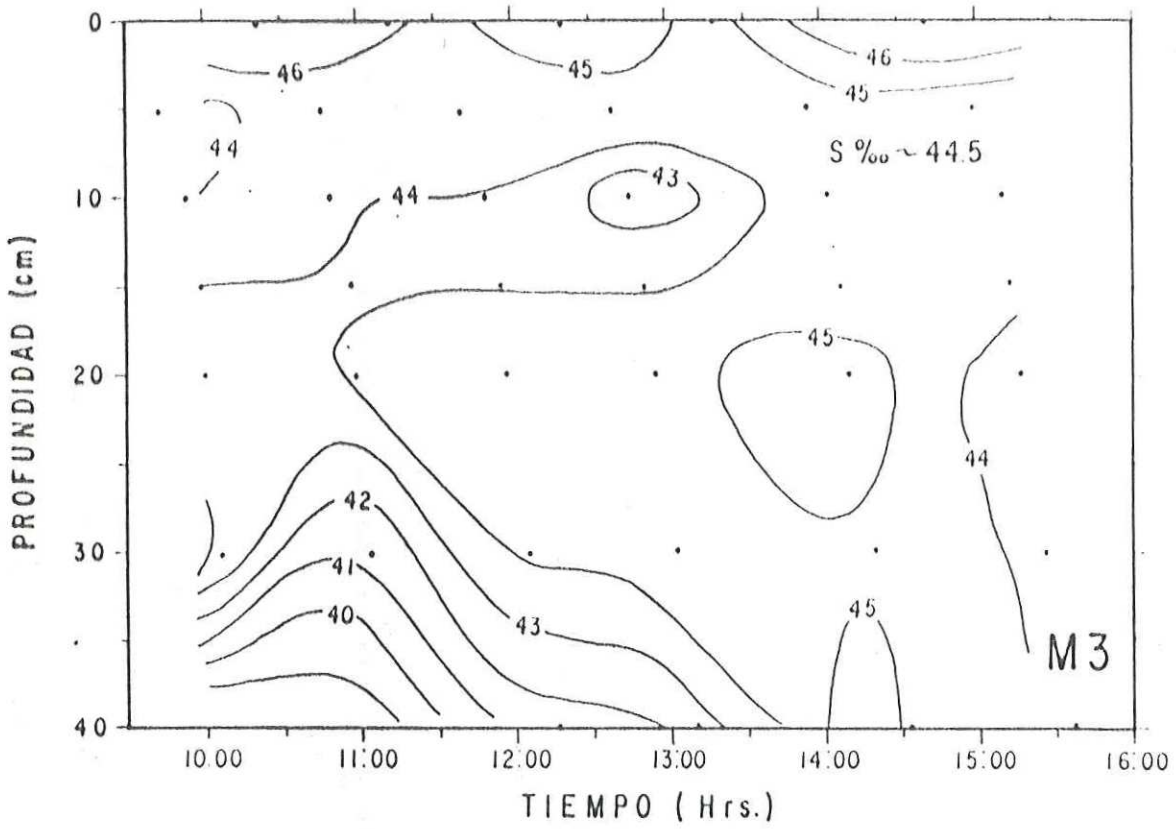

FIGURA 25. Series de tiempo de salinidad para el tercer muestreo.

profundidad valores entre 34 y 39.5‰. Tanto en el tercero como en el cuarto muestreo la S‰ no varió en forma coherente con respecto a la altura de la marea. Durante el octavo muestreo la distribución vertical de S‰ fue mas homogénea que en los anteriores muestreos. Los valores promedio para cada profundidad oscilaron entre 42 y 44‰, encontrandose las mayores variaciones en el tiempo a 20 cm y a 40 cm, con intervalo de 38.5 a 46‰a 20 cm y de 39.5 a 47‰ a 40 cm. En general, la S‰ mostró una relación inversa con la altura de la marea (Fig. 27 y 4 M8), disminuyendo desde el inicio hasta aproximadamente las 14:30 hrs y aumentando hacia el final del mismo.

En el quinto muestreo no se observó una tendencia definida de S‰ en el tiempo (Fig. 28 M5), ni con respecto a la posición entre los colectores. Consistentemente en el colector B se registraron los valores mas altos, siempre iguales o mayores que 40‰ En el sexto muestreo, durante las primeras horas se encontraron algunas diferencias entre la S‰ en los diferentes colectores, pero generalmente no fueron mayores a 2‰, y tales diferencias casi desaparecieron en la segunda mitad del muestreo (Fig. 28 M6). Durante este muestreo, la S‰ casi no varió en el tiempo, permaneciendo alrededor de 36‰. Durante el séptimo muestreo S‰ varió entre 39 y 50‰, presentandose generalmente valores mas altos a 10 cm que a 30 cm. No se observó en este muestreo una relación entre S‰ y la altura de la marea (Fig. 22).

Los coeficientes de variación de las concentraciones de

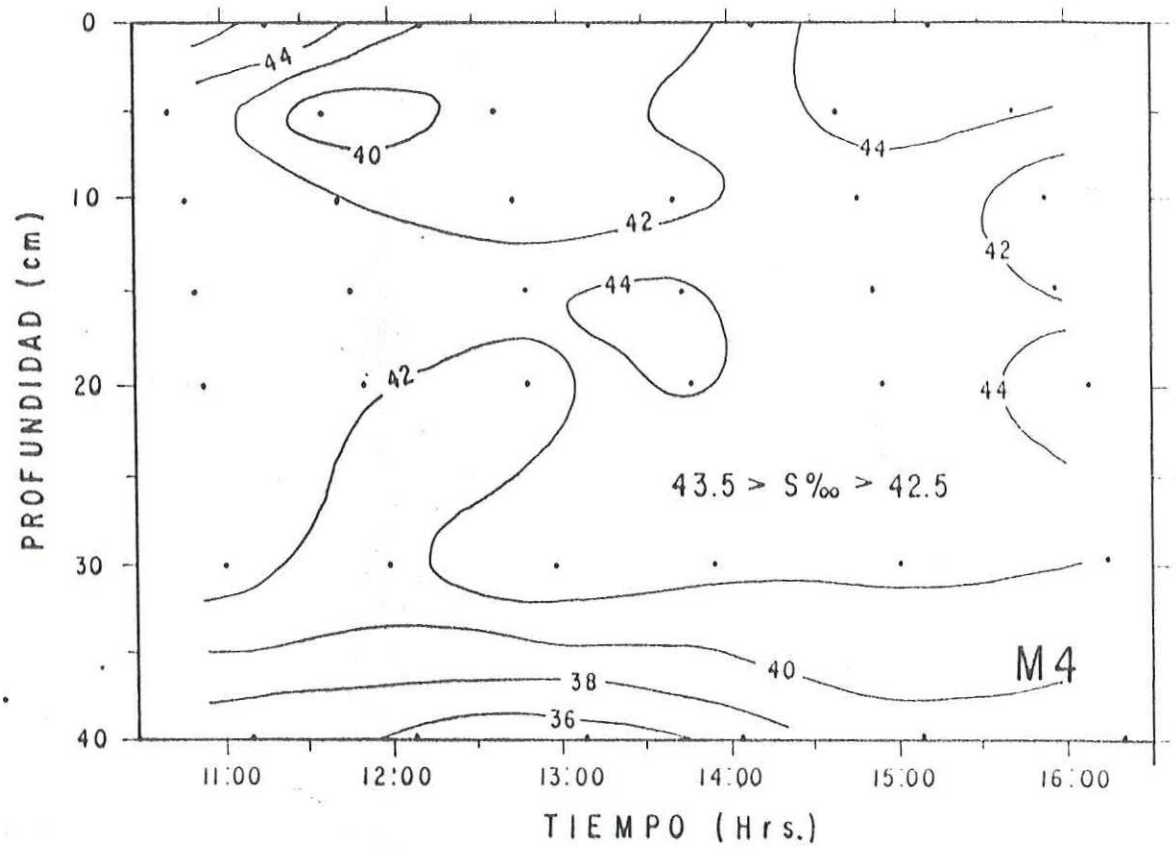

FIGURA 26. Series de tiempo de S°/oo para el cuarto muestreo.

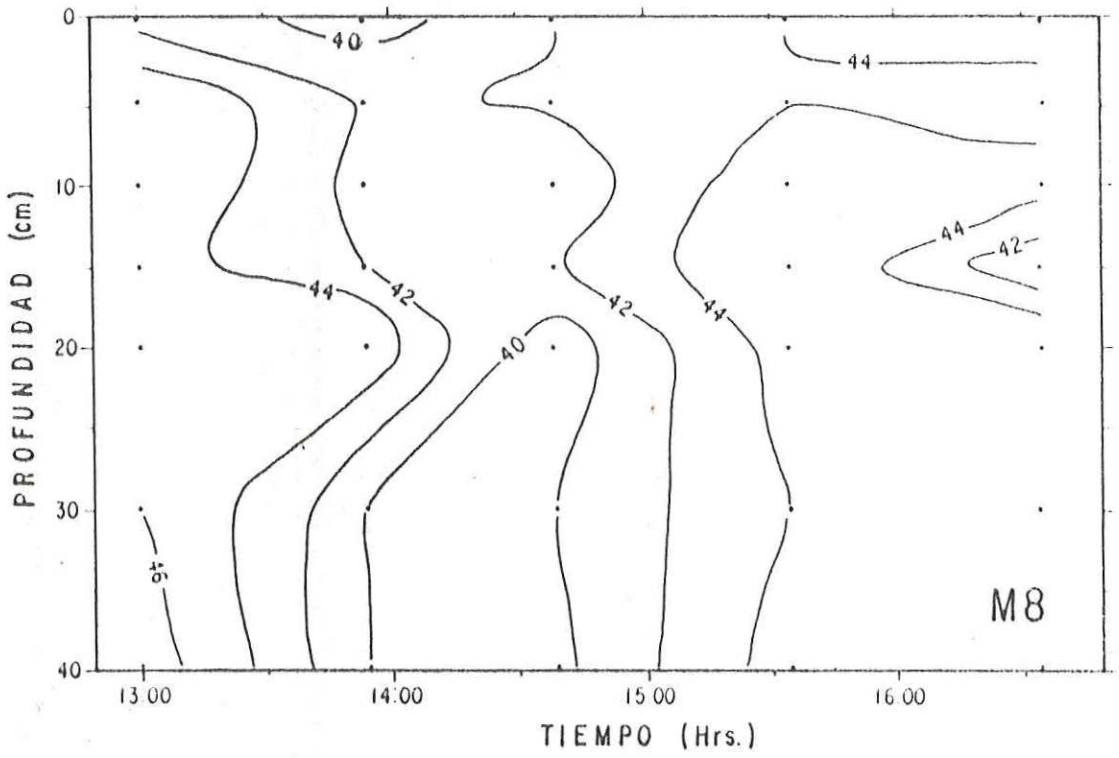

FIGURA 27 Series de tiempo de $S°/_{oo}$ para el octavo muestreo.

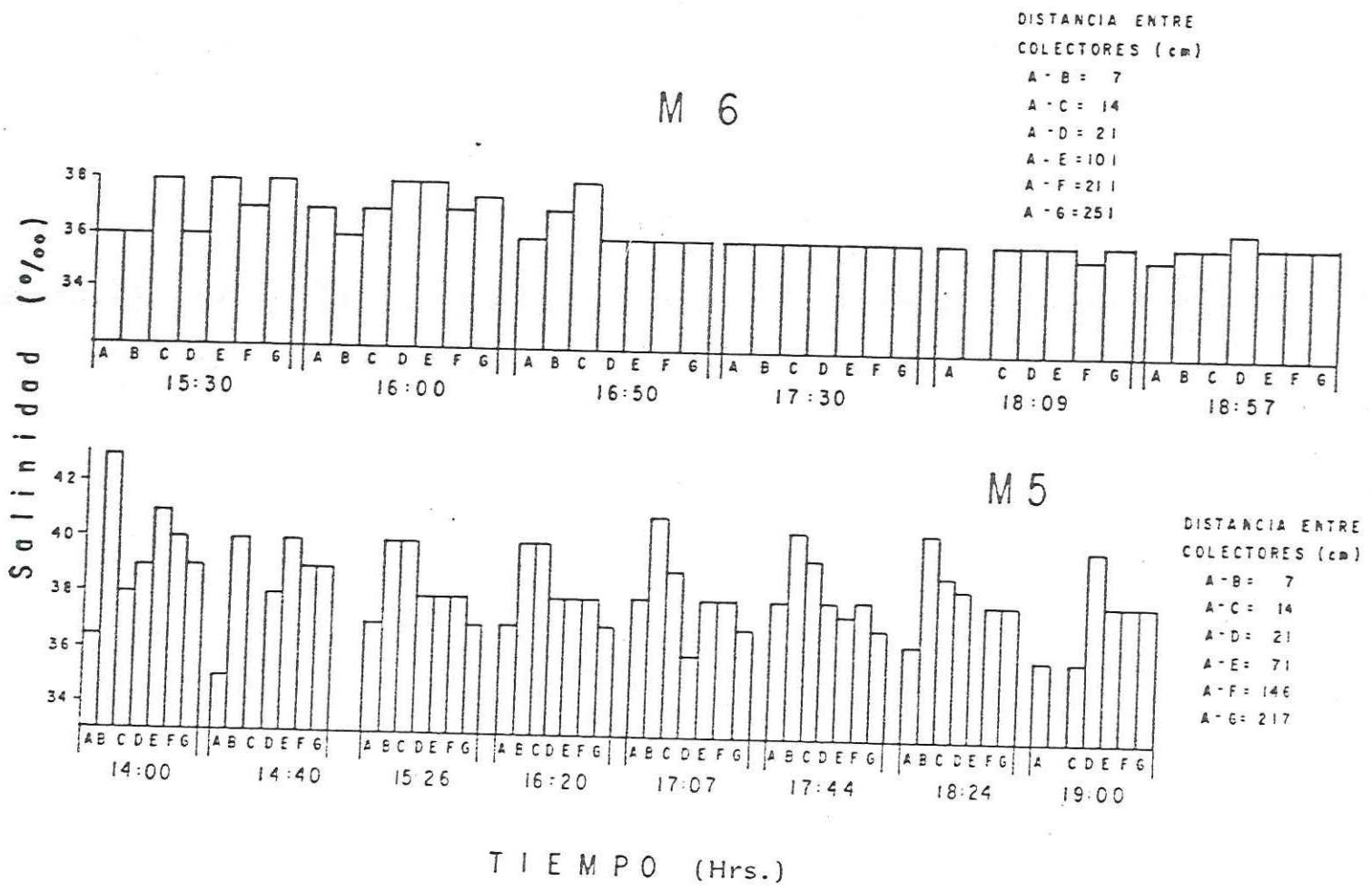

FIGURA 28 Series de tiempo de S°/$_{oo}$ para el quinto y sexto muestreo.

nutrientes para cada profundidad en los muestreos en que se generaron perfiles verticales (tabla III), disminuyeron hacia profundidades intermedias (alrededor de los 20 cm) y aumentaron hacia los 40 cm. En el octavo muestreo éstos coeficientes fueron mas altos, con respecto a los realizados en la marisma baja. Los coeficientes de variación fueron en general mas altos para el NH_4 que para PO_4, y los correspondientes a la S%. fueron los mas pequeños, y los que presentaron una relación menos definida con la profundidad del muestreo (tabla III).

TABLA III. Coeficientes de variación (CV) de PO_4, NH_4 y S°/$_{oo}$ durante el tiempo de cada muestreo en que se generaron perfiles -- verticales.

		M1				M2				M3				M4				M8				
PROFUNDIDAD (cm)		n	$\bar{x}$	s	cv	n	$\bar{x}$	s	cv	n	$\bar{x}$	s	cv	n	$\bar{x}$	s	cv	n	$\bar{x}$	s	cv	
	0	6	9.1	1.5	16	6	20.3	11.2	55	6	50	2.2	44	6	5.2	1.8	35	5	6.8	2.2	32	PO_4
	5	6	35.1	2.9	8	6	31.1	3.9	13	6	67.9	8.0	12	6	81.7	9.8	12	5	7.5	2.2	29	
	10	-	-	-	-	6	22.9	2.0	9	6	39.7	8.9	23	6	49.3	12.4	25	5	43.7	20.8	48	
	15	6	47.8	3.8	7	6	17.9	1.7	9	6	16.9	1.8	11	6	43.8	3.6	8	5	31.5	9.5	30	
	20	6	46.3	3.7	4	6	22.5	0.6	3	6	14.5	0.8	6	6	47.9	4.5	9	5	29.8	4.4	15	
	30	6	40.1	2.8	7	-	-	-	-	6	24.2	3.2	13	6	56.2	5.9	10	4	22.5	10.5	42	
	40	6	43.4	3.1	7	6	31.5	6.6	21	-	-	-	-	-	-	-	-	3	33.7	35.2	104	
	0	7	30	29	97	6	17	8	47	6	8	6	75	6	15	13	87	5	9	9	100	NH_4
	5	7	98	23	23	6	36	12	33	6	236	160	68	6	389	85	22	5	21	17	81	
	10	6	78	33	42	6	42	10	24	6	230	129	56	6	309	41	13	5	79	71	90	
	15	7	166	33	20	6	22	6	27	6	47	21	45	6	249	91	37	5	27	13	48	
	20	7	207	21	10	6	18	5	28	6	30	14	47	6	180	32	18	5	9	6	67	
	30	7	135	30	22	6	43	27	63	6	39	16	41	6	114	21	15	5	20	23	115	
	40	7	142	19	13	6	36	8	22	5	95	54	57	6	179	52	29	5	40	78	195	
	0	7	45.4	0.5	1	6	43.7	2.4	5	6	43.8	2.1	5	6	43.9	3.0	7	5	42.0	2.6	6	S °/oo
	5	7	43.3	1.9	4	6	44.4	1.5	3	6	44.3	0.5	1	6	42.3	2.6	6	5	43.4	1.7	4	
	10	6	41.1	4.5	11	6	44.3	0.5	1	6	43.8	0.9	2	6	41.7	1.4	3	5	43.6	2.9	7	
	15	7	37.4	1.8	5	6	42.3	4.3	10	6	44.1	0.2	1	6	43.3	1.1	3	5	42.9	2.4	6	
	20	7	37.2	1.7	5	6	41.9	2.4	6	6	44.3	1.3	3	6	42.6	1.6	4	5	44.3	3.3	7	
	30	7	38.1	0.4	1	6	41.6	3.0	7	6	43.8	1.6	4	6	42.6	0.5	2	5	43.0	2.8	6	
	40	7	35.7	1.8	5	6	38.1	1.9	5	5	42.1	3.4	8	6	36.8	1.9	5	5	43.3	3.4	8	

V. DISCUSION

Los perfiles verticales de la porosidad y de la materia orgánica para un mismo dia de muestreo son bastante parecidos (Figs. 7 y 8), lo cual indica la relación que existe entre ambas variables. En general, valores altos de materia orgánica están asociados a zonas con tamaño de grano fino, y tal como lo indican las altas porosidades, en los sedimentos superficiales tenemos un contenido mayor de limos y arcillas, y éste disminuye con el aumento de la profundidad (tabla I). Los altos valores subsuperficiales de materia orgánica, que se encuentran entre 6.3 y 13.9%, se deben al aporte de detritus tanto aéreo como subaéreo de S. follosa, cuyos tallos al morir se depositan en la superficie del sedimento, o cuyas raices se degradan en el lugar donde mueren. Conforme pasa el tiempo, el material orgánico se va descomponiendo, por lo cual a mayor profundidad encontramos generalmente menor cantidad del mismo. El contenido de materia orgánica disminuye mas acentuadamente en los primeros centimetros superficiales, y a profundidad mayor que 20 cm la disminución es mucho menor. La forma tipica de estos perfiles se debe a que la materia orgánica recién depositada es mas fácil de ser utilizada, tanto por organismos detritófagos como heterótrofos. El material que va resistiendo la descomposición se va acumulando, y generalmente a mayor profundidad sedimentaria se hace mas constante.

Andersen y Hargrave (1984) encontraron que la

descomposición de S. alterniflora recién muerta era rápida, y que perdió un 84% en peso de la fracción original en 105 días. Westrich y Berner (1984) reportaron que la velocidad de degradación de la materia orgánica depende de su calidad, pues al irse descomponiendo va perdiendo sustancias útiles para los organismos, y los polímeros orgánicos formados diagenéticamente, también llamados geopolímeros o sustancias húmicas, son mucho mas resistentes al ataque bacteriano que la materia orgánica original. En los perfiles correspondientes a los muestreos 3, 4 y 8, encontramos valores altos de materia orgánica, mayores que 4% en los sedimentos muestreados mas profundos (Fig. 8). Westrich y Berner (1984) expresaron que la materia orgánica de origen marino, principalmente fitoplacton, es mas facilmente degradable que las plantas vasculares como Spartina pues ésta última contiene mayor cantidad de moléculas orgánicas poco degradables como ligninas, resinas y ceras; siendo ésta una posible explicación de mis resultados.

Los valores de PO_4 y NH_4 encontrados en éste estudio son especialmente altos, siendo PO_4 alrededor de dos ordenes de magnitud y NH_4 entre dos y tres ordenes de magnitud mayores que los reportados por Millán Nuñez et al. (1981) para la columna de agua cercana a mi área de estudio.

Los perfiles verticales de PO_4 (Figs. 9 a 13) y los de NH_4 (Figs.16 a 20) siguieron una distribución similar. Se presentó un incremento brusco de las concentraciones de ambas variables en el agua intersticial, de la superficie del

sedimento hacia los primeros centimetros de profundidad, encontrándose los máximos generalmente entre 5 y 10 cm. Montgomery et al. (1979) encontraron en una marisma con S. alterniflora, máximos de PO_4 y NH_4 entre 8 y 10 cm de profundidad, y como en nuestro caso algunos un poco mas profundos (Figs. 9 y 16). Mc Roy y Nebert (1972) (citados por Montgomery et al., 1979) encontraron perfiles similares a los mios en sedimentos con Zostera sp.. Posiblemente el carácter de la materia orgánica y la actividad bacteriana, asi como la bioturbación son algunos de los factores responsables de las particularidades de cada perfil vertical (Montgomery et al. 1979).

Los perfiles verticales de materia orgánica (Fig. 8) indican que ésta se está consumiendo rápidamente desde la superficie, lo cuál a su vez está generando cantidades altas de nutrientes. La alta cantidad de materia orgánica, el olor a ácido sulfhidrico y la ausencia de nitratos y nitritos indican que el principal mecanismo de degradación de materia orgánica en mi área de estudio es anaeróbico. Teal y Kanwisher (1961) reportaron que los sedimentos de marisma son anóxicos debajo de los primeros milimetros, por lo que la mayor parte de la descomposición de materia orgánica es via la reducción de sulfatos por acción bacteriana. Sin embargo, las raices de las halófitas pueden crear microzonas de Eh elevado (oxidante) dentro de un sedimento reductor debido a la difusión de oxigeno (Howes et al. , 1981). La bioturbación por organismos excavadores, como el cangrejo violinista (Uca

sp.) puede causar el mismo efecto que las raíces que encontramos en las marismas, por lo cual es posible encontrar un rango amplio de Eh (+700 a -300 mV) en estos sedimentos (De Laune et al., 1976) y por lo tanto, varios mecanismos posibles para la degradación de materia orgánica, los cuales dependen del Eh. Es importante tomar en cuenta tales reacciones , pues aunque el principal proceso de degradación en nuestra marisma sea la reducción de sulfatos, todas las demás pueden ocurrir aunque en mucho menor escala, contribuyendo así a la forma que toman los perfiles de PO_4 y NH_4 que presentamos, principalmente en los primeros centímetros del sedimento.

La reacción global a través de la cual ocurre la degradación de materia orgánica mediante la reducción de sulfatos en una marisma es:

$$2\,(CH_2O)_x(NH_3)_y(H_3PO_4)_z + xSO_2^{2-} \text{ --- } 2xHCO_3^- + xH_2S + 2yNH_3 + 2zH_3PO_4$$

donde z:x:y representa la relación $\Delta SO_4 : \Delta NH_4 : \Delta PO_4$ que es diferente a la relación -53:16:1 de Richards (1965), pues la proporción C:N:P de los pastos es diferente a la propuesta por Redfield (1958) de 106:16:1 (Martens et al., 1978). En la anterior reacción, podemos ver que la cantidad de fosfato y amonio remineralizados es función del contenido de materia orgánica oxidizable y de los sulfatos presentes. El máximo de PO_4 y NH_4 en los primeros centímetros de nuestros perfiles se debe a que en los sedimentos mas someros encontramos la mayor cantidad de materia orgánica fácilmente degradable.

Existen varios procesos dentro del sedimento que

pueden modificar el PO_4 intersticial. Una vez en solución, el PO_4 producido puede difundirse o transportarse por percolación hacia fuera del sedimento, adsorberse sobre particulas del sedimento, o precipitarse como minerales autigénicos (Krom y Berner, 1980). De entre los procesos que controlan PO_4, la adsorción es un proceso importante (Bray et al. 1973; Martens et al. 1978; Krom y Berner, 1980, 1981; Carignan y Flett, 1981). Krom y Berner (1980) reportaron coeficientes de adsorción lineal (K):

$$K = \frac{1-\phi}{\phi} \rho_s \cdot K^*$$

$$K^* = \frac{C_{ad}}{C_{dis}}$$

ϕ = Porosidad
ρ_s = Densidad del sedimento seco
C_{ad} = Concentración de fosfato adsorbido (μ mol$\cdot g^{-1}$ de sedimento seco)
C_{dis} = Concentración del fosfato disuelto en el agua intersticial (mM)

entre 1.3 y 1.9 para diferentes sedimentos anóxicos, lo cual indica que del fosfato total que se produce en este tipo de sedimentos, mas del 55% se encuentra adsorbido. Estos mismos autores reportaron valores de K mucho mayores para sedimentos aeróbicos, en ocasiones 50 veces mayores o mas que para sedimentos anóxicos. Carignan y Flett (1981), expresaron que el gradiente tan pronunciado de PO_4 en los primeros centimetros es explicado por esta alta adsorción de los fosfatos en condiciones aeróbicas. En los primeros milimetros o centimetros hay disminución de PO_4 intersticial, no por la falta de producción de los mismos, sino porque el fosfato se adsorbe sobre oxihidróxidos férricos (FeOOH). Además, el fosfato no solo se puede adsorber a estos sólidos férricos,

sino que también puede precipitarse directamente como fosfatos férricos, si existen altas concentraciones de Fe^{3+} (Bray et al., 1973), o como fosfatos mangánicos. Cuando los sólidos férricos que se encuentran en la zona aeróbica del sedimento, se transportan hacia la zona anóxica, puede ocurrir disolución del PO_4, observandose un brusco incremento en su concentración en el agua intersticial, puesto que el Fe(III) pasa al estado Fe(II) y los fosfatos ferrosos son mas solubles. En la figura 13, que corresponde al perfil de PO_4 en un canal de la marisma media, podemos observar, que a diferencia de los otros perfiles (Figs. 9 a 12) correspondientes a la marisma baja, PO_4 en los primeros 5 cm permanece casi sin aumentar, siendo que en las otras es notable el gradiente en este intervalo. En el canal donde se tomó la muestra existe un flujo casi continuo de agua sobre el sedimento, lo cual puede provocar que la profundidad de la zona óxica sea mayor por la renovación mas rápida del agua intersticial. Esta hipótesis es apoyada además por el perfil de NH_4 que sigue el mismo comportamiento. Al ser mas profunda la capa aeróbica, hay mayor posibilidad de que el fosfato sea adsorbido sobre fases sólidas, o de ser removido por el agua del canal que se mueve continuamente.

Varios autores sugieren que la disminución del fosfato disuelto, debajo del máximo, se relaciona con la formación de minerales autigénicos. Bray et al. (1973) encontraron que en sedimentos anóxicos con alto contenido de Fe(II), habla formación autigénica de vivianita ($Fe_3[PO_4]_2.8H_2O$). Emerson

(1976), Nriagu (1972) y Martens et al. (1978) sugirieron la formación de este mineral en sedimentos anóxicos. Malone y Towe (1970) observaron la precipitación de struvita ($MgNH_4PO_4.6H_2O$) en agua de mar rica en NH_4. Handschuh y Orgel (1973) mostraron la posibilidad de formación de este mineral, en aguas ricas en Mg(II), NH_4 y PO_4; y Martens et al.(1978) también sugieren la formación de este mineral en aguas intersticiales anóxicas. La formación de otros minerales como la apatita ($Ca_5[PO_4]_3[OH,F]$) parece poco probable en marismas, pues su precipitación directa es inhibida por los iones Mg^{2+}(Martens et al., 1978). Un factor mas que puede afectar PO_4 es la absorción por las raíces de las halófitas. Mc Roy et al. (1972) encontraron que Zostera marina asimila fosfato del sedimento por sus raíces, lo incorpora a los tallos y lo exuda hacia la columna de agua circundante, funcionando así como una bomba de fosfato desde el sedimento hacia la columna de agua, y no sólo lo consumen de ella. Reimold (citado por Mc Roy et al., 1972) encontró un mecanismo de bombeo similar al de Zostera en Spartina.

De acuerdo con Bowen (1984) los perfiles verticales de NH_4 en sedimentos de marisma se establecen y mantienen por un balance dinámico entre su producción, consumo, y transporte físico a cada profundidad. En éste trabajo encontré los valores máximos de NH_4 en los primeros centímetros de la columna sedimentaria debido a que en la superficie del sedimento la degradación de materia orgánica es mas intensa. Montgomery et al. (1979) encontraron el máximo de NH_4 entre

los 8 y 10 cm de profundidad en sedimentos con S. alterniflora. Estos autores encontraron concentraciones detectables de NO_3^- en los primeros 2 cm del sedimento, lo cual sugiere que a estas profundidades se pueden tener condiciones aeróbicas. Esto puede favorecer el establecimiento de un gradiente intenso entre la zona aeróbica y la zona anóxica. Aunque en la parte mas somera del sedimento tenemos la máxima producción de NH_4, debido a la alta cantidad y calidad de materia orgánica degradable, es posible que éste amonio se transforme en nitrógeno molecular, vía oxidación bacteriana. Este N_2 puede desprenderse hacia la atmósfera o puede ocurrir la formación de NO_2^- y NO_3^- si la nitrificación es completa (reacción 2, tabla IV). Este proceso de nitrificación posiblemente promueve el establecimiento del gradiente acentuado entre la superficie y los 5 a 10 cm de profundidad.

También la adsorción es un proceso importante que controla NH_4. El amonio producido por la degradación de compuestos nitrogenados puede acumularse en el sedimento, difundirse, desplazarse por percolación hacia la columna de agua, o adsorberse en los sedimentos (Rosenfeld, 1979; Boatman y Murray, 1982). Rosenfeld (1979) estimó coeficientes de adsorción (K) para NH_4 en sedimentos ricos en materia orgánica con valores entre 1 y 2, lo cual implica que el amonio producido por degradación de la materia orgánica permanece de una a dos veces mas asociado por adsorción a los sedimentos que disuelto en el agua intersticial. En la

TABLA IV. Zonación biogeoquimica en sedimentos.*

ZONA	SECUENCIA DE REACCIONES MEDIADAS MICROBIALMENTE		ΔG° (KJ mol^{-1} CH_2O)
Aeróbica	Respiración aeróbica:	$(CH_2O)_x (NH_3)_y (H_3PO_4)_z + x\ O_2 \longrightarrow x\ CO_2 + x\ H_2O + y\ NH_3 + z\ H_3PO_4$	-475
	Nitrificación:	$NH_4^+ + 2O_2 \longrightarrow NO_3^- + H_2O + 2H^+$	
	Oxidación de sulfuros:	$HS^- + 2O_2 \longrightarrow SO_4^{2-} + H^+$	
Reducción de Nitrato	Denitificación:	$5CH_2O + 4NO_3^- \rightarrow 4HCO_3^- + CO_2 + 2N_2 + 3H_2O$	-448
	Reducción de óxido mangánico:	$CH_2O + 2MnO_2 + 3CO_2 + H_2O \rightarrow 2Mn^{2+} + 4HCO_3^-$	-349
	Reduccion de Nitrato:	$2\ CH_2O + NO_3^- + 2H^+ \rightarrow 2\ CO_2 + NH_4^+ + H_2O$	-328
	Reduccion de óxido férrico:	$CH_2O + 4Fe(OH)_3 + 7CO_2 \longrightarrow 8HCO_3^- + 3H_2O + 4Fe^{2+}$	-114
Reducción de Sulfato	Reducción de Sulfato:	$2CH_3CHOHCOOH + SO_4^{2-} \longrightarrow 2CH_3COOH + 2HCO_3^- + H_2S$	-77
		$CH_4 + SO_4^{2-} \longrightarrow HCO_3^- + HS^- + H_2O$	
		$4H_2 + SO_4^{2-} \longrightarrow HS^- + OH^- + 3H_2O$	
Producción de Metano	Fermentación de Acetato:	$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2$	-58
	Reduccion de CO_2:	$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$	

* Tomada de Klump y Martens (1983)

literatura citada por Rosenfeld (1979) se reportan dos tipos de amonio adsorbido a los sedimentos: el amonio intercambiable, el cual se encuentra asociado por reacciones de intercambio iónico a la superficie de las partículas, principalmente arcillas, y es facilmente reemplazable; y el amonio fijo, el cual se encuentra adsorbido a la estructura interna de las arcillas, por lo cual no es fácilmente reemplazable por otros cationes. La relación entre el amonio disuelto y el intercambiable es lineal, por lo que al aumentar NH_4 se favorece la adsorción, y al disminuir se promueve la disolución. La capacidad de adsorción de un sedimento en particular es función del contenido de arcillas y de materia orgánica (Rosenfeld, 1979). Es muy probable que en las muestras de los sedimentos superficiales de éste estudio, tenga cantidades elevadas de amonio adsorbido, pues es donde encontramos un mayor contenido de arcillas y materia orgánica (Tabla I, fig.8). A diferencia del fosfato, el amonio muestra baja adsorción en óxidos metálicos (Boatman y Murray, 1982), debido principalmente al carácter aniónico del primero y catiónico del segundo.

La disminución de NH_4, en nuestros perfiles por debajo del máximo subsuperficial, puede deberse en parte a la disminución de la materia orgánica degradable, así como a la adsorción en el sedimento. Rashid (1969) (citado por Rosenfeld, 1979) demostró que los ácidos húmicos extraidos de sedimentos tienen una alta capacidad de intercambio catiónico. Al igual que para PO_4, posiblemente ésta

disminución a profundidades intermedias también esté asociada a la percolación, de tal manera que no facilite la disponibilidad de materia orgánica fácilmente degradable. El incremento ligero de NH_4 disuelto en los sedimentos mas profundos, se puede deber a que ahí encontramos los valores mínimos de materia orgánica, y un contenido alto de arenas con muy poco limo (tabla I). Un proceso mas que puede contribuir a la disminución del NH_4 a profundidades intermedias, puede ser la asimilación del mismo por parte de las raíces de S. follosa.

La S‰ disminuyó con la profundidad en la marisma baja (Figs. 23 a 26). Se ha reportado que el Estero de Punta Banda es una cuenca de evaporación (Acosta Ruiz y Alvarez Borrego, 1974). Los procesos de evaporación son mas intensos en las zonas mas someras como las marismas por lo que el agua de la superficie en nuestros sedimentos se evapora aumentando así la salinidad superficial, esto ocurre casi todo el año cuando no hay lluvias locales, ya que si éstas se presentan el patrón de distribución vertical de S‰ se podría invertir pues se han registrado valores de la salinidad en la columna de agua cerca del área de estudio hasta de 6.1‰ (Alvarez Borrego, Granados Guzmán y Beltrán Félix, 1984). Lindberg y Harris (1973) encontraron un patrón de distribución vertical de S‰ similar a los de este estudio, en núcleos tomados hasta 30 cm en una marisma. Hackney y de la Cruz (1978) establecieron que la salinidad del agua intersticial en marismas intermareales es afectada por la lluvia, la

elevación de la marisma, su proximidad al agua salina, y por la evaporación. Estos autores no encontraron variación vertical de la salinidad, mientras que Agosta (1985) encontró variaciones muy intensas. Chapman (1981) encontró variaciones de decenas de partes por mil de salinidad en los primeros 10 cm de profundidad en sedimentos lodosos, encontrando también que la penetración de las sales hacia la profundidad en este tipo de sedimento no es tan rápida como en sedimentos arenosos, lo cual permite el establecimiento de perfiles de S‰ como los reportados en el presente trabajo. La salinidad del canal presentó una distribución vertical mas homogénea (Fig. 27). Esta distribución se debe a que éste muestreo se realizó en un canal, el cual esta irrigado casi todo el día con agua superficial que circula mas rápido que en la zona correpondiente a los otros muestreos (marisma baja, fig. 3), en donde algunas horas del día durante la bajamar la superficie del sedimento está expuesta directamente a la insolación. En el canal la evaporación es menos favorecida, por lo cual no se generan gradientes verticales tan pronunciados como en los otros muestreos. En los primeros centímetros del sedimento, la salinidad se puede ver afectada además por las raíces de Spartina, que cuenta con estructuras adaptativas llamadas glándulas salinas, que pueden absorber agua y aumentar la salinidad intersticial (Hackney y De la Cruz, 1978).

En todas las series de PO_4, NH_4 y S‰ que generamos, encontramos variaciones en el tiempo a todas profundidades,

lo cual indica que existen procesos fisicos, quimicos y/o biológicos que producen cambios de éstas variables en una escala de tiempo pequeña (minutos). Los coeficientes de variación fueron consistentemente altos a 0 cm con respecto a las muestras dentro del sedimento (tabla III). Estas variaciones se deben a que las muestras de superficie son mas afectadas directamente por los cambios en la altura de la marea. El comportamiento del PO_4 y NH_4 en general fue inverso a la altura de la marea, es decir, que a mayor altura del nivel del agua tenemos menores concentraciones y viceversa. Este comportamiento se debe a que el agua que proviene del estero hacia la marisma generalmente llega con concentraciones de nutrientes relativamente bajas, y durante el reflujo, ésta agua sale enriquecida con el fosfato y amonio que son regenerados en estos sedimentos de marisma ricos en materia orgánica. Este último fenómeno es evidenciado por las concentraciones altas de estos nutrientes en el agua intersticial. La relación inversa de PO_4 y NH_4 intersticial con la altura de marea se puede observar en algunas profundidades de la columna sedimentaria aunque es menos acentuada que a 0 cm (Figs. 9 a 13 y 16 a 19). Esta relación es especialmente notable en el octavo muestreo (Figs. 13 y 20) el cual se realizó en un canal de la marisma media durante mareas vivas, y por lo cual la dinámica del agua sobre los sedimentos en éste punto fue mas intensa que en los muestreos realizados en la marisma baja, ya que en ésta última la superficie del sedimento permaneció expuesta

durante algunas horas del muestreo. Estas observaciones nos llevan a suponer que existe penetración del agua de la columna hacia el sedimento durante el flujo, y durante el reflujo el agua intersticial es capáz de fluir hacia fuera del sedimento. Por lo anterior, la percolación en mi área de estudio puede ser un mecanismo importante de transporte de nutrientes remineralizados en la marisma, hacia el estero.

En base a los resultados de diferentes investigaciones, existen controversias acerca de si las marismas funcionan como fuente de nutrientes hacia los estuarios o esteros, o si funcionan como trampas. Una revisión de varios trabajos con conclusiones diferentes sobre este tema se encuentra reportada por Nixon (1980). Aunque el papel de las marismas como importadoras o exportadoras de nutrientes depende de cada marisma en particular, y además que se pueden presentar variaciones estacionales, Nixon reportó que consistentemente funcionan como exportadoras de fosfatos y amonio que son las variables de interés en el presente estudio.

Existen estudios, algunos de ellos con conclusiones opuestas, acerca de la importancia de los movimientos advectivos tanto horizontales como verticales en el agua intersticial, así como de la difusión molecular como mecanismos de intercambio de sustancias disueltas entre el sedimento y la columna de agua. Agosta (1985) menciona que la mayoría de los estudios han mostrado que en la mayor parte de la marisma, la percolación y la infiltración son bajas, y que el nivel freático se mantiene a lo largo del ciclo de mareas,

permaneciendo generalmente a 1 cm debajo de la superficie aún en marea baja. Las variaciones más rápidas que encontró este autor durante la bajamar, fueron hasta la profundidad de las raíces de Spartina en el sedimento, y sugiere que el agua fluye a lo largo de canales creados por éstas raíces. En el presente estudio, también las variaciones mas intensas de los nutrientes se observaron en los primeros 10 cm, sugiriendo así, una mayor dinámica en este nivel del sedimento. El comportamiento de NH_4 con relación a la altura de marea reportado por Agosta (1985), es el mismo que encontré en este estudio. También, como en este trabajo, Agosta (1985) reportó variaciones de la S‰ con la marea, sin que hubiese relación entre ambas. Gardner (1973) encontró que el nivel freático en la marisma cercana a los canales fluctúa con el ciclo de la marea, elevandose durante el flujo y disminuyendo con el reflujo, aunque el efecto de la marea sobre el nivel freático se restringe a los primeros 15 m de distancia al canal, disminuyendo con la distancia al mismo. De acuerdo con Gardner (1973) éste proceso produce movimientos verticales del agua intersticial que pueden provocar el surgimiento de la misma desde el interior, hacia la superficie del sedimento. Debido a estos movimientos verticales, Hackney y de la Cruz (1978) sugirieron que no existían, en su área de estudio, gradientes verticales de salinidad, a diferencia de los que reportamos aquí. Gardner (1976) sugirió que la percolación era un proceso menor de intercambio de sustancias disueltas en una marisma, con respecto a la difusión, pero

desde entonces, otros investigadores han sugerido que juega un papel importante en la exportación de material intersticial (Howes et al. 1981; King y Klug, 1982; Wolaver et al., 1983; Agosta, 1985; Zimmerman et al.,1985; Yelverton y Hackney,1986; Carr y Blacley, 1986). Yelverton y Hackney (1986) estimaron que el flujo horizontal por percolación del carbono orgánico disuelto fue mas importante que su flujo vertical. Zimmerman et al. (1985) calcularon que para una marisma dominada por Halodule wrightii en una zona con rangos de mareas de 0.5 m, el flujo de fosfato por percolación era de aproximadamente dos ordenes de magnitud mayor que el flujo difusivo, es decir, que el 99% del fosfato era exportado por percolación en esta marisma. Este tipo de flujo puede ser importante en mi área de estudio, en donde el rango de mareas es mas de dos veces mayor en periodos de mareas muertas, que el área de estudio antes citada. Es importante remarcar que todos los autores arriba citados coinciden en que la percolación es mas importante en el área cercana a los canales.

Otro tipo de transporte advectivo de importancia en las marismas y que puede estar contribuyendo a las variaciones de PO_4, NH_4 y S‰, en ocasiones erráticas, es el promovido por los organismos. Mc Caffrey et al. (1980) encontraron en estudios de laboratorio que el amonio era mas rápidamente transportado por difusión, pero que para el fosfato el transporte por difusión y el advectivo por bioturbación eran iguales. Hemond y Fifield (1982) reportaron que el flujo

subsuperficial en la parte interna de la marisma puede ser dominado por la evapotranspiración en una zona con Spartina. Mc Roy et al.(1972) encontraron en sedimentos con Zostera marina, un flujo de fosfato del sedimento hacia la columna de agua, vía su asimilación por las raíces, incorporación hacia los tallos y exudación hacia el agua circundante. Whitney et al. (1981) reportaron que en marismas con baja percolación, el trasporte activo de fosfato intersticial por las plantas, especialmente Spartina, puede ser mas intenso que el aporte directo del sedimento hacia la columna de agua.

En estudios sobre variaciones diurnas de la S‰ intersticial, Chapman (1981) encontró que éstas ocurrían en sedimentos intermareales, aunque en ocasiones no tenían un patrón definido con respecto a la altura de la marea. Las variaciones en el tiempo menos intensas, se presentaron en sedimentos de tamaño fino.

Los coeficientes de variación de PO_4 y NH_4 (tabla III) en general disminuyeron hacia profundidades intermedias y aumentaron a 40 cm, es decir, alrededor de los 20 cm de profundidad las concentraciones variaron menos con el tiempo, con respecto a los sedimentos mas someros y mas profundos. Es posible que el agua intersticial tenga menor capacidad de movimiento a profundidades intermedias o bien que se hayan presentado gradientes horizontales menores, por lo cual no registramos variaciones en los valores de nuestras variables tan intensos como los superficiales y profundos. La permeabilidad de un sedimento es función de su porosidad, y

ésta a su vez, de la clasificación, tamaño y forma de los granos (Pettijohn, 1974). Posiblemente debido a la mayor porosidad de nuestros sedimentos superficiales (Fig.7) tengamos aquí variaciones intensas en el tiempo, además de que por ser la mas cercana, también puede ser la mas afectada por la columna de agua. También éstas intensas variaciones se pueden deber a que esta capa superior es la mas bioturbada y es posible que tanto las madrigueras cavadas principalmente por los cangrejos violinistas (Uca sp.), así como las raíces de S. follosa, formen rutas para el fácil desplazamiento advectivo del agua intersticial. Por otro lado, a los 40 cm encontramos un porcentaje alto de arenas (>90%), por lo que la permeabilidad puede ser mas alta que en los sedimentos suprayacentes. Posiblemente la menor permeabilidad en la zona intermedia se deba a la combinación de una baja porosidad y un sorteo pobre del sedimento.

Carr y Blackey (1986) estudiaron el efecto de las mareas vivas y muertas sobre el movimiento del agua intersticial en una marisma, y encontraron diferencias sustanciales entre unas y otras, inclusive entre mareas vivas altas y bajas. El rango de mareas muertas en su area de estudio es grande (3.5 m) y durante mareas vivas es de 6.5 m. En nuestro estudio, los coeficientes de variación en la marisma baja (tabla III) no fueron muy diferentes bajo diferentes rangos de marea, sin embargo, los valores mas altos de nutrientes se obtuvieron durante el muestreo 4 en periodo de mareas vivas, lo cual es posiblemente debido a que existe bajo estas condiciones una

mayor penetración del agua intersticial desde el interior de la marisma hasta el punto de muestreo. Las concentraciones de los nutrientes variaron de un día al siguiente aunque las condiciones tanto meteorológicas como de mareas fueron similares. Estos resultados se deben posiblemente a la gran heterogeneidad espacial que observamos en estos sedimentos. Por otro lado, en los casos en que no hubo correspondencia entre la altura de la marea y los valores de PO_4 y NH_4 observados, tal vez se deban en parte a que nuestros muestreos en la marisma baja no se hicieron cercanos al canal, y además que la pendiente del terreno es muy suave por lo que la salida del agua intersticial hacia la columna y viceversa con el flujo y reflujo se dificulta.

En el presente estudio se observó a través de los muestreos 5, 6 y 7 (figs. 14, 15, 21, 22 y 28) que a una misma profundidad dentro de espacios cortos existen variaciones notables en los valores de PO_4 y NH_4 principalmente, y menos notables en S‰. En estos resultados observamos que no se presentó una distribución horizontal definida de las concentraciones de las variables determinadas, tanto en el arreglo paralelo como perpendicular a la línea de playa. Esta heterogeneidad horizontal se puede deber a factores tanto físicos, químicos y biológicos, los cuales se conjugan de tal manera que en espacios de unos pocos centímetros tengamos diferencias notables en la producción o el consumo del fosfato y el amonio, que a su vez producen diferencias grandes en PO_4 y NH_4. Por un lado,

existe una fuerte heterogeneidad horizontal en el medio ambiente fisico, representado aqui por el tamaño de grano, la porosidad y el contenido de materia orgánica (tabla I y II; Figs. 7 y 8). La distribución granulométrica de los núcleos correspondientes a los dos primeros dias de muestreos fue diferente (tabla I) a pesar de que la distancia entre ellos no excedió un metro, fueron tomados con solo 48 horas de diferencia y bajo las mismas condiciones de marea, por lo cual el patrón de distribución del sedimento no varió entre ambos por cambios temporales. Entre ambos puntos, la porosidad a los 5 cm es diferente en un 10% (Fig 7 M1 y M2), aunque debajo de los 10 cm son mas similares. También encontramos una diferencia marcada a los 5 cm en el contenido de materia orgánica de mas de 3% . Las porosidades entre los muestreos 3 y 4 fueron similares, sin embargo, el contenido de materia orgánica es notablemente diferente a todas profundidades, exceptuando a 15 cm. La materia orgánica y las porosidades de los muestreos 1 y 2 fueron bastante mas bajos que en los muestreos 3 y 4, y aunque se realizaron bajo diferentes condiciones de mareas, la distancia entre los puntos de muestreo mas alejados no excedió los 5 metros, lo cual indica que existen factores medio ambientales que provocan una fuerte heterogeneidad horizontal.

La principal fuente de materia orgánica hacia el sedimento en una marisma es la vegetación que la habita (Howarth y Hobbie, 1982; Vallela, 1984; Westrich y Berner, 1984; Kepkay y Andersen, 1985). En nuestro caso, la fuente

principal es Spartina follosa en la marisma baja. A pesar de ser el principal productor primario en muchas marismas, Spartina es poco pastoreado y por lo tanto la mayor parte de su biomasa se transforma en detritus, para ser utilizado por detritofagos (Andersen y Hargrave, 1984), o transformado por las bacterias, lo cual provoca los valores altos de materia orgánica en sedimentos de marisma. La distribución de las halófitas no es homogénea, mas aún su parte subterránea, conformada por raices y rizomas, la cual contribuye generalmente en mayor proporción a la biomasa de Spartina, que su porción aérea conformada por los tallos (Good et al. 1982). Dentro del sedimento, la distibución de las raices y rizomas es bastante heterogénea , lo cual provoca tanto zonas de alto contenido de materia orgánica, como zonas vecinas con menor contenido de la misma. Varios estudios en marismas con Spartina reportan que la distribución de la biomasa subaérea se encuentra en su mayor proporción dentro de los 10 cm superficiales (Good et al.,1982; Broome et al., 1975; Vallela et al., 1976), por lo cual, las mayores diferencias en el contenido de la materia orgánica en sentido horizontal se encuentran dentro de esta zona sedimentaria en el presente estudio.

Otro factor mas que contribuye a la heterogeneidad en la distribución de los parámetros fisicos y quimicos en los sedimentos de una marisma, es la intensa actividad biológica de la fauna asociada a estas praderas. El refugio y el alimento que proveen las halófitas a los organismos

bentónicos hacen que generalmente la actividad en estos sustratos sea mayor que en zonas aledañas sin macroflora. Virnstein et al. (1983) (citados por Zimmerman et al., 1985) estimaron que en su marisma de estudio la cantidad de invertebrados bentónicos era aproximadamente el triple que en la zona vecina sin halófitas. Zimmerman et al. (1985) encontraron diferencias significativas en la velocidad de la percolación entre dos puntos colocados a un metro de distancia uno del otro dentro de la marisma, y concluyeron que la halófita y la fauna bentónica asociada actúan aumentando la velocidad de la percolación creando rutas de fácil movimiento del agua intersticial. Los organismos que pueden provocar una mayor variación fisicoquímica en el sedimento son los organismos excavadores. Aller et al. (1983) demostraron que no sólo es importante la abundancia de los organismos en la bioturbación, sino también el tipo de organismo en particular, pues cada uno de ellos puede producir efectos diferentes sobre las propiedades químicas del sedimento. Estos autores estudiaron el efecto de un tipo de poliqueto y de camarón sobre los nutrientes intersticiales, y encontraron diferencias sustanciales en la relación C:N, PO_4, NH_4 y otras variables dentro de las madrigueras de ambos organismos, lo cual es debido a la diferencia en la actividad metabólica de cada uno de ellos. En mi área de estudio, el cangrejo violinista (Uca sp.) es uno de los principales organismos que puede contribuir a la heterogeneidad física y química en el sedimento aunque no es

muy abundante. Katz (1980) y Montague (1982) reportaron que el excavamiento de Uca sp en marismas con Spartina puede ser importante en el transporte de materia orgánica en el sedimento. Montague (1982) cita algunos trabajos en los que se reportan densidades de las madrigueras de cangrejo violinista en marismas con Spartina entre 50 y 700 m^{-2} . La actividad de Uca sp. puede afectar en varias formas la producción y descomposición de la materia orgánica. Por un lado, de acuerdo con Montague (1982), pueden incrementar la superficie aeróbica de los sedimentos superficiales entre un 20 y un 60% o mas, aumentando así la capacidad de oxigenación, y promoviendo la degradación aeróbica de la materia orgánica y neutralizando a su vez el efecto de sustancias tóxicas resultantes del metabolismo anaeróbico, principalmente el H_2S que inhibe el crecimiento de Spartina. Las madrigueras cavadas por el cangrejo violinista pueden facilitar la circulación del agua intersticial, y consecuentemente, el transporte de nutrientes entre el sedimento y la columna de agua, afectando también así, tanto la distribución vertical como la horizontal de los nutrientes y la salinidad.

VI. CONCLUSIONES

La variación de PO_4 y NH_4 en un punto, en intervalos de tiempo cortos (minutos), así como su relación generalmente inversa con la marea, indican que existe penetración del agua de la columna hacia el sedimento durante el flujo, y durante el reflujo el agua intersticial es capáz de fluir hacia fuera del sedimento. Por lo tanto, la percolación en mi área de estudio puede ser un mecanismo importante de transporte de nutrientes remineralizados en la marisma, hacia el estero.

No fue posible determinar con certeza el efecto que sobre la concentración de los nutrientes pueden tener diferentes condiciones de mareas, puesto que las variaciones con el tiempo, representadas a través de los coeficientes de variación, no indican una diferencia clara entre mareas vivas y muertas. Sin embargo, los valores mas altos de PO_4 y NH_4 se registraron durante el cuarto muestreo, y durante el tercer muestreo en los primeros 10 cm, por lo tanto, existe la posibilidad de que durante las mareas vivas ocurra una mayor penetración del agua intersticial hacia el interior de la marisma durante el flujo, y un mayor acarreo de nutrientes remineralizados hacia el punto de muestreo durante el reflujo. En mareas muertas la penetración del agua hacia el interior de la marisma debe ser menor debido al menor esfuerzo de la marea.

El máximo subsuperficial de nutrientes se debe en parte al máximo superficial de materia orgánica. Por lo tanto, la

forma de los perfiles de nutrientes se debe en parte a la distribución vertical de la materia orgánica disponible para la descomposición bacteriana. Otras características del sedimento como el tamaño de grano y la porosidad, que a su vez están asociados con la permeabilidad del medio también deben contribuir de alguna manera a la forma de los perfiles de los nutrientes, aunque no fue posible establecer con claridad ésta relación dadas las características de los muestreos.

La heterogeneidad horizontal del medio ambiente sedimentario, representada aquí en términos de la porosidad y el contenido de materia orgánica para el quinto, sexto, y sétimo muestreos , provoca una fuerte variabilidad de las concentraciones de nutrientes y de la salinidad en espacios muy pequeños, en ocasiones no mayores de 7 cm. Por lo tanto, los valores de PO_4 , NH_4 y S‰ que se reportan en el presente trabajo, solamente representan sus variaciones en un punto de la marisma en el transcurso de cada muestreo y dan una idea del orden de magnitud de tales valores y de sus posibles variaciones en escala de tiempo pequeña, y no se pretende representar mediante ellos a toda la marisma.

LITERATURA CITADA

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

Agosta, K. 1985. The effect of tidally induced change in the creekbank water table on pore water chemistry. Estuar. Coast. Shelf Sci. 21(3): 389-400.

Aguilar Rosas, R. 1982. Identificación y distribución de las algas marinas del Estero de Punta Banda, Baja California, México. Ciencias Marinas (Méx.), 8(1): 78-87.

Allen, J., E. Mandelli y J.P. Zimmermann. 1981. Physics-Geology-Chemistry. En: Coastal Lagoon Research, present and future. UNESCO. Technical Papers in Marine Research. 32.

Aller, R.C., J.Y. Yingst y W.J. Ullman. 1983. Comparative biogeochemistry of water in intertidal Onuphis (polychaeta) and Upogebia (crustacea) burrows: Temporal patterns and causes. J. Mar. Res. 41: 571-604.

Alvarez Borrego, J. y S. Alvarez Borrego. 1982. Temporal and spatial variability of the temperature in two coastal lagoons. CalCoFI Rep. 23: 188-197.

Alvarez Borrego, S., A. Granados Guzmán y J.L. Beltrán. 1984. Temperatura y salinidad del Estero de Punta Banda. Ciencias Marinas (Méx.). 10(3): 105-108.

Alvarez Borrego, S., S. Aguiñiga García y V.F. Camacho Ibar. (en prensa). Un nuevo, sencillo y barato, muestreador "in situ" de aguas intersticiales de sedimentos de entre mareas. Ciencias Marinas (Méx.)

Andersen, F.O. y B.T. Hargrave. 1984. Effects of Spartina detritus enrichment on aerobic/anaerobic benthic metabolism in an intertidal sediment. Mar. Ecol. Prog. Ser. 16: 161-171.

Arenas, V. y G. De la Lanza. 1981. The effect of dried and cracked sediment on the availability of phosphorus in a coastal lagoon. Estuaries. 4(3): 206-212.

Avila Serrano, G.E. 1983. Volúmen de sedimento aportado anualmente a la Bahía Todos Santos, Baja California, por los arroyos: El Carmen, Ensenada, El Gallo, San Carlos y Las Animas. 1972-1983. Tésis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C., México.

Behrens, E.W. 1980. On sedimentation rates and porosity. Marine Geology. 35: 11-16.

Boatman, C.D. y J.W. Murray. 1982. Modeling exchangeable NH4 adsorption in marine sediments: Process and controls of adsorption. Limnol. Oceanogr. 27(1): 99-110.

Bowden, W.B. 1894. Nitrogen and phosphorus in the sediments of a tidal, freshwater marsh in Massachusetts. Estuaries. 7(2): 108-118.

Bray, J.T., O.P. Bricker y B.N. Troup. 1973. Phosphate in intertitial waters of anoxic sediments: oxidation effects during sampling procedure. Science. 180: 1362-1364.

Broome, S.W., W.W. Woodhouse Jr. y E.D. Seneca . 1975. The relationship of mineral nutrients to growth of Spartina alterniflora in North Carolina: II. The effects of N, P, and Fe fertilizers. Soil Science Soc. Am. Proc. 39: 301-307.

Carignan, R. y R.J. Flett. 1981. Postdepositional mobility of phosphorus in lake sediments. Limnol. Oceanogr. 26(2): 361-366.

Carr, A.P. y M.W.L. Blackley. 1986. The effects and implications of tides and rainfall on the circulation of water within salt marsh sediments. Limnol. Oceanogr. 31(2): 266-276.

Chapman, P.M. 1981. Measurements of the short term stability of interstitial salinities in subtidal estuarine sediments. Estuar. Coast. Shelf Sci. 12: 67-81.

DeLaune, R.D., W.H. Patrick Jr. y J.M. Brannon. 1976. Nutrient transformations in Louisiana salt marsh soils. Coastal Management Series. Center for Wetland Resources. Louisiana State University. Sea Grant Publication No. LSU-T-76-009.

Emerson, S. 1976. Early diagenesis in anaerobic lake sediments: chemical equilibria in interstitial waters. Geochim. Cosmochim. Acta. 40: 925-934.

Fanning, K.A. y M.E.Q. Pilson. 1971. Interstitial silica and pH in marine sediments: Some effects of sampling procedures. Science. 173: 1228-1231.

Folk, R.L. 1954. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Co. USA.

Gardner, L.R. 1973. The effect of hydrologic factors on the

pore water chemistry of intertidal marsh sediments. Southeastern Geology. 15: 17-28.

Good, R.E., N.F. Good y B.R. Frasco. 1982. A review of primary production and decomposition dynamics of the belowground marsh component. En: Estuarine Comparisons. V.S. Kennedy, ed. Academic Press. New York. pp. 139-157.

Green Ruiz, M.J., S. Caschetto y S. Alvarez Borrego. 1983. Silice disuelto en la columna de agua y en las aguas intersticiales de una laguna costera. Ciencias Marinas (Méx.). 9(2): 51-74.

Hackney, C.T. y A.A. de la Cruz. 1978. Changes in interstitial water salinity of a Mississippi tidal marsh. Estuaries. 1(3): 185-188.

Handschuh, G.J. y L.E. Orgel. 1973. Struvite and prebiotic phosphorylation. Science. 179: 483-484.

Hemond, H.F. y J.L. Fifield. 1982. Subsurface flow in salt marsh peat: A model and field study. Limnol. Oceanogr. 27(1): 126-136.

Ho, C.L. y J. Lane. 1973. Interstitial water composition in Barataria Bay (Louisiana) sediments. Estuar. Coastal Mar. Scl. 1: 125-135.

Howarth, W.R. y J.E. Hobbie. 1982. The regulation of decomposition and heterotrophic microbial activity in salt marsh soils: A review. En: Estuarine Comparisons. V.S. Kennedy, ed. Academic Press. New York. pp. 183-207.

Howes, R.L., R.W. Howarth, I.M. Teal e I. Vallela. 1981. Oxidation-reduction potentials in a salt marsh: Spatial patterns and interactions with primary production. Limnol. Oceanogr. 26(2): 350-360.

Katz, L.C. 1980. Effects of burrowing by the fiddler crab, Uca pugnax (Smith). Estuar. Coast. Mar. Sci. 11: 233-237.

Kepkay, P.E. y F.O. Andersen. 1985. Aerobic and anaerobic metabolism of a sediment enriched with Spartina detritus. Mar. Ecol. Prog. Ser. 21: 153-161.

King, G.M. y M.J. Klug. 1982. Relation of soil water movement and sulfide concentration to Spartina alterniflora production in a Georgia salt marsh. Science. 218: 61-63.

Klump, J.V. y C.S. Martens. 1983. Benthic nitrogen regeneration. En: Nitrogen in the Marine Environment. E.J. Carpenter y D.G. Capone, eds. Academic Press, New York. pp. 411-457.

Köros, E. y M. Orbán. 1978. Silicate in anoxic pore waters and oxidation effects during sampling. Nature. 273: 373-374.

Krom, M.D. y R.A. Berner. 1980. Adsorption of phosphate in anoxic marine sediments. Limnol. Oceanogr. 25(5): 797-806.

Krumbein, W., P. Lasserre y S.W. Nixon. 1981. Biological processes and ecology. En: Coastal Lagoon Research, present and future. UNESCO. Technical Papers in Marine Science. 32.

Lindberg, S.E. y R.C. Harriss. 1973. Mechanisms controlling pore water salinities in a salt marsh. Limnol. Oceanogr. 18(5): 788-791.

Lyons, W.B., H.E. Gaudette y G.M. Smith. 1979. Pore water sampling in anoxic carbonate sediments: Oxidation artefacts. Nature. 277: 48-49.

Malone, Ph.G. y K.M. Towe. 1970. Microbial carbonate and phosphate precipitates from sea water cultures. Marine Geol. 9: 301-309.

Martens, C.S., R.A. Berner y J.K. Rosenfeld. 1978. Interstitial water chemistry of anoxic Long Island Sound

sediments. 2. Nutrient regeneration and phosphate removal. Limnol. Oceanogr. 23(4): 605-617.

Mc.Caffrey, J.R., A.C. Mayers, E. Davey, G. Morrison, M. Bender, N. Luedtke, D. Cullen, P. Froelich y G. Kinkhammer. 1980. The relation between pore water chemistry and benthic fluxes of nutrients and manganese in Narraganset Bay, Rhode Island. Limnol. Oceanogr. 25(1): 31-44.

McRoy, C.P., R.J. Barsdate y M. Nebert. 1972. Phosphorus cycling in an eelgrass (Zostera marina L.) ecosystem. Limnol. Oceanogr. 17(1): 58-67.

Millán Nuñez, R. F.J. Ortiz Cortés y S. Alvarez Borrego. 1981. Variabilidad temporal y espacial de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera, a finales de verano. Ciencias Marinas (Méx.). 7(1): 103-128.

Montague, C.L. 1982. The influence of fiddler crab burrows and burrowing on metabolic processes in salt marsh sediments. En: Estuarine Comparisons. V.S. Kennedy, ed. Academic Press, New York. pp.283-301.

Montgomery, J.R., C.F. Zimmerman y M.T. Price. 1979. The collection, analysis and variation of nutrients in estuarine pore water. Estuar. Coastal Mar. Sci. 9: 203-

214.

Nixon, S.W. 1980. Between coastal marshes and coastal waters- a review of twenty years of speculation and research on the role of salt marshes in estuarine productivity and water chemistry. En: Estuarine and Wetlands Processes (P. Hamilton y K. McDonald, eds.). Plenum Press, New York. pp. 438-525.

Nriagu, J.O. 1972. Stability of vivianite and ion-pair formation in the system $Fe_3(PO_4)_2$-H_3PO_4-H_2O. Geochim. Cosmochim. Acta. 36: 459-470.

Pettijohn, F.J. 1974. Sedimentary Rocks. 3 Ed. Harper & Row, Pub. New York. 628 pp.

Postma, H. 1981. Processes in the sediment and at the water-sediment interfase. En: Coastal Lagoon Research, present and future. UNESCO. Technical Papers in Marine Science. 33.

Pritchard, D.W. 1967. What is an estuary?: Physical viewpoint. En: Estuaries (G.H. Lauff, ed.). AAAS publication. 83: 3-5. Washington D.C.

Pritchard, D.W., R. De la Paz Vela, H. Cabrera Muro, S. Farreras Sanz y E. Morales. 1978. Hidrografia fisica del

Estero de Punta Banda. Parte I: Análisis de datos. Ciencias Marinas (Méx.). 5(2): 1-23.

Redfield, A.C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. Am. Sci. 46: 205-222.

Richards, F.A. 1965. Anoxic basins and fjords. En: Chemical Oceanography. J.P. Riley y G. Skirrow, eds. Vol I. pp. 611-645. Academic Press, New York.

Rosenfeld, J.K. 1979. Ammonium adsorption in nearshore anoxic sediments. Limnol. Oceanogr. 24(2): 356-364.

Sayles, F.L., P.C. Mangelsdorf, T.R.S. Wilson y D.N. Hume. 1976. A sampler for the "in situ" collection of marine sedimentary pore waters. Deep Sea Res. 23: 259-264.

Strickland, J.D.H. y T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Res. Board Canada. Otawa. 311 pp.

Teal, J.M. y J. Kanwisher. 1961. Gas exchange in a Georgia salt marsh. Limnol. Oceanogr. 6: 388-399.

Troup, B.N., O.P. Bricker y J.T. Bray. 1974. Oxidation effect on the analysis of iron in the interstitial water of recent anoxic sediments. Nature. 249: 237-239.

Vallela, I., J.M. Teal y N.Y. Persson. 1976. Production and dynamics of experimentally enriched salt marsh vegetation: Belowground biomass. Limnol. Oceanogr. 21: 245-252.

Vallela, I. 1984. Marine Ecological Processes. Springer Verlag, New York. pp. 312-341.

Westrich, J.T. y R.A. Berner. 1984. The role of sedimentary organic matter in bacterial sulfate reduction: The G model tested. Limnol. Oceanogr. 29(2): 236:249.

Whitney, D.M., A.G. Chalmers, E.B. Haines, R.B. Hanson, L.R. Pomeroy y B. Sherr. 1981. The cycles of nitrogen and phosphorus. En: The Ecology of a Salt Marsh. L.R. Pomeroy y R.G. Wiegert, eds. Springer Verlag, New York. pp. 163-181.

Wolaver, T.G., J.C. Zieman, R. Wetzel y K.L. Webb. 1983. Tidal exchange of nitrogen and phosphorus between mesohaline vegetated marsh and the surrounding estuary in the lower Chesapeake Bay. Estuar. Coastal Shelf. Sci. 16: 321-332.

Yelverton, F.G. y C.T. Hackney. 1986. Flux of dissolved organic carbon and pore water through the substrate of a

Spartina alterniflora marsh in North Carolina. Estuar. Coast. Shelf Sci. 22: 255-267.

Zimmermann, C.F., J.R. Montgomery y P.R. Carlson. 1985. Variability of dissolved reactive phosphate flux rates in nearshore estuarine sediments: Effects of ground water flow. Estuaries. 8(2B): 228-236.

Zirino, A. 1975. Measurement of the apparent pH of sea water with a combination microelectrode. Limnol. Oceanogr. 20(1): 654-657.