

**Centro de Investigación Científica y de
Educación Superior de Ensenada**



**DISTRIBUCION ESPACIO-TEMPORAL DE AMONIO
Y FOSFATO EN LAS AGUAS INTERSTICIALES DE
MARISMAS DE UNA LAGUNA COSTERA DEL
NOROESTE DE BAJA CALIFORNIA**

**TESIS
MAESTRIA EN CIENCIAS**

FAUSTO ALONSO ARCE DUARTE

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, ABRIL DE 1992.

RESUMEN de la Tesis de Fausto Alonso Arce Duarte presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en OCEANOGRAFIA con opción en ECOLOGIA. Ensenada, Baja California, México. Febrero de 1992.

DISTRIBUCION ESPACIO-TEMPORAL DE AMONIO Y FOSFATO EN LAS AGUAS INTERSTICIALES DE MARISMAS DE UNA LAGUNA COSTERA DEL NOROESTE DE BAJA CALIFORNIA

Resumen aprobado por:

Dr. Saúl Alvarez Borrego
Director de Tesis

Con el propósito de caracterizar la variación temporal de la distribución vertical de la concentración de amonio (NH_4) y fosfato reactivo (PO_4) en el agua intersticial de sedimentos de entremareas del Estero de Punta Banda, se generaron series de tiempo de 36 y 8 horas en marzo y junio de 1989, respectivamente, muestreando in situ de 0 a 40 cm. Además, con el propósito de estudiar la variación espacial en el sentido horizontal y en escalas de pocos cm a 2.5 m, y su cambio temporal, en junio también se muestreó a una profundidad constante del sedimento (15 cm) con líneas de colectores separados de 5 a 20 cm entre sí. En junio se muestreó también para determinar la densidad de bacterias heterótrofas viables y sulfato reductoras, y su cambio con la profundidad. El Estero de Punta Banda es una laguna costera del noroeste de Baja California. Los muestreos se realizaron en dos localizaciones: el extremo interno, con macrovegetación abundante (La Grulla); y la parte media de la barra que separa la laguna del océano abierto, sin macrovegetación (El Hotel). Mis datos confirman la gran variabilidad espacial y temporal de estas propiedades reportada por autores previos. La intensa distribución en forma de manchas, o petacheo, y la percolación inducida por las mareas, que es incrementada por el flujo a través de las raíces de las plantas y las madrigueras de los animales, son los responsables de esta variabilidad. El mayor petacheo horizontal de NH_4 y PO_4 se encuentra en la escala de unos pocos cm, seguramente asociada con las madrigueras de la macrobiota. Sin embargo, hay una escala importante de petacheo de unos pocos metros evidenciada por el hecho de que en algunas ocasiones cuando se muestreó un nuevo día, cambiando la localización unos cuantos metros, la media de los valores fue significativamente mayor (v.g.: cinco veces mayor) que en la localización del día anterior. En general, los valores de NH_4 y PO_4 son mayores en La Grulla que en El Hotel. Esto indica una tendencia de aumento de estas propiedades de la boca hacia el extremo interno de la laguna, asociada al aumento general de tiempos de residencia del agua en el mismo sentido. Los datos indican cambios estacionales, con concentraciones en general mayores en junio que en marzo, y con máximos pronunciados en sedimentos subsuperficiales (5-15 cm) en junio que no se presentaron en marzo. La causa de esto puede ser una mayor velocidad de degradación de la materia orgánica

en verano. No se aprecia una correlación clara y consistente entre las propiedades estudiadas y el nivel del mar. Con los pocos datos disponibles no se encontró una correlación entre los cambios de NH_4 y PO_4 y la densidad de bacterias.

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA, B. C.

DIVISION DE OCEANOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA

DISTRIBUCION ESPACIO-TEMPORAL DE AMONIO Y FOSFATO EN LAS AGUAS
INTERSTICIALES DE MARISMAS DE UNA LAGUNA COSTERA DEL NOROESTE DE
BAJA CALIFORNIA

TESIS

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

FAUSTO ALONSO ARCE DUARTE

Ensenada, B. C., abril 3 de 1992.

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCION	1
I.1. Mecanismos de degradación	5
I.2. Antecedentes para el Estero de Punta Banda	8
I.3. Objetivo	10
I.4. Hipótesis de Trabajo	11
II. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	13
III. MATERIALES Y METODOS	19
IV. RESULTADOS	25
IV.1. Series de Tiempo de Perfiles Verticales	25
IV.2. Series de Tiempo con los colectores a 15 cm alineados perpendicular y paralelos a la playa	39
IV.3. Densidad bacteriana de las muestras de junio	46
V. DISCUSION	52
VI. CONCLUSIONES	66
VII. LITERATURA CITADA	68

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Saúl Alvarez Borrego, por su apoyo, paciencia, dedicación y dirección al presente trabajo.

A los miembros de mi Comité de Tesis, por sus críticas y comentarios acertados. Y por su apoyo para el buen término del mismo.

Al CONACyT por la ayuda económica brindada durante mi estancia en CICESE.

Al Dr. Leonardo Lizárraga Partida por su apoyo en el análisis bacteriológico.

Al Ocean. Adolfo Granados Guzmán, y al grupo de estudiantes de VI Semestre de la Preparatoria Federal por Coop. "Benito Juárez" generación 1986/89, de la tecnología en Oceanografía, por su apoyo en el muestreo de campo.

Al Quím. Julián Almeyda por su valiosa colaboración en el trabajo de campo y de laboratorio.

Al grupo de compañeros de la Maestría, especialmente a Gustavo, Eduardo, Manuel, Mannotti, Lupita, Maru, Juanita, Clara C., Clara J. y Carmen

Al Departamento de Dibujo y al Taller de Mecánica Fina del CICESE.

DEDICATORIA

Con amor

A Paty, Victor y Leslie.

Por su apoyo y comprensión por tantas horas de separación

Con cariño

A mis padres y hermanos

A mis tios: Enrique y Elvia

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Saúl Alvarez Borrego, por su apoyo, paciencia, dedicación y dirección al presente trabajo.

A los miembros de mi Comité de Tesis, por sus críticas y comentarios acertados. Y por su apoyo para el buen término del mismo.

Al CONACyT por la ayuda económica brindada durante mi estancia en CICESE.

Al Ocean. Adolfo Granados Guzmán, y al grupo de estudiantes de VI Semestre de la Preparatoria Federal por Coop. "Benito Juárez" generación 1986/89, de la tecnología en Oceanografía, por su apoyo en el muestreo de campo.

Al Quím. Julián Almeyda por su valiosa colaboración en el trabajo de campo y de laboratorio.

Al grupo de compañeros de la Maestría, especialmente a Gustavo, Eduardo, Manuel, Mannotti, Lupita, Maru, Juanita, Clara C., Clara J. y Carmen

Al Departamento de Dibujo y al Taller de Física Aplicada del CICESE.

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización de la zona de estudio.	14
2	Muestreador in situ de aguas intersticiales utilizado para el estudio. Modificado de Alvarez Borrego et al., (1988).	20
3	Perfiles topográficos de La Grulla y El Hotel. La línea gruesa la final del perfil indica el área de trabajo.	26
4	Series de tiempo de 36 horas generadas para amonio a distintas profundidades en la columna del sedimento. En el cuadro superior se muestra la marea en La Grulla el 9 y 10 de marzo.	27
5	Series de tiempo de 36 horas generadas para fosfato a distintas profundidades en la columna del sedimento para La Grulla el 9 y 10 de marzo.	28
6	Series de tiempo de 36 horas generadas para el amonio a distintas profundidades en la columna del sedimento. En el cuadro superior se muestra la marea en El Hotel el 14 y 15 de marzo.	29
7	Series de tiempo de 36 horas generadas para fosfato a distintas profundidades en la columna del sedimento para El Hotel el 14 y 15 de marzo.	30
8a	Series de tiempo generadas para amonio de los grupos de colectores a distinta profundidad en la columna del sedimento. En el cuadro superior se muestra la marea en El Hotel el 15 de junio.	31
8b	Series de tiempo generadas para amonio de los grupos de colectores a distinta profundidad en la columna del sedimento. En el cuadro superior se muestra la marea en El Hotel el 16 de junio.	32
9a	Series de tiempo generadas para fosfato de los grupos de colectores a distinta profundidad en la columna del sedimento en El Hotel el 15 de junio.	33

LISTA DE FIGURAS (cont.)

Figura		Página
9b	Series de tiempo generadas para fosfato de los grupos de colectores a distinta profundidad en la columna del sedimento en El Hotel el 16 de junio.	34
10a	Valores obtenidos para amonio (A) y fosfato (B) a distintas profundidades en la columna del sedimento (o 5 cm; + 15 cm y □ 40 cm). En el cuadro superior se muestra la marea para La Grulla el 17 de junio.	35
10b	Series de tiempo generadas para amonio (A) y fosfato (B) a distintas profundidades en la columna del sedimento (o 0 cm; + 5 cm; □ 15 cm y x 40 cm). En el cuadro superior se muestra la marea en La Grulla el 18 de junio.	36
11	Series de tiempo generadas para amonio, utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación en El Hotel el 15 de junio.	40
12	Series de tiempo generadas para amonio, utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación en El Hotel el 16 de junio.	41
13	Series de tiempo generadas para fosfato utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación en El Hotel el 15 de junio.	42
14	Series de tiempo generadas para fosfato utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación en El Hotel el 16 de junio.	43
15	Series de tiempo generadas para amonio utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación. En el cuadro superior se muestra la marea en La Grulla el 17 de junio.	44

LISTA DE FIGURAS (cont.)

Figura		Página
16	Series de tiempo generadas para amonio utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación. En el cuadro superior se muestra la marea en La Grulla el 18 de junio.	45
17	Series de tiempo generadas para fosfato utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación en La Grulla el 17 de junio.	47
18	Series de tiempo generadas para fosfato utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación en La Grulla el 18 de junio.	48

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Densidad bacteriana a diversas profundidades en la columna del sedimento en El Hotel y La Grulla en junio. PROF es la profundidad; H.V. heterótrofas viables; S.R. sulfato reductoras.	50
II	Estadísticas de las series de tiempo que se generaron para caracterizar la variación vertical y temporal de NH_4 y PO_4 para los colectores muestreando a diferentes profundidades y a 15 cm y con distinta separación alineados perpendicular (A) y paralelamente (B) a la línea de playa en El Hotel y La Grulla en marzo y junio.	58
III	Coefficientes de correlación cruzada (CCE) y tiempos de retardo (desfas) entre las series de tiempo de NH_4 y PO_4 y las del nivel del mar. Z es la profundidad en el sedimento para los muestreos de marzo. Para junio se usaron los resultados de los colectores muestreando a 15 cm de profundidad y con distinta separación, en una línea de 2.45 m; se utilizó el promedio de cada grupo de colectores. DESFAS es el desfasamiento entre las series de nutrientes y las de marea, en horas. NS es no significativo.	64

DISTRIBUCION ESPACIO-TEMPORAL DE AMONIO Y FOSFATO EN LAS AGUAS
INTERSTICIALES DE MARISMAS DE UNA LAGUNA COSTERA DEL NOROESTE DE
BAJA CALIFORNIA

I. INTRODUCCION

Las lagunas costeras son importantes porque en ellas existen pesquerías y maricultivos, actual o potencialmente; por la abundancia y diversidad de flora y fauna, y diversos eslabones de la cadena alimenticia. También son importantes por la disponibilidad de alimento, por ser usadas de refugio y de reproducción de diversas especies (Burton, 1976, 1978; Mee, 1979; Day y Yañez Arancibia, 1982; Yañez Arancibia, 1986). Son de gran interés económico porque se utilizan para asentamiento de desarrollos urbanos, comerciales, industriales y turísticos.

En las lagunas costeras existen mecanismos naturales de fertilización que aumentan la concentración de nutrientes inorgánicos disueltos en la columna de agua, por remineralización del material orgánico. Un mecanismo importante de fertilización es el proceso de transporte de estos nutrientes del sedimento a la columna de agua por difusión y advección (por percolación) de las aguas intersticiales (Camacho Ibar y Alvarez Borrego, 1988; Aguiñiga García y Alvarez Borrego, 1989). Además, lagunas costeras como las de la parte occidental de Baja California también reciben nutrientes por las surgencias de la zona oceánica adyacente. Estas surgencias se presentan generalmente en primavera y verano (Alvarez Borrego

y Alvarez Borrego, 1982). Estas aguas ingresan a las lagunas costeras por efecto de las corrientes de marea. Silva Cota y Alvarez Borrego (1988) expresaron que debido a los procesos de remineralización de la materia orgánica, la concentración de los nutrientes en la columna de agua no es limitante para el fitoplancton en estas lagunas.

En nuestro País se han realizado pocos trabajos sobre la composición química y mineralógica de los sedimentos de lagunas costeras (Páez Osuna et al., 1983a, Páez Osuna et al., 1983b; Páez Osuna et al., 1984; Green Ruíz et al., 1983; Camacho Ibar y Alvarez Borrego, 1988; Aldeco y Ortega, 1987; Aguiñiga García y Alvarez Borrego, 1989). Estos estudios han sido importantes para comprender los mecanismos que controlan la tasa de remineralización de nutrientes y los comportamientos de los ciclos biogeoquímicos de elementos importantes para los procesos de la vida, como el nitrógeno y el fósforo (Murray et al., 1978; Martens et al., 1978; Seitzinger et al., 1980; Waples y Sloan, 1980; Klump y Martens, 1981; Gieskes et al., 1982; Gieskes y Nevsky, 1983; Mackin y Aller, 1984; Kaspar et al., 1985; Malcolm et al., 1986).

El agua intersticial puede moverse y modificar sus características en su trayecto a través de los sedimentos. Esto es función de factores geológicos, biológicos, físicos y físico-químicos. Un factor geológico importante es el tamaño y forma de grano que modulan el porcentaje de porosidad y la permeabilidad del sedimento, así como el intercambio aniónico-catiónico (Mackin

y Aller, 1984).

Los factores biológicos están relacionados con el tipo de organismo (plantas, crustáceos, moluscos, anélidos, gasterópodos, aves y bacterias), y su tamaño, grado de locomoción, densidad poblacional, con la localización del hábitat de la epi e infauna, con sus hábitos de búsqueda de alimentos (método de alimentación, selectividad del alimento, nivel relativo de alimentación). Los organismos mezclan la capa superficial y subsuperficial del sedimento, modificando la distribución y concentración vertical y horizontal de especies químicas disueltas y particuladas. Esta mezcla es ocasionada por los conductos que ellos forman, por el movimiento del sedimento que es extraído durante la construcción y mantenimiento de estos conductos, y por la circulación del agua en los mismos. La longitud, número por unidad de área, profundidad y diámetro de los conductos son factores importantes. Además de alterar algunas propiedades en el sedimento, la fabricación de estos conductos también modifica las características del agua intersticial (Aller, 1982; Rhoads y Boyer, 1982; Berner y Westrich, 1985).

Las raíces de las plantas absorben o liberan compuestos químicos del o al medio, modificando su composición. Por ejemplo, el pasto marino (Zostera marina) absorbe fósforo por las raíces y lo excreta por las hojas. McRoy et al. (1972) reportaron que típicamente, en época de crecimiento, este pasto absorbe $166 \text{ mg P} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ de los sedimentos, asimila 104 y excreta 62 hacia la columna de agua. La

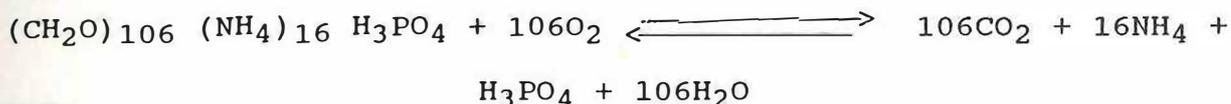
densidad y diversidad de bacterias degradadoras de material orgánico afectan la composición del sedimento, al generar gradientes y zonación del material vivo y muerto en su interior. El metabolismo de estas bacterias es afectado por la temperatura (Klump y Martens, 1981).

Algunos factores físicos que modifican las propiedades del sedimento son: la velocidad de depositación y sepultamiento del material orgánico; el viento, que a través del oleaje perturba y resuspende el material superficial depositado; las corrientes, que redistribuyen los materiales (Kennish, 1986); y los cambios del nivel del agua, que causan percolación de la misma en los sedimentos (Camacho Ibar y Alvarez Borrego, 1988).

Los efectos fisicoquímicos incluyen: el suministro de agentes oxidantes, que aceleran el proceso de degradación de la materia orgánica por bacterias; la absorción y adsorción de especies químicas en las partículas de los sedimentos, y los procesos inversos. Esto ocasiona cambios en la concentración de los nutrientes del agua intersticial. Además, el material orgánico del sedimento se encuentra sujeto a diagénesis continua que depende de las condiciones del potencial redox del medio (Berner, 1980) y de la composición del material (Malcolm et al., 1986). Esta degradación es llevada a cabo por bacterias.

I.1. Mecanismos de degradación de la materia orgánica

En medio aeróbico los procesos catalíticos, que involucran el desdoblamiento de moléculas grandes a moléculas más simples o especies inorgánicas, generalmente siguen una secuencia de acción dependiendo de la naturaleza del agente oxidante y origen de la energía (Berner, 1980). Primeramente consumen el oxígeno disuelto del medio, necesario para iniciar el proceso degradativo siguiendo la reacción hipotética descrita por Redfield et al. (1963), de acuerdo con Redfield (1934):



Cuando la concentración del oxígeno disuelto ha disminuido a niveles alrededor del 5% del nivel de saturación, por efecto de bacterias aerobias, continúa la transformación de la materia orgánica mediante la utilización del oxígeno de nitratos (NO_3) y nitritos (NO_2) como nuevos agentes oxidantes. A este proceso se le denomina denitrificación (Berner, 1980; Seitzinger et al., 1980; Kaspar et al., 1985) y es realizado por bacterias de los géneros Pseudomonas sp., Thiobacillus sp. y Spirillum sp. (Dugan, 1972; Bott, 1976). La denitrificación se puede expresar simplificada de la manera siguiente:

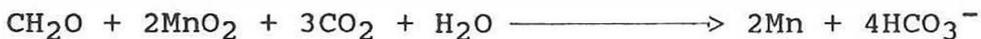


La denitrificación altera las proporciones entre el oxígeno consumido y el nitrógeno (NH_4 , NO_3 , NO_2) y el fosfato (PO_4) producidos por la degradación de la materia orgánica (Seitzinger et al., 1980).

El NH_4 producido puede ser oxidado a NO_2 y NO_3 por bacterias nitrificantes (Price, 1976; Seitzinger et al., 1980; Mackin y Aller, 1984) de los géneros Nitrosocystis sp., Nitrosomonas sp. y Nitrobacter sp. (Dugan, 1972). Sin embargo, bajo condiciones en que el oxígeno disuelto ha sido realmente abatido, la especie química de nitrógeno que se forma por excelencia es el NH_4 .

Cuando el oxígeno del medio ha sido totalmente consumido, las bacterias aeróbicas son reemplazadas por las anaeróbicas (Foynt, 1971; Warren, 1971; Brooks, 1978), las cuales son capaces de continuar con el desdoblamiento de compuestos orgánicos mediante la utilización del oxígeno que se encuentra combinado en forma de óxidos de manganeso, de fierro y de iones sulfato. En los sedimentos de lagunas costeras bastan unos pocos milímetros de profundidad para que esta condición anaeróbica se presente (Alvarez Borrego et al., 1988). Estas reacciones generales pueden ser idealizadas de la manera siguiente, de acuerdo a Klump y Martens (1981):

Reducción del óxido mangánico:



Reducción del hidróxido férrico:



Reducción del sulfato:



Fermentación del acetato:



Reducción del bióxido de carbono:



Una vez en el agua intersticial, los nutrientes inorgánicos pueden ser transportados hacia la columna de agua por la actividad microbiótica y por procesos físicos. Estos procesos ocurren en la columna sedimentaria, en la interfase sedimento-agua y en la columna de agua (Klump y Martens, 1981; Gieskes et al., 1982; Camacho Ibar y Alvarez Borrego, 1988; Aguiñiga García y Alvarez Borrego, 1989).

I.2. Antecedentes para el Estero de Punta Banda

Desde 1975 se han realizado una serie de estudios para caracterizar las concentraciones de nutrientes en la columna de agua del Estero de Punta Banda (Alvarez Borrego et al., 1977; Zertuche González y Alvarez Borrego, 1978; Sánchez Hernández, 1978; Green Ruíz et al., 1983; Millán Nuñez et al., 1981; Soto Balderas y Alvarez Borrego, 1991). La mayoría de los muestreos han sido de aguas superficiales. Sánchez Hernández, (1978) reporta que, en general, en la columna de agua las concentraciones de nutrientes son relativamente uniformes en la parte del Estero adyacente a la barra que lo separa de la Bahía de Todos Santos. Estas concentraciones son similares a las de aguas oceánicas costeras relativamente ricas: 0.5 a 1.2 μM para la concentración de fosfato (PO_4), 0.1 a 1.0 μM para la concentración de nitrato (NO_3), y 1.0 a 8.0 μM para la concentración de silicato (SiO_2). En verano, los valores de PO_4 y de SiO_2 reportados para la parte interna del Estero son mayores que los de la parte adyacente a la boca (hasta más de 5 μM para PO_4 , y hasta más de 30 μM para SiO_2). Ambas propiedades no variaron mucho de la boca a la base de la barra que separa al Estero de la Bahía de Todos Santos, pero aumentaron rápidamente de allí al extremo interno. El NO_3 no mostró un ciclo estacional (Sánchez Hernández, 1978). La concentración de amonio (NH_4) en la columna de agua sólo ha sido medida para una localización en la parte sur-media del brazo corto del Estero por Francisco Ley Lou y sus estudiantes (comunicación

personal, Facultad de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada). Sus muestreos se realizaron a unos 10 cm de la superficie del sedimento. Silva Benavides (1990) reportó que el intervalo de variación de NH_4 fue 12-98 μM de julio a noviembre, con el mínimo en septiembre y el máximo en noviembre. Y reportó valores tan altos de NO_3+NO_2 como 5.6 μM para julio, con un promedio de 3.3 μM para su periodo de muestreo.

Estudios realizados recientemente en las aguas intersticiales de sedimentos de entremareas del Estero revelaron valores de concentración de nutrientes mucho más altos que los que comúnmente se reportan para la columna de agua (Camacho Ibar y Alvarez Borrego, 1988; Aguiñiga García y Alvarez Borrego, 1989). Mediante la generación de series de tiempo de hasta seis horas, estos autores describieron una gran variación temporal y espacial de PO_4 y de NH_4 de los sedimentos de la parte interna del Estero y de un punto de la parte media de la barra. La distribución espacial en forma de manchas, o petacheo, creado principalmente por la biota, y la percolación con las mareas son los principales responsables de estos cambios. Con los limitados datos de estos autores, concluyeron que la mayoría del petacheo horizontal tiene una escala de unos pocos centímetros (del orden de 5-7 cm). La variación vertical de estos nutrientes en el sedimento muestra valores altos a 5-20 cm y mínimos en la superficie del sedimento y a 40 cm. Las aguas intersticiales de los sedimentos del extremo interno presentaron concentraciones

particularmente altas. Verbigracia: a 30 cm de profundidad, PO_4 presentó concentraciones tan bajas como de 20 a 29 μM y tan altas como 103 μM ; y las de NH_4 variaron de 19-55 μM a 220-1970 μM (Camacho Ibar y Alvarez Borrego, 1988). Estas concentraciones son hasta cinco veces más altas que las reportadas por Aguiñiga García y Alvarez Borrego (1989) para el sedimento de la barra del Estero. La diferencia se atribuyó a que el sitio de la barra del Estero es más energético, con corrientes de marea mucho más fuertes que en el extremo interno. Alvarez Borrego et al. (1988) reportaron que no hay concentraciones detectables de nitratos y nitritos por debajo de 10 cm de profundidad en los sedimentos de entremareas del Estero, por lo cual se debe tomar al NH_4 como la especie química representativa del nitrógeno inorgánico disuelto en el agua intersticial.

I.3. OBJETIVOS

Mi trabajo de tesis tiene como objetivo general el complementar los estudios realizados por Camacho Ibar y Alvarez Borrego (1988) y Aguiñiga García y Alvarez Borrego (1989), mediante la generación de series de tiempo más largas (hasta 36 horas). Debido a las limitaciones de tiempo y personal, y considerando el aumento de trabajo que implica el generar series de tiempo hasta seis veces más largas que las generadas por estos autores, me limité a dos variables, NH_4 y PO_4 . Mis objetivos particulares fueron los siguientes:

- A) Determinar la variación temporal del perfil vertical de NH_4 y PO_4 en el agua intersticial del sedimento de dos localizaciones del Estero de Punta Banda, en el extremo interno y en la barra, a través de por lo menos dos ciclos de marea, .
- B) Determinar la variación espacio-temporal de estas especies químicas en ambas localizaciones, en una dimensión de varios centímetros a más de 2 metros, en el sentido horizontal, y por lo menos a través de un ciclo de marea completo.
- C) Estudiar la posible relación entre los cambios de estas propiedades químicas y las poblaciones de bacterias heterótrofas viables y sulfato-reductoras en el sedimento.
- D) Estudiar la relación que pueda haber entre los cambios de éstas propiedades químicas y la marea.

I.4. HIPOTESIS DE TRABAJO

- 1.- Los valores de NH_4 y PO_4 en la Grulla (extremo interno) son consistentemente mayores que los de la barra arenosa (Hotel) (para localización ver figura 1)
- 2.- Los valores de NH_4 y PO_4 son mayores en verano que a finales de invierno, en ambas localidades.
- 3.- La concentración de estas especies químicas disueltas en el agua intersticial se correlacionan con los cambios en las poblaciones de bacterias.
- 4.- El mayor petacheo horizontal de estas propiedades, en una misma localidad, se encuentra en una escala de pocos centímetros.

5.- Los cambios en la concentración de estas especies químicas en el agua intersticial se correlacionan con los cambios en el nivel de la marea.

II. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El Estero de Punta Banda es una laguna costera localizada entre $31^{\circ} 41' - 31^{\circ} 46' N$ y $116^{\circ} 37' - 116^{\circ} 39' W$, en la costa del Pacífico de Baja California, México, en el extremo sureste de la Bahía de Todos Santos (Fig. 1); a unos 100 Km al Sur de la frontera con Estados Unidos. El Estero tiene forma de L, con un brazo corto de aproximadamente 3 Km y un brazo largo de aproximadamente 7.5 Km. Su boca está permanentemente abierta en su parte norte. A lo largo de la L existe un canal de profundidad variable y disminuye hacia la cabeza. La anchura promedio es de aproximadamente 345 m y 1100 m en marea baja y alta respectivamente. Grandes áreas de planos fangosos se cubren y descubren periódicamente con la marea. Las marismas presentan una serie de canales sinuosos de longitud y amplitud variables. Las corrientes de marea acarrean en estos canales material orgánico y sedimentos. Las mareas son semidiurnas y presentan amplitudes de hasta 2.5 m (Pritchard et al., 1978). El efecto que produce la marea en el Estero es muy notable porque más del 60% del agua del mismo puede llegar a ser evacuada en bajamar, en mareas vivas, quedando sólo el canal principal con agua.

A unos trece km de la boca de la laguna está la zona de surgencias costeras de Punta Banda, en el océano abierto al suroeste. Las surgencias ocurren en primavera y verano, y en algunas ocasiones las aguas afloradas son acarreadas a la boca del Estero por las corrientes costeras y al interior de la laguna por las corrientes

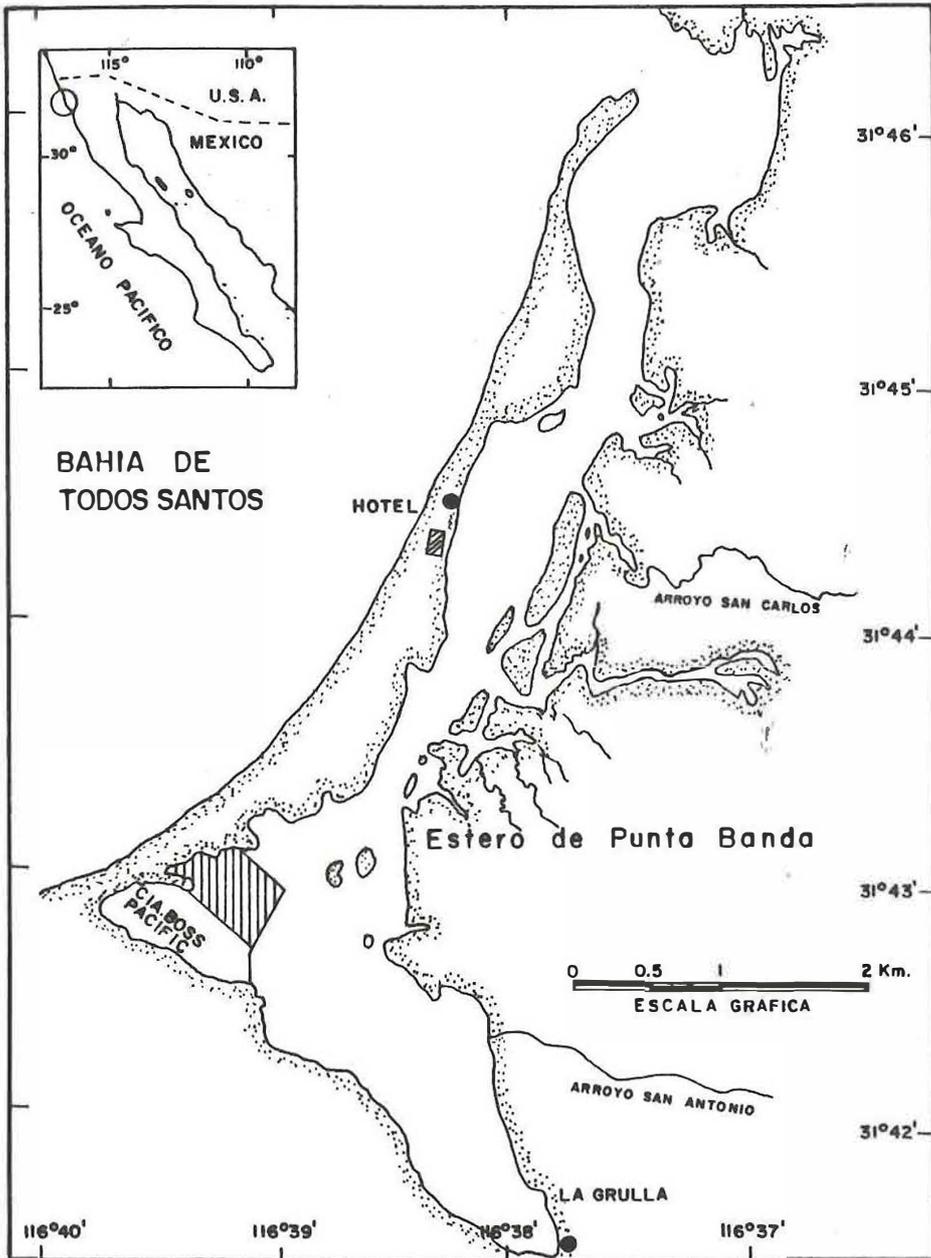


Fig. 1 Localizacion de la zona de Estudio.

de marea (Alvarez Borrego y Alvarez Borrego, 1982). Estas aguas de surgencia arriban al Estero con altas abundancias de fitoplancton ya que en la trayectoria hasta la laguna ha habido tiempo para que proceda la fotosíntesis y se consuma una fracción elevada de los nutrientes inorgánicos (Millán Núñez et al., 1981).

El Estero tiene unos 3.3 km² de marismas con macrovegetación y se encuentran localizadas principalmente del lado de tierra y sólo un poco en la barra que separa al Estero del mar, hacia el vértice de la L. La distribución vertical de la marisma baja está en el intervalo 0.68-1.95 m con respecto al nivel de baja mar media inferior. Cerca de la boca del Estero la marisma baja está dominada por una mezcla de Spartina foliosa, Salicornia virginica, Batis maritima y Suaeda esteroa, siendo la primera la más abundante (Ibarra Obando y Poumiam Tapia, 1992). En el extremo interno del Estero, en las partes más bajas de la marisma existen parches de algas verdes (Enteromorfa sp. y Ulva sp.) pero el alga dominante es Gracilaria pacifica, y de nuevo la vegetación está dominada por S. foliosa. Los organismos más abundantes que están asociados con la vegetación de las marismas son los moluscos Melampus olivaceus, Cerithidea californica, Bulla gouldiana y Nassarius tegula, y los crustáceos Cancer antennarius, Uca crenulata, Callinacea californiensis y C. gigas (Ibarra Obando y Poumiam Tapia, 1992).

Entre los peces del Estero destacan los lenguados Paralichthys californicus, Pleuronchthys decurrens, las rayas Urolophus halleri,

Geymnura marmorata y Haliobatis californica, la corbina Menticirrhus undulatus, y las cabrillas Paralabrax maculatofasciata (Beltrán Félix et al., 1986). Palacios et al., (1991) mencionan que hay 13 especies de aves comúnmente conocidas como zarapicos que se presentan en el Estero de Punta Banda. Las más comunes con picos de 10-15 cm de longitud son Limosa fedoa, Catoptrophorus semipalmatus y Numenius americanus; entre 5-10 cm Limnodromus sp.; y con longitudes menores de 5 cm Caladris sp., Pluvialis squatarola y Charadrius alexandrinus. Esta última especie es residente, las demás son migratorias y son más abundantes en el invierno (Eduardo Palacios Castro, comunicación personal, CICESE).

El clima de la región es tipo mediterráneo, caracterizado por veranos secos y tibios y por inviernos fríos y con lluvias. No hay aporte permanente de agua dulce superficial al Estero. El arroyo San Antonio localizado en la parte media del brazo corto del Estero y el arroyo San Carlos localizado hacia la porción media del brazo largo, aportan agua y sedimento en época de lluvia (diciembre-abril). En el período 1982-83 hubo una precipitación pluvial relativamente alta y se reportó un mínimo de salinidad de 6 0/00 cerca del vértice de la L (Alvarez Borrego et al., 1984). Sin embargo, en general durante todo el año se presentan gradientes horizontales de salinidad con valores aumentando de la boca hacia el interior de la laguna (Acosta Ruíz y Alvarez Borrego, 1974; Celis Ceseña y Alvarez Borrego, 1975) debido al exceso de evaporación en la laguna. El Estero de

Punta Banda corresponde al patrón de marismas del sur de California, las cuales son caracterizadas por su dependencia de las mareas como aportadoras de humedad (Zedler, 1982; citada por Ibarra Obando y Escofet, 1987).

El Estero se clasifica como una laguna neutra; la densidad de sus aguas es igual o casi igual a las de la Bahía de Todos Santos y el movimiento del agua es causado solamente por las mareas y el viento (Pritchard et al., 1978). Las corrientes más fuertes se registran en la boca del Estero y su amplitud decrece hacia la cabeza. La velocidad y dirección de las corrientes de marea tienen una componente longitudinal a lo largo del eje principal del Estero y algunos componentes laterales en dirección transversal. La corriente no astronómica es muy lenta ($5 \text{ cm}\cdot\text{seg}^{-1}$) comparada con el máximo de la corriente astronómica (50 a $100 \text{ cm}\cdot\text{seg}^{-1}$) durante flujo y reflujo (Pritchard et al., 1978). La transparencia del agua decrece de la boca a la cabeza (Millán Núñez et al., 1981).

Las áreas de muestreo fueron ubicadas en dos localidades (Fig. 1): una en el extremo más interno (La Grulla), en una marisma poco desarrollada caracterizada en la parte baja (con respecto al nivel de bajamar media inferior) por plantas halófitas de Spartina foliosa y en la parte media por S. foliosa de menor tamaño que la anterior, Batis maritima y Salicornia virginica, y donde la pendiente es casi horizontal con grandes extensiones superficiales de sedimentos que quedan expuestas en marea baja; la segunda localidad (El Hotel)

está ubicada en el lado interior de la porción media de la barra arenosa que separa al Estero de la Bahía, donde se encuentran lodos fangosos libres de pastos marinos, y con una pendiente más pronunciada que en el primer lugar.

No se hizo un estudio de la fauna presente en ambas localidades; sin embargo, observamos grandes cantidades de cangrejo violinista (Uca sp.), de cangrejo azul (Callinectes sp.), y otros crustáceos, además de moluscos, anélidos, gasterópodos y aves playeras (zarapicos).

III. MATERIALES Y METODOS

En ambas localizaciones se realizaron dos tipos de muestreo de agua intersticial para análisis de amonio (NH_4) y fosfato reactivo (PO_4). Se muestreó en marzo y en junio de 1989. En el primer tipo se muestreó durante 36 horas para estudiar la variación temporal de los perfiles de variación vertical. En el segundo se muestreó durante 8 horas para estudiar la variación temporal de la distribución horizontal de escala pequeña de estas propiedades.

En marzo sólo se realizó el primer tipo de muestreo y en junio los dos. El 9 y 10 de marzo se muestreó en La Grulla, y el 14 y 15 de marzo en El Hotel. Y el 15 y 16 de junio se muestreó en El Hotel, y el 17 y 18 de junio en La Grulla.

En los dos casos la colecta del agua intersticial se realizó con un muestreador in situ diseñado por Alvarez Borrego et al. (1988) (Fig. 2). En el primer tipo de muestreo se colectó sólo en un punto, de 0, 5, 15 y 40 cm de profundidad. El intervalo de muestreo fue de 30 minutos. Cuando la columna de agua era muy pequeña (pocos cm ó mm), las muestras de 0 cm fueron tomadas directamente con una jeringa del agua inmediatamente suprayacente al sedimento. El 17 de junio, en La Grulla, no se pudieron tomar muestras de agua de 0 cm por lo seco de la superficie del sedimento, y fue imposible generar series de tiempo para las otras profundidades, sólo se pudo coleccionar agua para unas 2 o 3 muestras por profundidad.

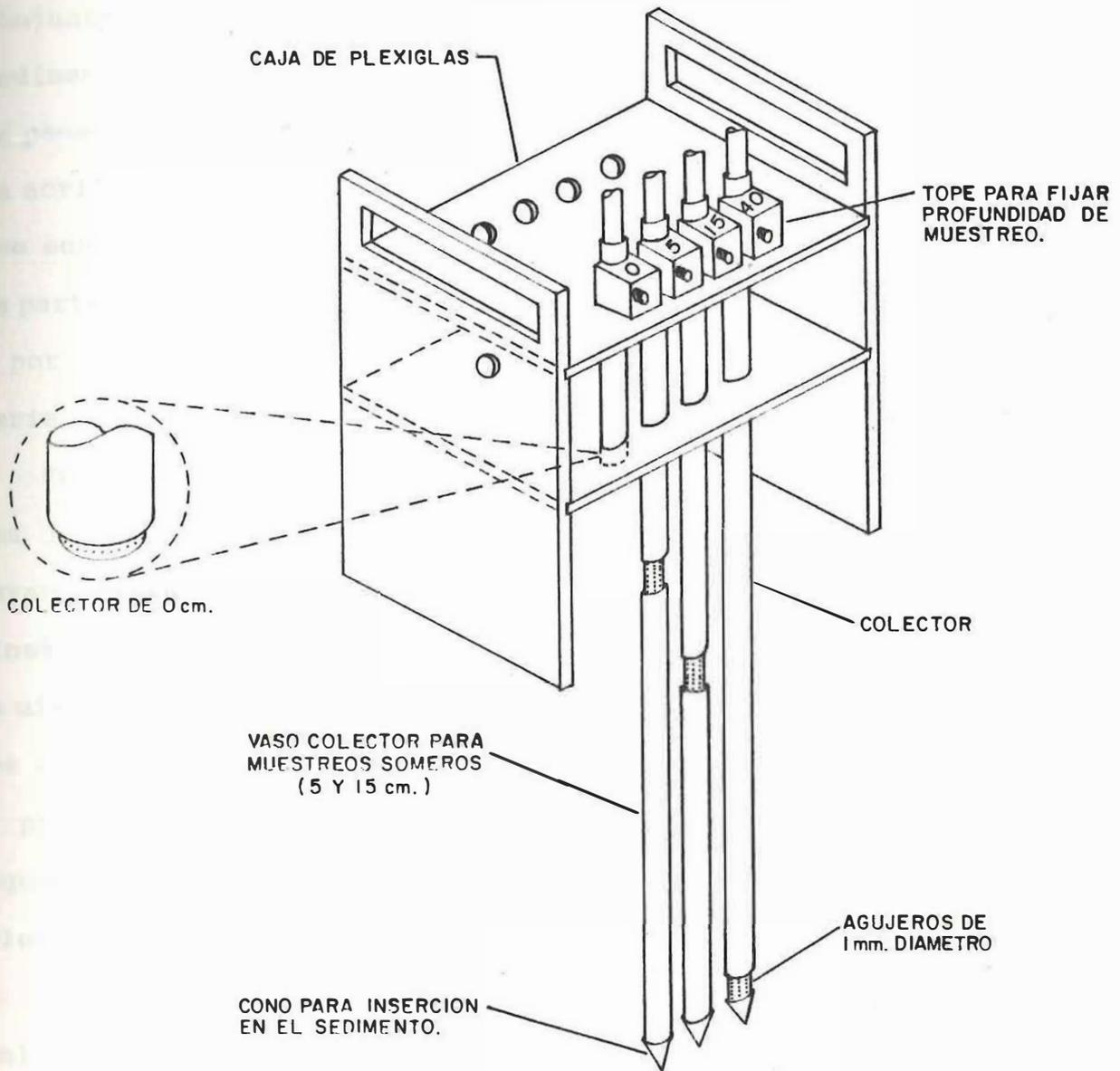


Fig. 2. Muestreador in situ de aguas intersticiales utilizado para el estudio. Modificado de Alvarez Borrego et al., (1988).

El muestreador in situ de agua intersticial consiste en un conjunto de tubos cilíndricos de acrílico que se incrustan en el sedimento de acuerdo con la profundidad de muestreo. Para asegurar la penetración vertical de estos tubos, se montan en una caja también de acrílico, con una serie de hoyos en las placas superior e inferior que son paralelas y que se posicionan a nivel. Los tubos tienen en la parte inferior un cono para facilitar su inserción en el sedimento; y por encima de este cono hay una banda de 1 cm de ancho con una serie de orificios de 1 mm de diámetro para la colecta del agua.

En el segundo tipo de muestreo se colocaron 20 colectores en una línea de 2.45 m. El intervalo de muestreo fue de una hora. Durante el primer día de trabajo en cada localidad se colocó la línea perpendicular a la playa y en el segundo día fue paralela a la misma. Todos los colectores tomaron agua de 15 cm de profundidad. Los colectores se alinearon en cuatro grupos de cinco cada uno: en el primero los colectores estaban separados entre sí 5 cm; en el segundo 10 cm; en el tercero 15 cm; y en el último 20 cm. Los colectores fueron marcados para conocer su posición en la línea.

Para no perturbar el sedimento al colocar los colectores y realizar el trabajo durante todo el período de muestreo, se pusieron una serie de tablas de "triplay" para pisar sobre ellas; para evitar que estas tablas se movieran durante la pleamar se enlazaron unas con otras mediante anclajes en forma de T. Además se colocó una serie de postes para sostener un cable eléctrico y contar con luz

en el area de muestreo durante la noche; la fuente de electricidad fué una batería de camión. En la playa se instaló un laboratorio de campo con una mesa grande de madera en la que se instalaron los sistemas de filtración.

En la extracción de las muestras se empleó para succión una jeringa de plástico de 50 ml de capacidad, y una manguera delgada colocada desde el fondo del tubo colector hasta 1.5 m de longitud. En el extremo de cada grupo de mangueras de los colectores con la misma separación se le adaptó un pequeño flotador. Todas las mangueras fueron marcadas según el número del colector de que provenían. Se empleó una jeringa y una manguera por colector. Las jeringas fueron marcadas para que les correspondiera el mismo número. De esta manera se muestreaba en pleamar aún con una columna de agua de más de un metro sobre la superficie del sedimento.

El objetivo primordial de largo plazo de este tipo de estudios es llegar a describir el mecanismo de fertilización de la laguna costera mediante el transporte de nutrientes del sedimento a la columna de agua. Cuando el agua intersticial se percola hacia afuera del sedimento, tiene contacto con el aire o se mezcla con agua de la columna que tiene oxígeno disuelto. Cualquier efecto de oxidación, directo o indirecto, que afecte a las formas disueltas de los nutrientes, lo hará de una manera similar en una muestra en contacto con el aire. Por ello el muestreo fue aeróbico, no se utilizó una atmósfera inerte para preservar las muestras.

Cada vez que se muestreaba agua, se colectaba lo acumulado desde el último muestreo, por lo cual las propiedades deben considerarse como un promedio para el intervalo de muestreo. En general el volumen de las muestras osciló entre 20 y 50 ml. Algunas veces los colectores se colmataron y no se obtuvieron muestras. Por ejemplo, en el primer muestreo realizado en la Grulla, en el colector de 5 cm de profundidad no se obtuvieron muestras después de las primeras 16 horas.

En junio, además de las muestras de nutrientes, se tomaron muestras para análisis de bacterias, en ambas localizaciones. Estas últimas muestras se tomaron sólo en los extremos de la línea de colectores de 2.45 m y sólo en dos ocasiones en cada caso: pleamar y bajamar. Las muestras de bacterias se tomaron de tres profundidades en la columna del sedimento (0, 15 y 40 cm). Para la colecta se emplearon jeringas nuevas en cada toma. Las muestras no fueron filtradas. La siembra se realizó en el campo.

Inmediatamente posterior a la colecta, las muestras de nutrientes se filtraron utilizando un portafiltro de plástico con filtros de membrana de $0.45 \mu\text{m}$ de poro y 25 mm de diámetro. El volumen de agua filtrada fue dividido en dos, una parte para NH_4 y la otra para PO_4 . La muestra de NH_4 fue colocada en un recipiente de plástico, rápidamente fijada con unas gotas de HCl 1N y puesta a congelación con hielo seco en una hielera para su posterior análisis de laboratorio. Para PO_4 la muestra fue colocada en un

recipiente de plástico y se congeló hasta su análisis en laboratorio.

Para el análisis de PO_4 se empleó el método espectrofotométrico descrito por Strickland y Parsons (1972), con las diluciones necesarias debido a las altas concentraciones del agua intersticial. Para efectuar éstas se emplearon 5 ml de las muestras que provenían de la Grulla y 10 ml de las de El Hotel. Cada una de las muestras fue aforada a 100 ml con agua destilada y deionizada.

Para el análisis de NH_4 no se diluyeron las muestras. Cada muestra se inyectó a una burbuja de vidrio, a temperatura ambiente, para determinación de NH_4 mediante electrodo. Esta burbuja es similar a la utilizada por Zirino (1975) para determinaciones de alta precisión de pH (Aguíñiga García, 1988). Dentro de la burbuja se tenía un agitador magnético para homogeneizar la muestra. Se añadieron 50 μ l de una solución básica de NaOH 10 N para transformar el amonio en amoníaco. Se usó un electrodo específico Orion 95-12, conectado a un potenciómetro Orion Research 910. La calibración se realizó con cuatro estándares: 10^{-5} , 10^{-4} , 10^{-3} y 10^{-2} M.

El análisis bacteriológico fue realizado siguiendo la técnica para heterótrofas viables descrita por Hattori (1988) y para sulfato-reductoras descrita por Bianchi et al. (1975).

IV. RESULTADOS

La marea fue viva el 9 y 10 de marzo con una amplitud máxima de 1.8 m. El 14 y 15 de marzo la marea fue muerta con amplitud máxima de 1.3 m. En los días de muestreo de junio la marea se encontraba en una etapa de transición hacia condiciones de marea viva. Las amplitudes máximas fueron de 1.6, 1.7, 1.9 y 1.95 m, en los cuatro días de muestreo respectivamente. El perfil topográfico del Hotel y la Grulla (Fig. 3) muestra el sitio de trabajo para ambas localidades.

En el muestreo del 15 junio el punto más bajo del transecto estuvo 0.1 m bajo el nivel de bajamar media inferior (NBMI). La altura máxima de la columna de agua fue de 1.3 m en el sitio de muestreo.

IV.1. Series de tiempo de perfiles verticales

En general, NH_4 y PO_4 variaron grandemente con la profundidad y el tiempo en La Grulla, tanto en marzo como en junio. En El Hotel, tanto la variación con el tiempo como con la profundidad fue mucho menor que en La Grulla (Figs. 4-10). Las concentraciones de estos nutrientes fueron mucho mayores en La Grulla que en El Hotel. El valor máximo de NH_4 en La Grulla fue más de 1100 μM y se presentó el 18 de junio a 5 cm. Este fue el valor más alto de mi conjunto de datos y correspondió con los valores más altos de PO_4 (200-235

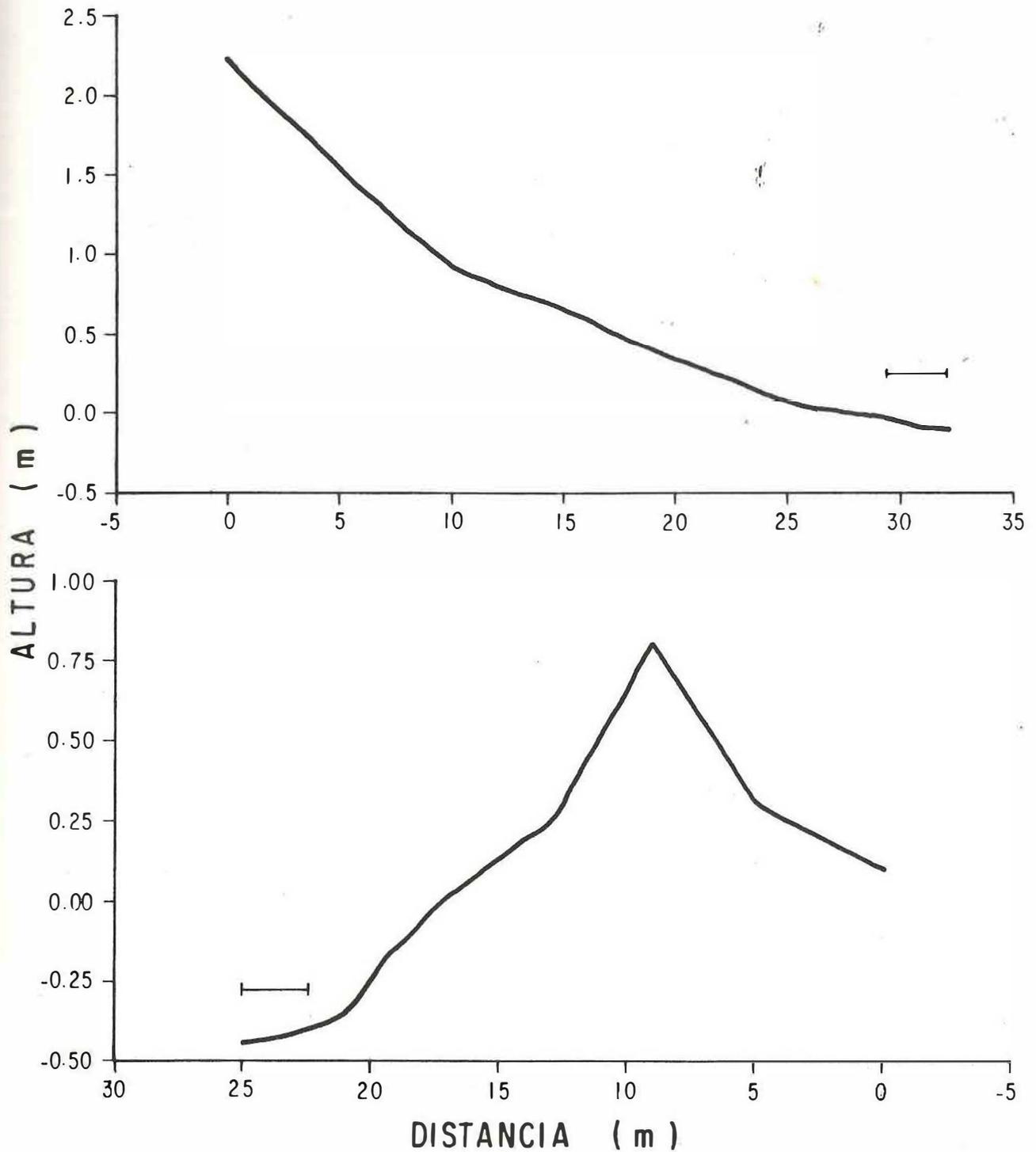


Fig. 3. Perfiles topográficos de La Grulla y El Hotel. La línea gruesa al final del perfil indica el área de trabajo.

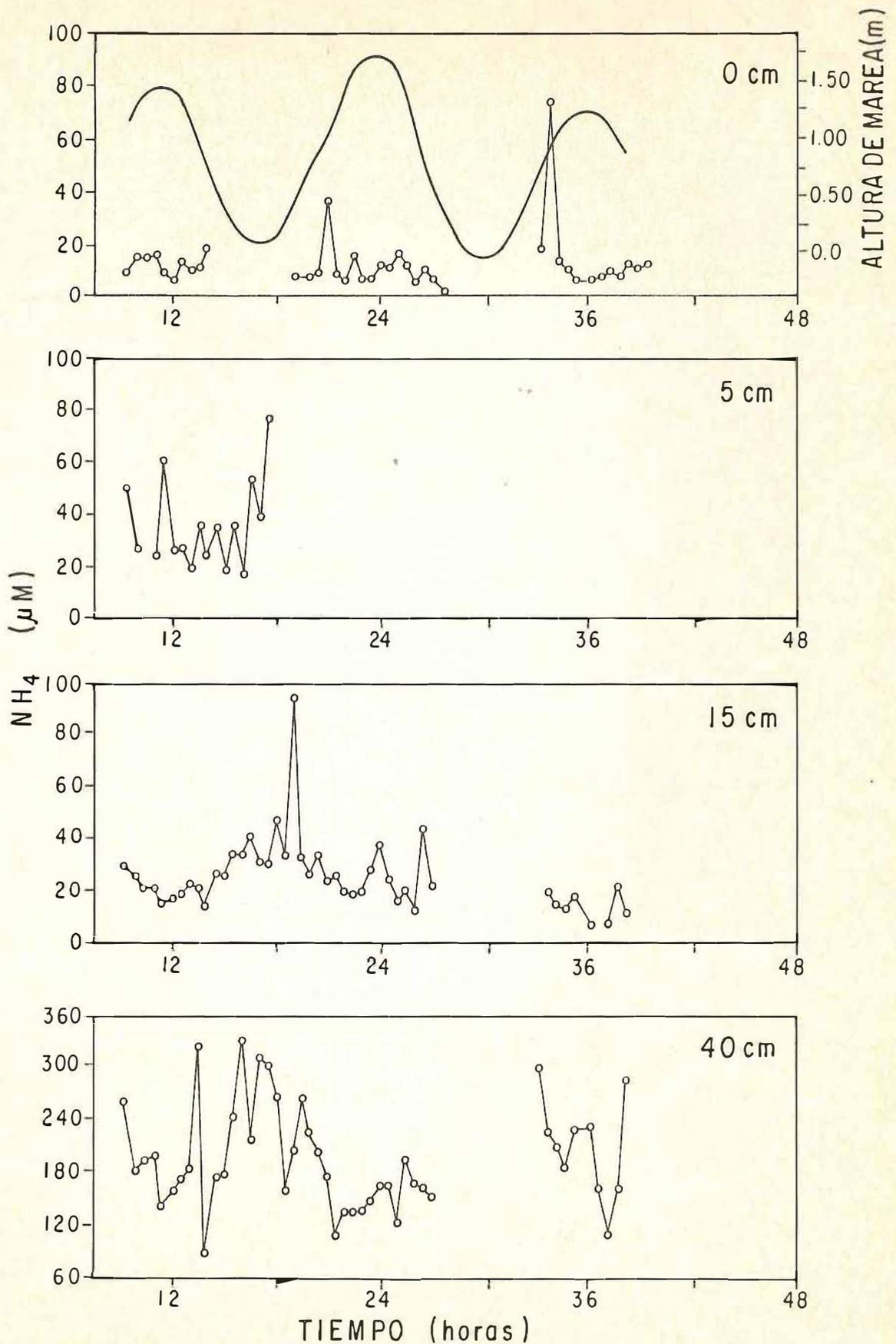


Fig. 4 Series de tiempo de 36 horas generadas para amonio a distintas profundidades en la columna del sedimento. En el cuadro superior se muestra la marea en La Grulla el 9 y 10 de marzo.

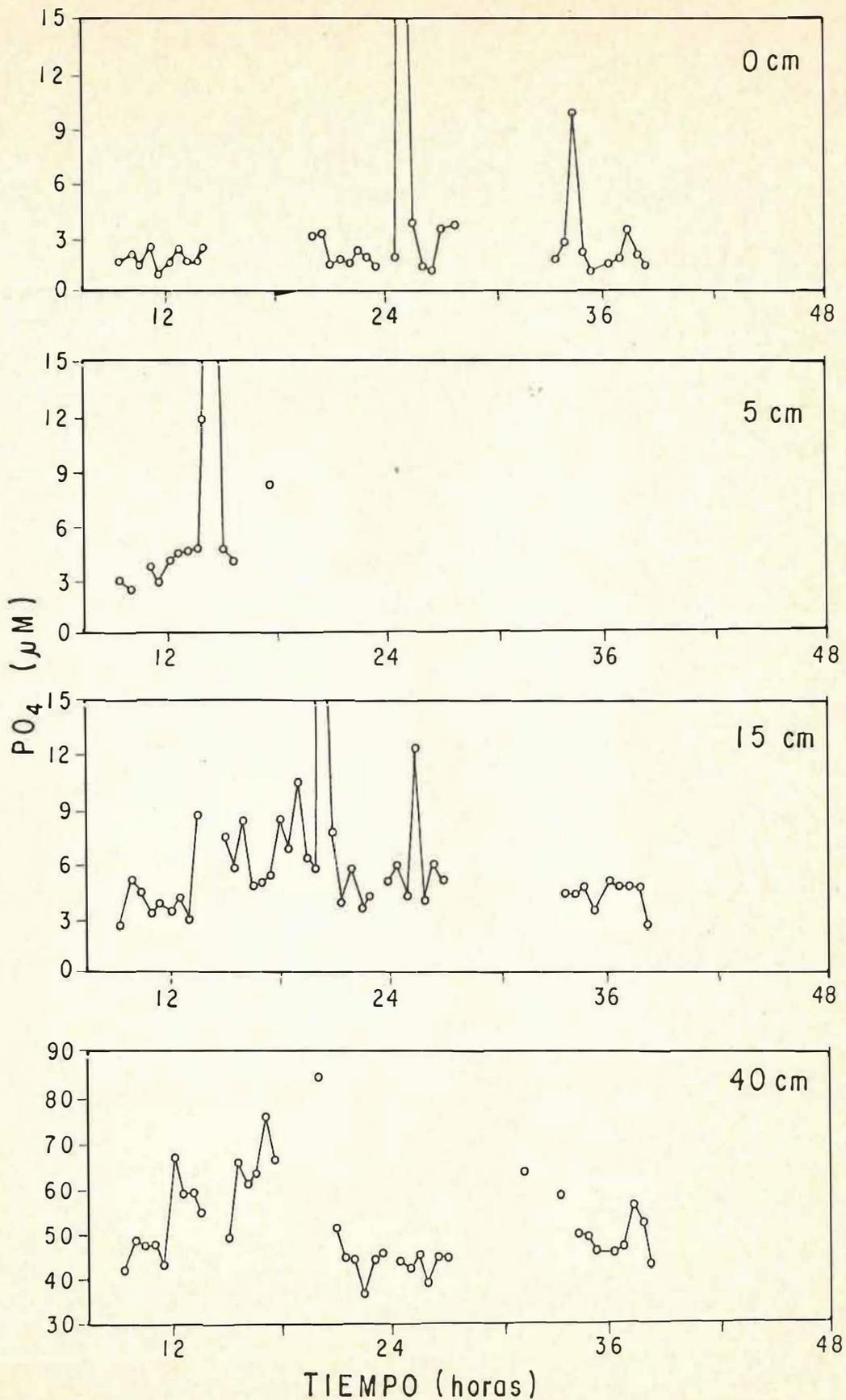


Fig. 5 Series de tiempo de 36 horas generadas para fosfato a distintas profundidades en la columna del sedimento para La Grulla el 9 y 10 de marzo.

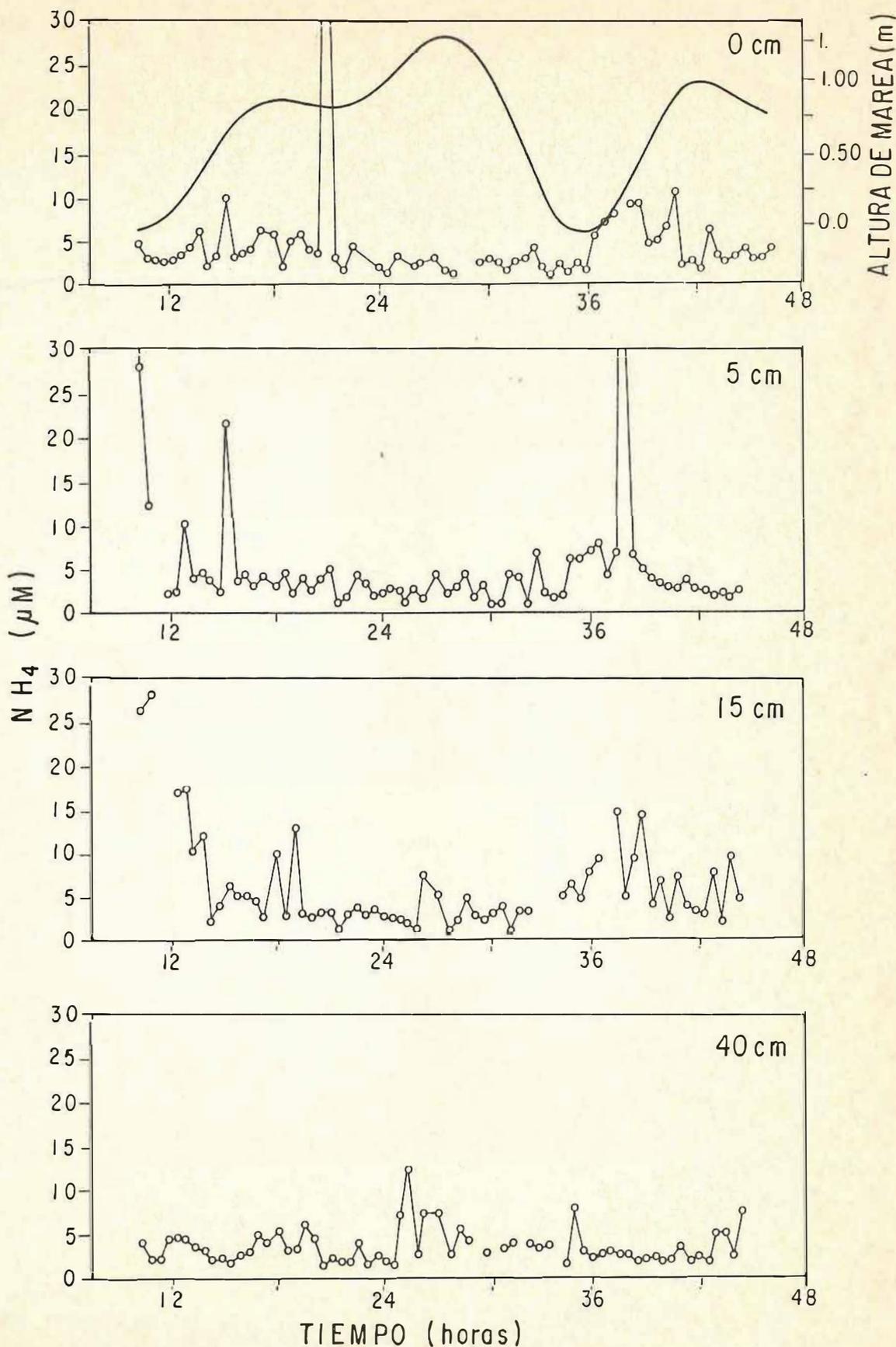


Fig. 6 Series de tiempo de 36 horas generadas para el amonio a distintas profundidades en la columna del sedimento. En el cuadro superior se muestra la marea en El Hotel el 14 y 15 de marzo.

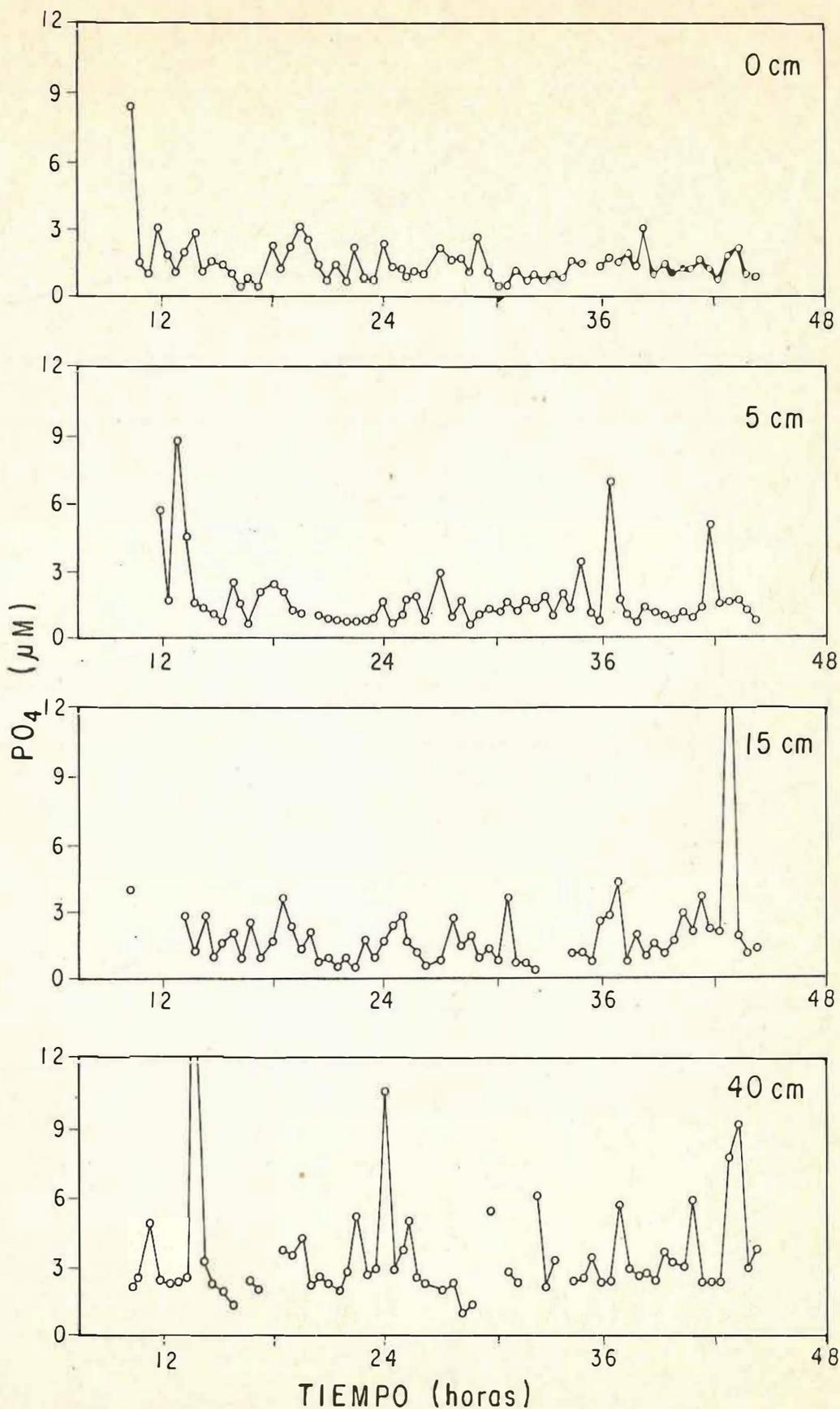


Fig. 7 Series de tiempo de 36 horas generadas para fosfato a distintas profundidades en la columna del sedimento para El Hotel el 14 y 15 de marzo.

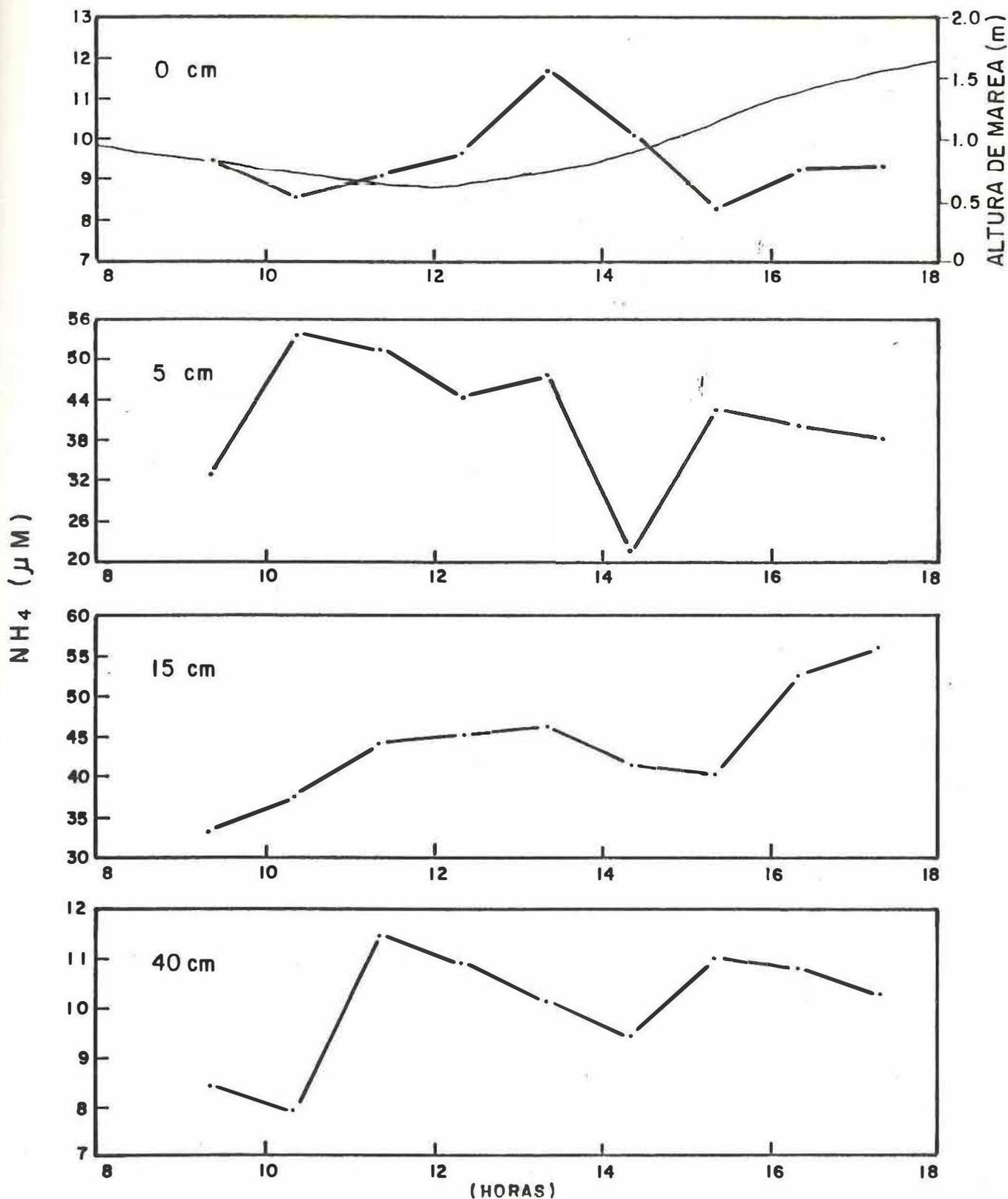


Fig. 8a. Series de tiempo generadas para amonio de los grupos de colectores a distinta profundidad en la columna del sedimento. En el cuadro superior se muestra la marea en El Hotel el 15 de junio.

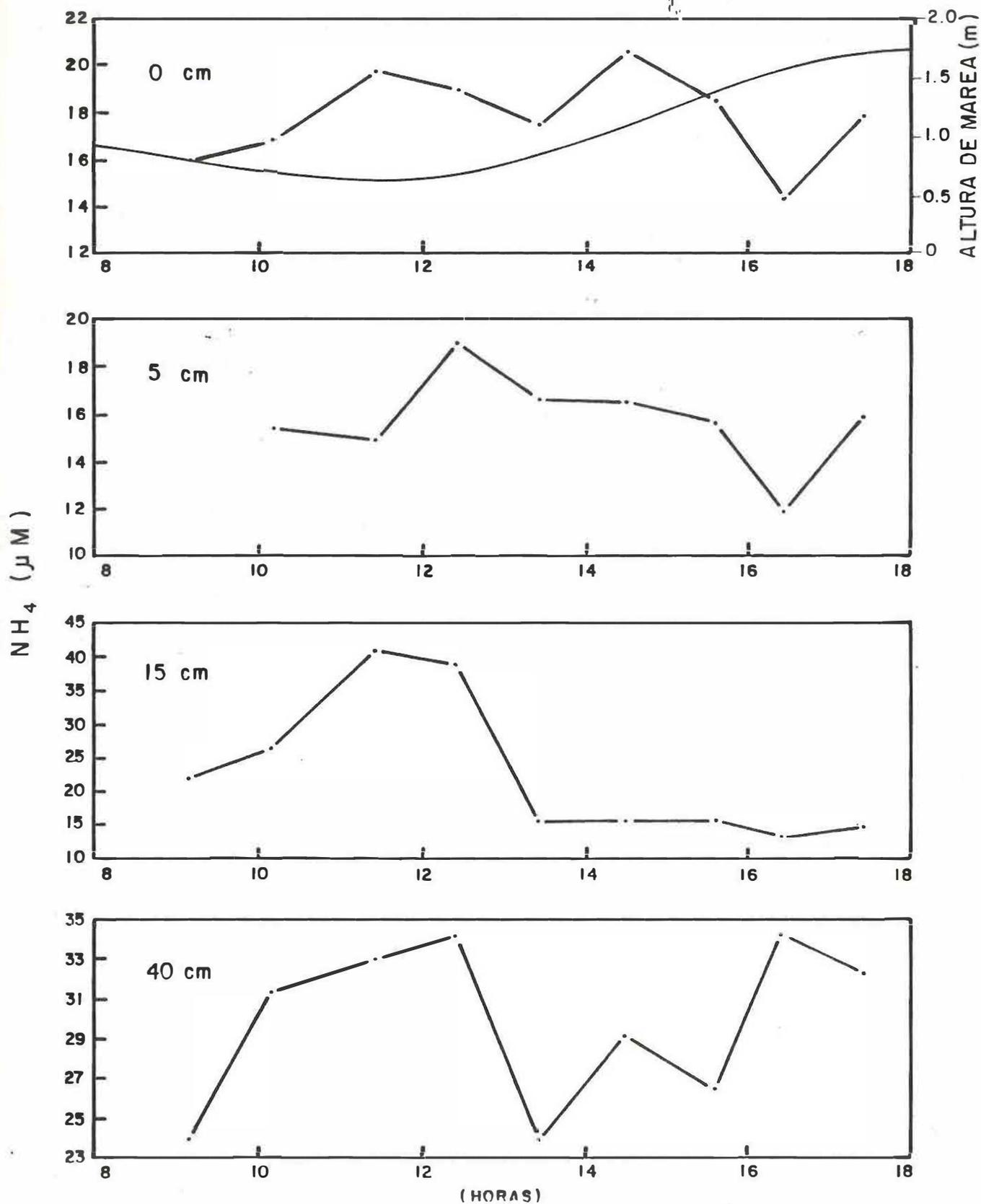


Fig. 8b. Series de tiempo generadas para amonio de los grupos de colectores a distinta profundidad en la columna del sedimento. En el cuadro superior se muestra la marea en El Hotel el 16 de junio.

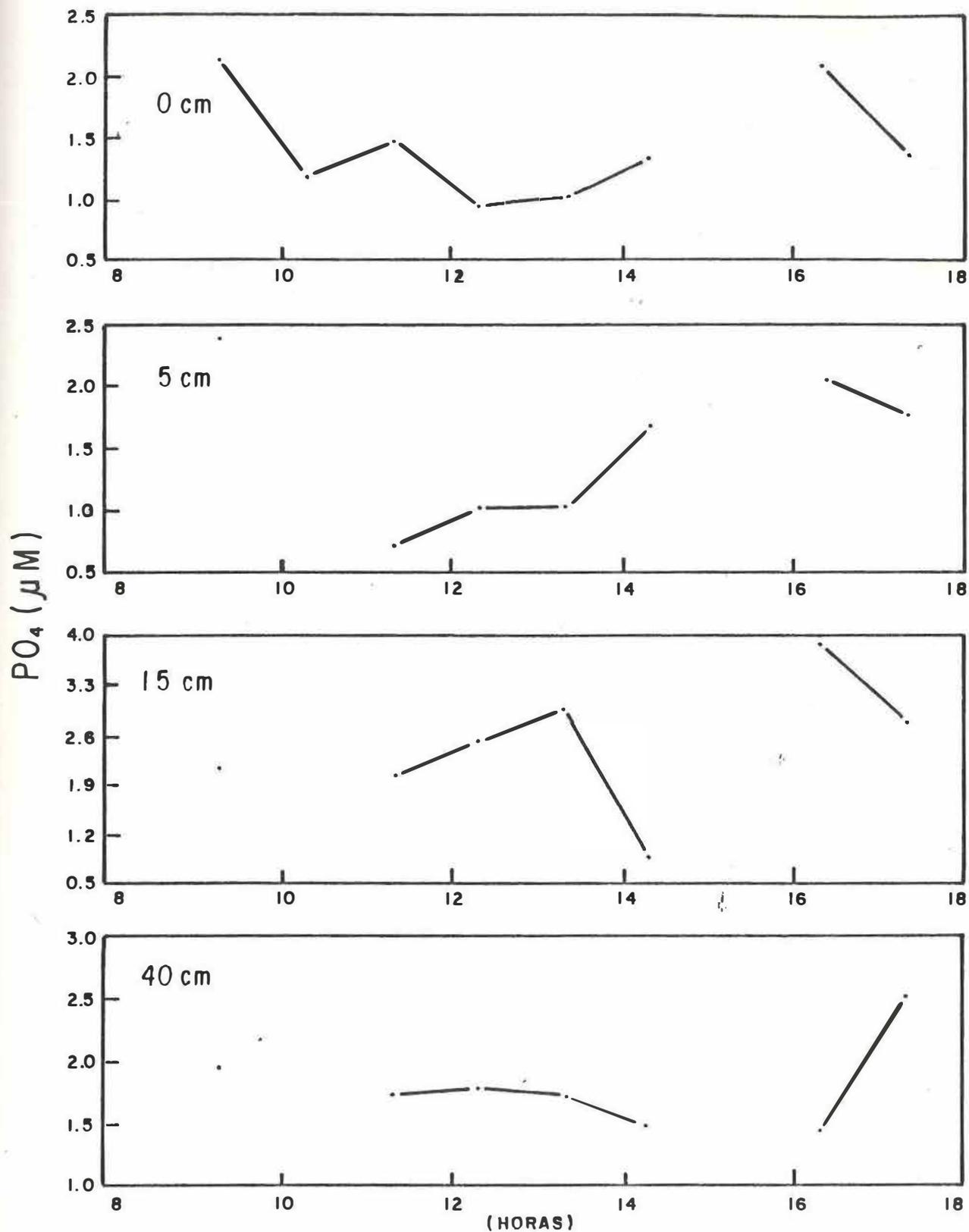


Fig. 9a. Series de tiempo generadas para fosfato de los grupos de colectores a distinta profundidad en la columna del sedimento en El Hotel el 15 de junio.

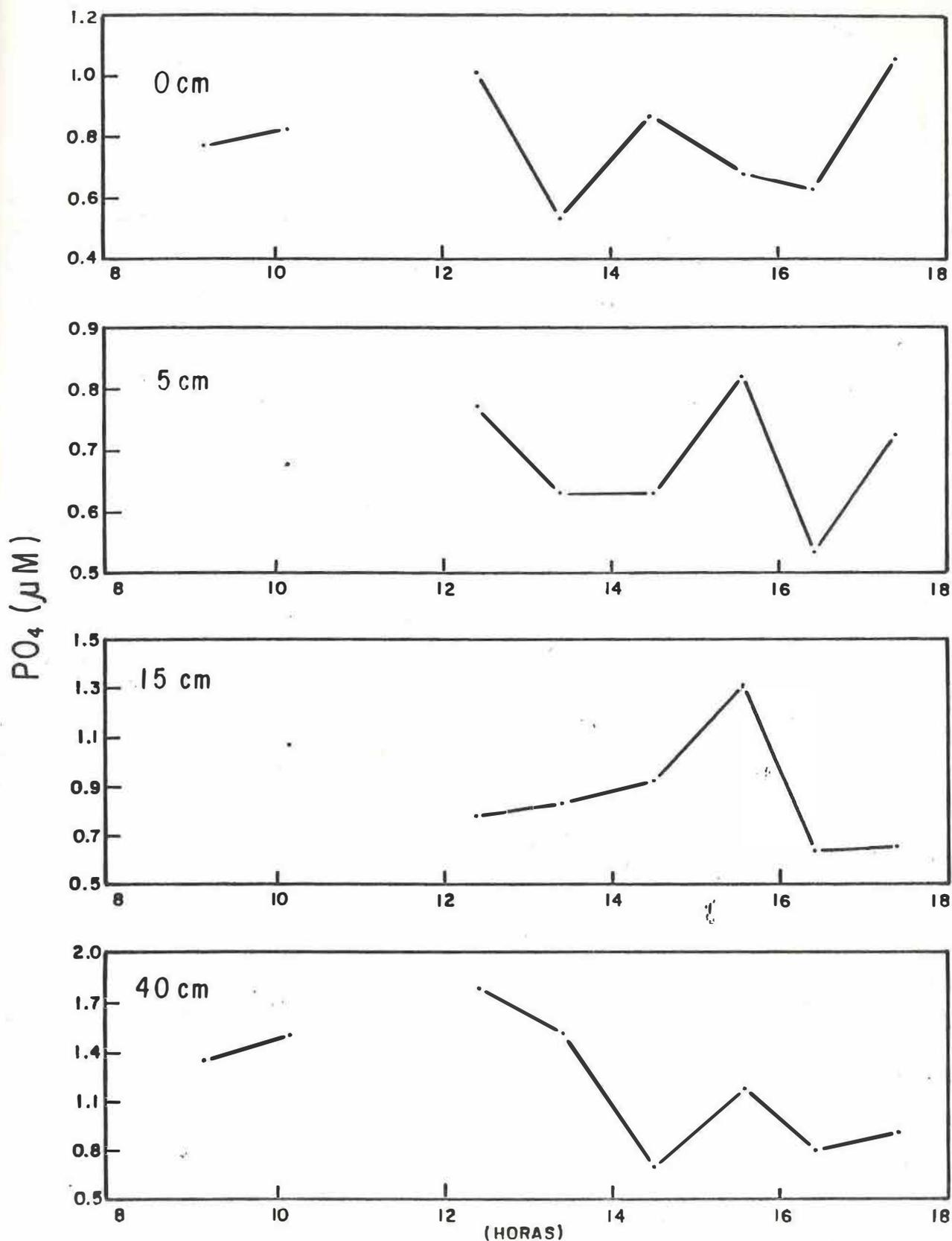


Fig. 9b Series de tiempo generadas para fosfato de los grupos de colectores a distinta profundidad en la columna del sedimento en El Hotel el 16 de junio.

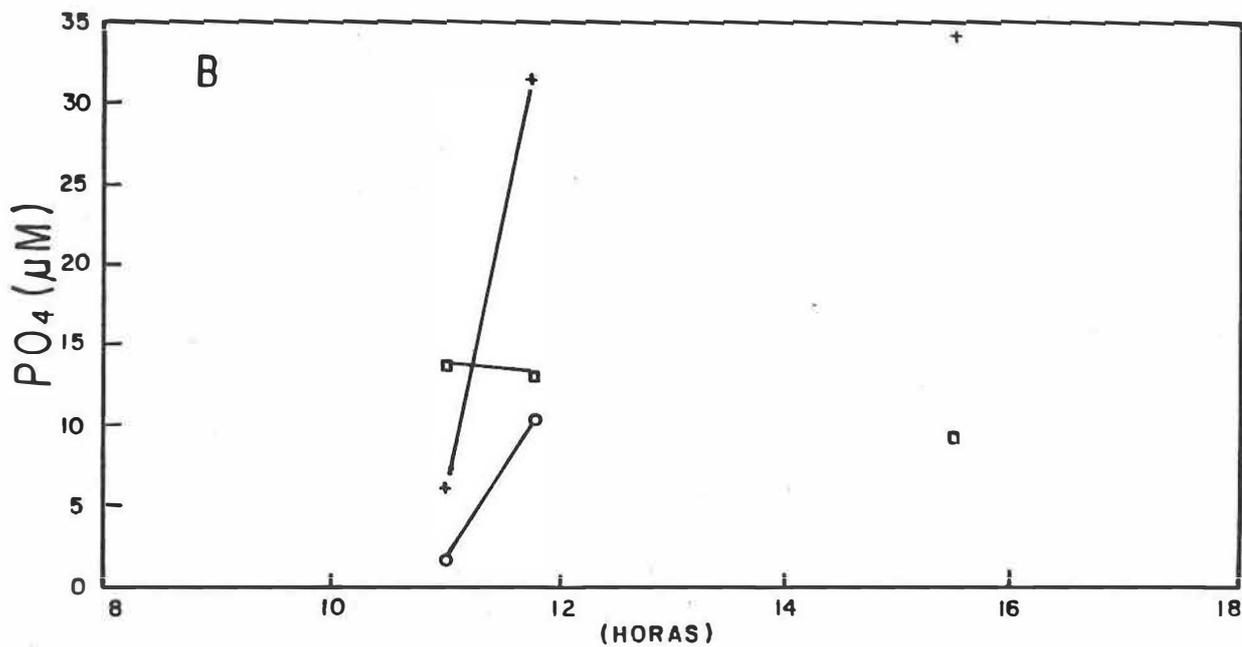
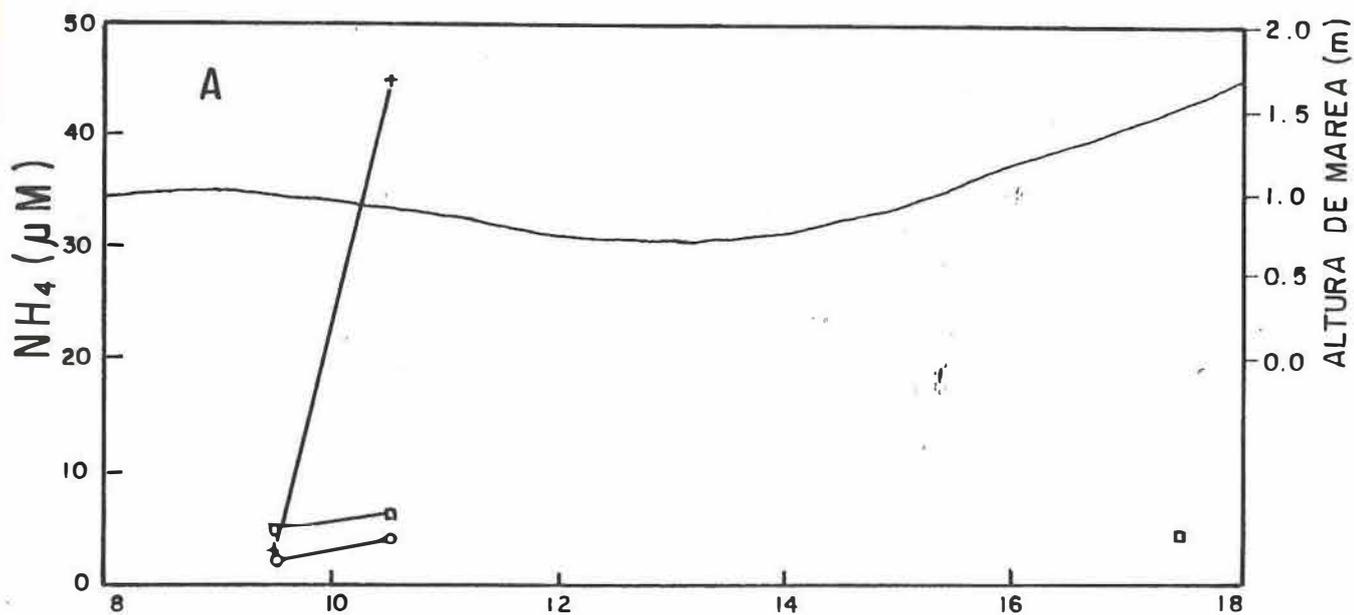


Fig. 10a Valores obtenidos para amonio (A) y fosfato (B) a distintas profundidades en la columna del sedimento (o 5 cm; + 15 cm y 40 cm) en La Grulla el 17 de junio.

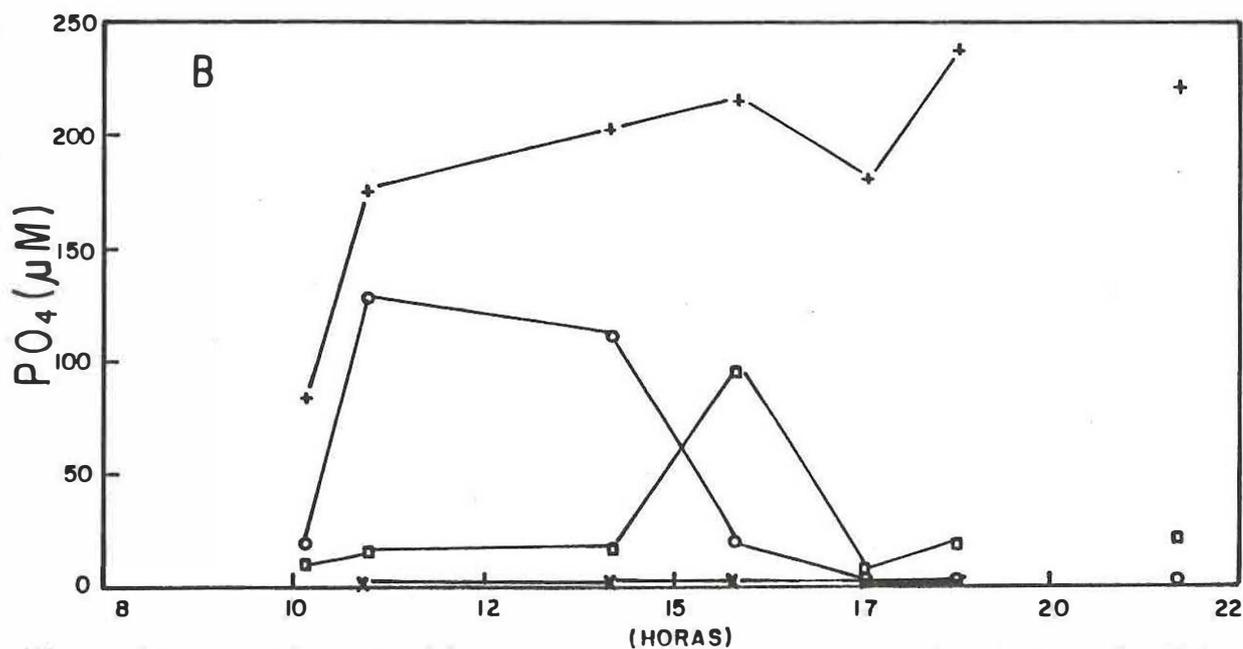
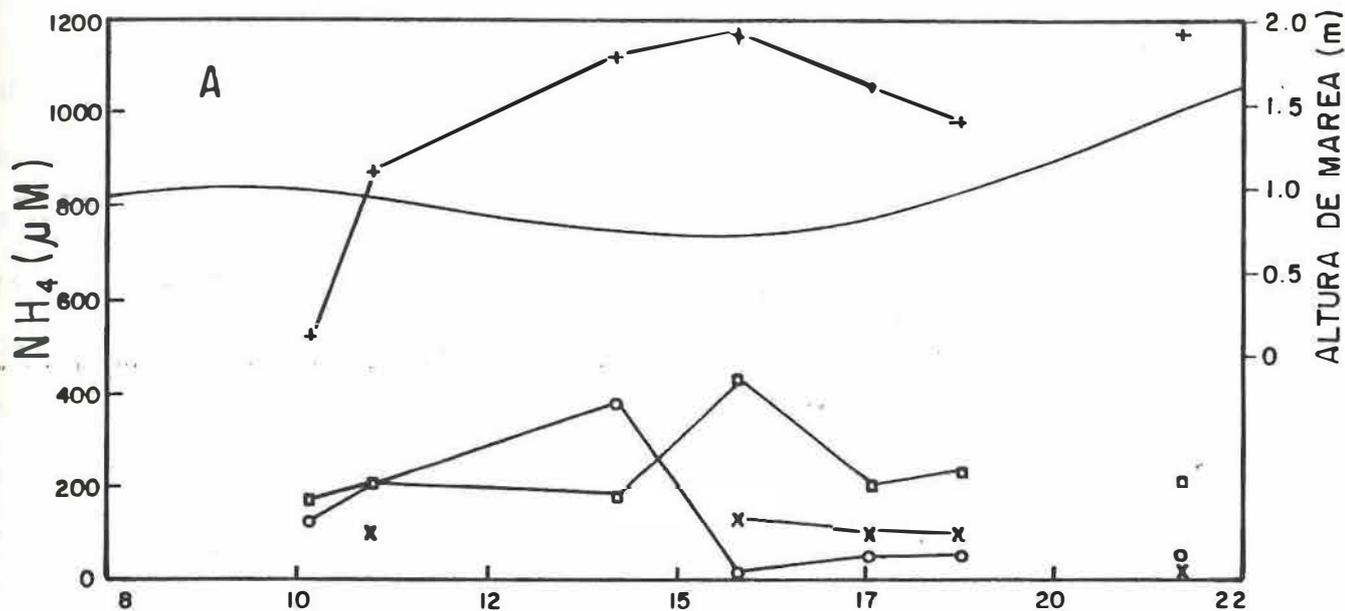


Fig. 10b. Series de tiempo generadas para amonio (A) y fosfato (B) a distintas profundidades en la columna del sedimento (o 0 cm; + 5 cm; 15 cm y x 40 cm) en La Grulla el 18 de junio.

μM), también a 5 cm (Fig. 10b). En marzo, el valor más alto de NH_4 en La Grulla fue alrededor de $330 \mu\text{M}$ a 40 cm (Fig. 4). El más alto de PO_4 , en esta localización y mes, fue $85 \mu\text{M}$ también a 40 cm (Fig. 5). En El Hotel la mayoría de las concentraciones de NH_4 de marzo fueron menores a $10 \mu\text{M}$, mientras que en junio la mayoría fueron mayores a $15 \mu\text{M}$, con un valor máximo de $56 \mu\text{M}$ a 15 cm (Figs. 6 y 8a). Sin embargo, hubo un par de picos excepcionales en marzo, mayores a $50 \mu\text{M}$, a 0 y 5 cm (Fig. 6). En El Hotel, la mayoría de los valores de PO_4 fueron menores a $2 \mu\text{M}$ en junio, mientras que en marzo se presentaron muchos valores superiores a esa concentración, sobre todo a 15 y 40 cm (Figs. 7 y 9). Los valores máximos de PO_4 en El Hotel fueron alrededor de $17 \mu\text{M}$, a 15 y 40 cm, en marzo.

La variación temporal de NH_4 y PO_4 fue muy irregular en ambas localizaciones. Las fluctuaciones de los valores de muestreo a muestreo (con media hora o una hora de separación) fueron tan grandes que no se aprecia una correlación clara con los cambios del nivel del mar. En marzo, para una cierta profundidad, los valores máximos fueron del orden de 4 a 6 veces más altos que los valores mínimos, con una diferencia de muestreo de unas pocas horas (6 a 8), y si comparamos los mínimos con los pulsos de altos valores de una sola muestra el factor es hasta del orden de 50 veces. En junio, la variación con el tiempo en una profundidad dada no fue tan grande como en marzo. En El Hotel, para una cierta profundidad, los máximos fueron del orden del doble o triple que los mínimos (Fig. 8); y en

La Grulla la situación fue similar, con excepción de las series de tiempo de 0 y 15 cm (principalmente la de 0 cm), donde los máximos fueron hasta del orden de decenas de veces mayores que los mínimos (Fig. 10).

En mis resultados se aprecia una cierta tendencia a presentarse un mayor intervalo de variación de NH_4 y PO_4 , con el tiempo, en las profundidades que tienen las mayores concentraciones. Por ejemplo, en marzo en La Grulla, el intervalo de variación de NH_4 a 40 cm fue 85-325 μM y el de PO_4 fue 37-85 μM , mientras que en la superficie el de NH_4 fue 0-75 μM y el de PO_4 fue 1-25 μM (Figs. 4 y 5). Es decir, en general las mayores concentraciones están asociadas a una mayor variancia.

En general, hubo una tendencia de los valores superficiales a ser menores que los del interior del sedimento. Sin embargo, se presentaron pulsos de valores altos superficiales en La Grulla, como el de más de 70 μM de NH_4 (Fig. 4) y el de más de 20 μM de PO_4 (Fig. 5) en marzo, y el de más de 300 μM de NH_4 y el de más de 130 μM de PO_4 en junio (Fig. 10); y también en El Hotel, como el de más de 60 μM de NH_4 (Fig. 6) y el de más de 8 μM de PO_4 (Fig. 7) en marzo, y el de más de 20 μM de NH_4 en junio (Fig. 8).

El patrón de variación de estos nutrientes con la profundidad en el sedimento cambió mucho con la fecha y la localización de muestreo. En marzo, en La Grulla, se presentó en general un aumento de NH_4 y PO_4 con la profundidad, con los máximos valores a 40 cm

(Fig. 4 y 5). En ese mes, en El Hotel no se presentó un gradiente vertical claro de NH_4 , los valores fueron en general relativamente bajos en toda la columna muestreada de sedimento (Fig. 6). Para este mismo caso, el PO_4 no presentó un gradiente claro entre 0 y 15 cm, pero hubo un ligero aumento a 40 cm (Fig. 7). En junio, en La Grulla el NH_4 y PO_4 aumentaron abruptamente de 0 a 5 cm, para luego disminuir a 15 cm a valores similares a los de la superficie, y a valores aún menores a 40 cm (Fig. 10). En este último caso, el PO_4 disminuyó a valores cercanos a cero a 40 cm. En junio, en El Hotel el NH_4 y PO_4 no presentaron tendencias claras de variación vertical (Figs. 8 y 9), aunque el 15 de junio el NH_4 tuvo una cierta tendencia a aumentar de 0 a 5 cm, se mantuvo en valores similares de 5 a 15 cm, y luego a 40 cm disminuyó a valores similares a los superficiales (Fig. 8).

IV.2. Series de tiempo con los colectores a 15 cm, alineados perpendicular y paralelamente a la playa.

El 15 y 17 de junio la línea de muestreadores se colocó perpendicular a la línea de playa, en El Hotel y en La Grulla respectivamente. El 16 y 18 se colocó paralela a la línea de playa, también en el primer caso en El Hotel.

Es interesante notar que en ambos casos, con la línea de colectores perpendicular o paralela a la línea de playa, los valores de NH_4 de El Hotel fueron del orden del doble de los de La Grulla (Figs. 11, 12, 15 y 16). Sin embargo, los valores de PO_4 de La

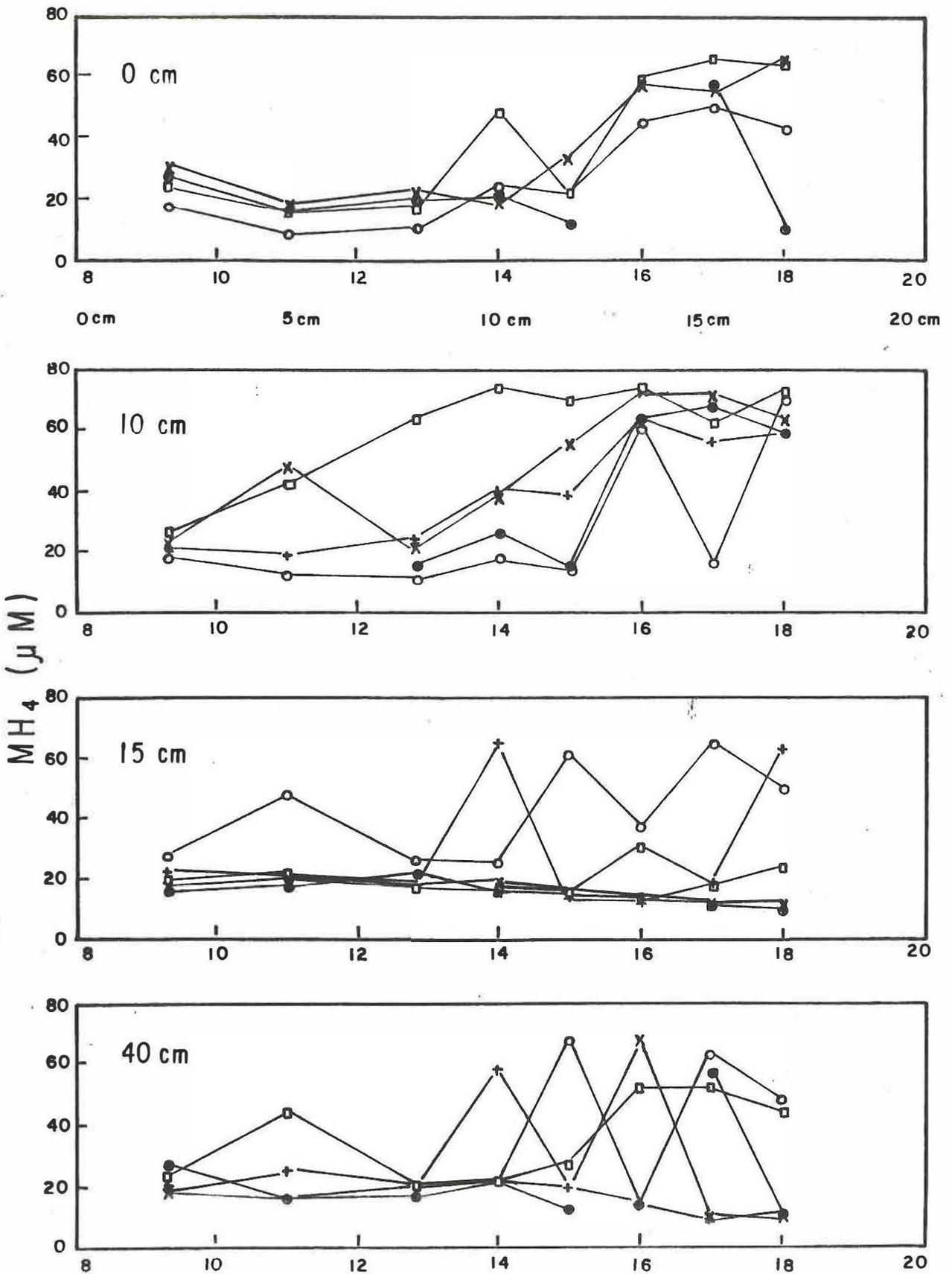


Fig. 11. Series de tiempo generadas para amonio, utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación en El Hotel el 15 de junio.

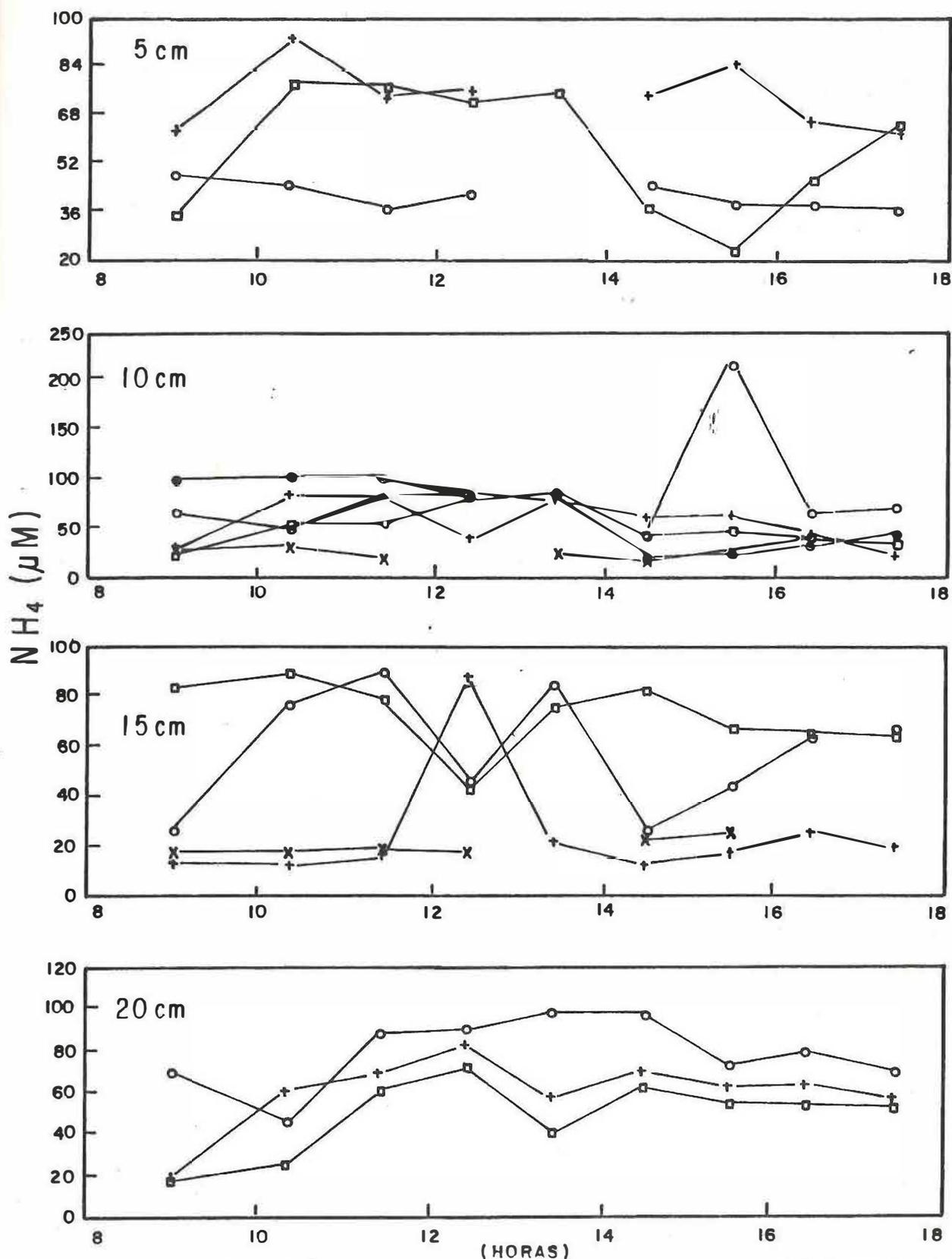


Fig. 12. Series de tiempo generadas para amonio, utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación en El Hotel el 16 de junio.

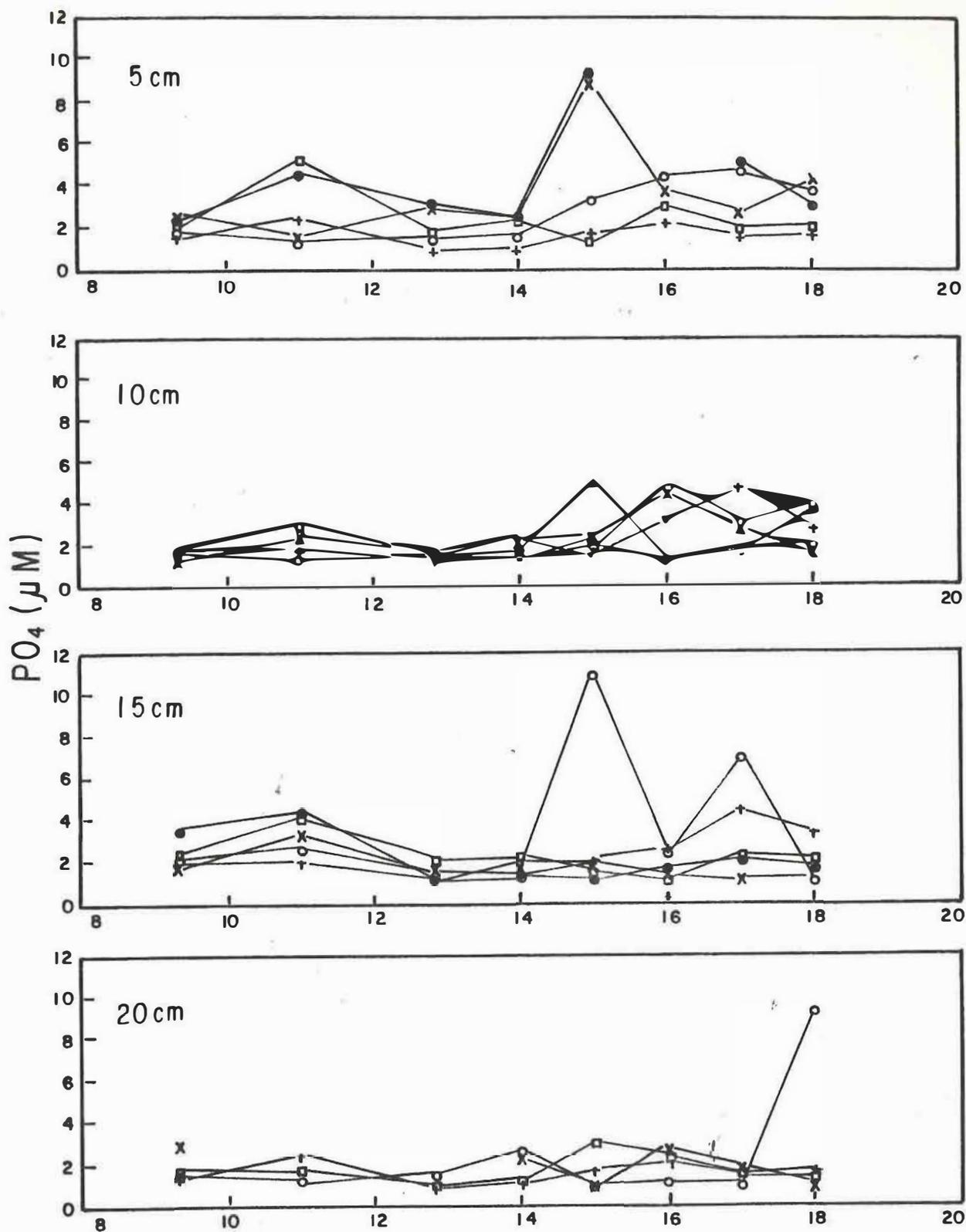


Fig. 13. Series de tiempo generadas para fosfato utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación en El Hotel el 15 de junio.

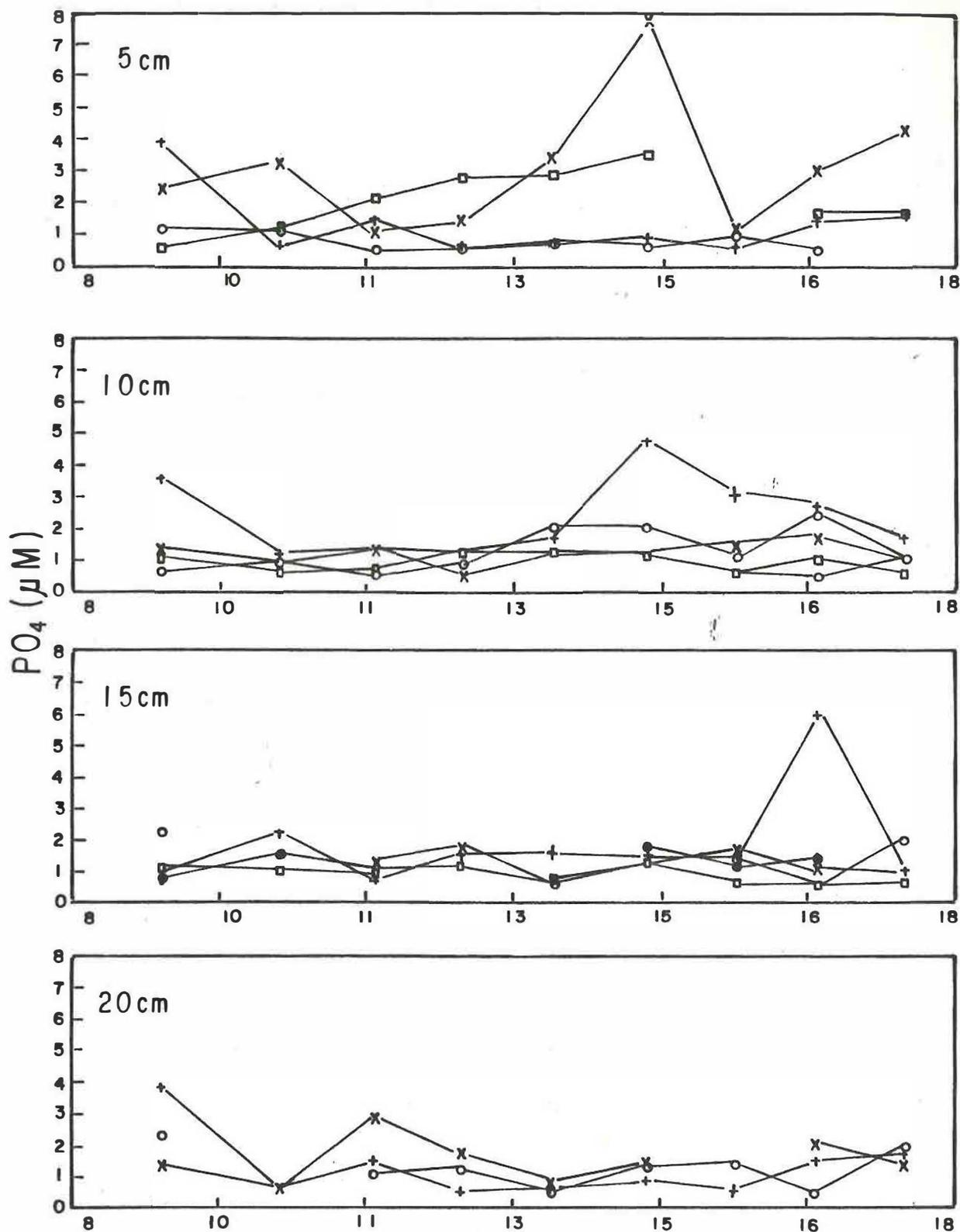


Fig. 14. Series de tiempo generadas para fosfato utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación. En el cuadro superior se muestra la marea en El Hotel el 16 de junio.

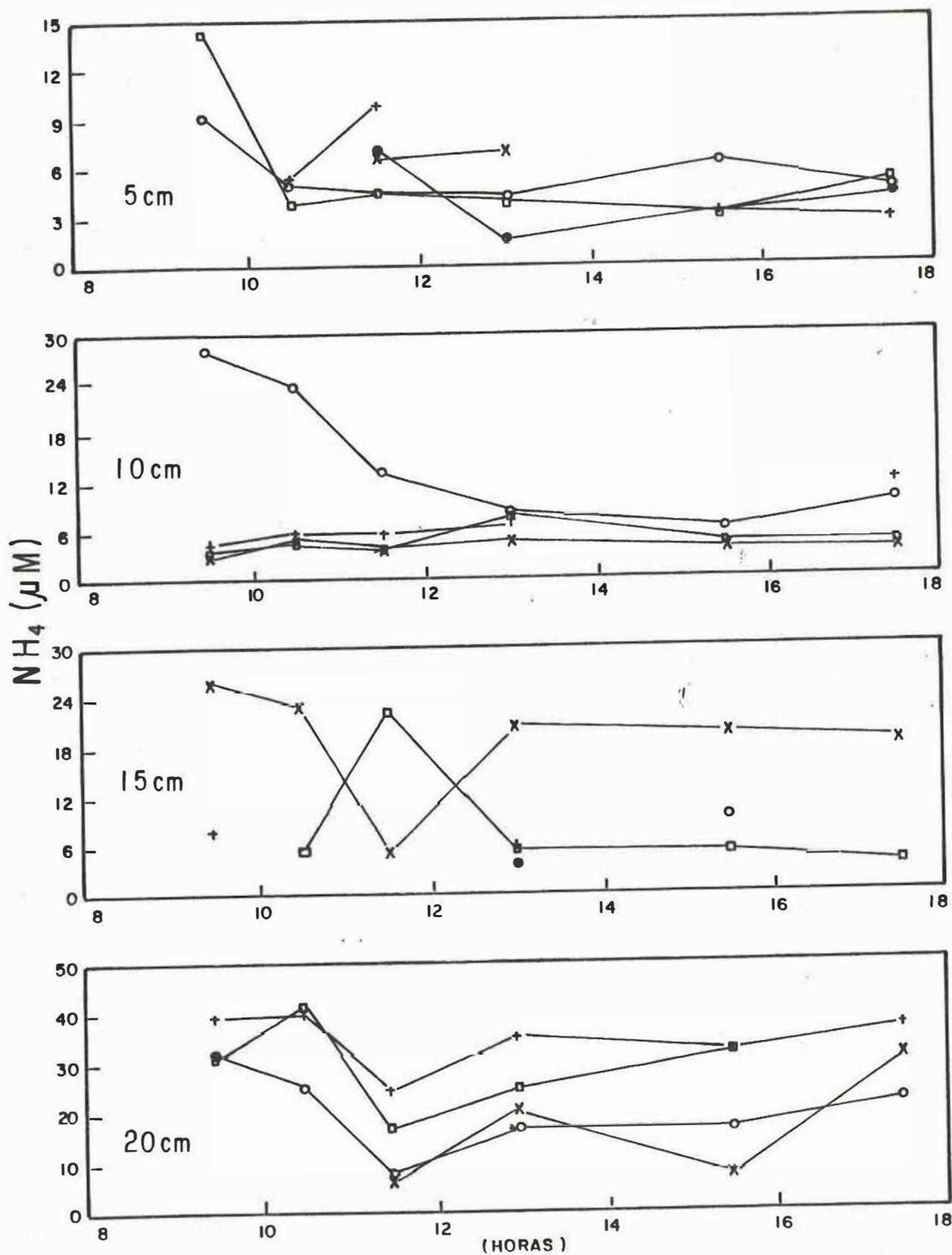


Fig. 15. Series de tiempo generadas para amonio utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación. En el cuadro superior se muestra la marea en La Grulla el 17 de junio.

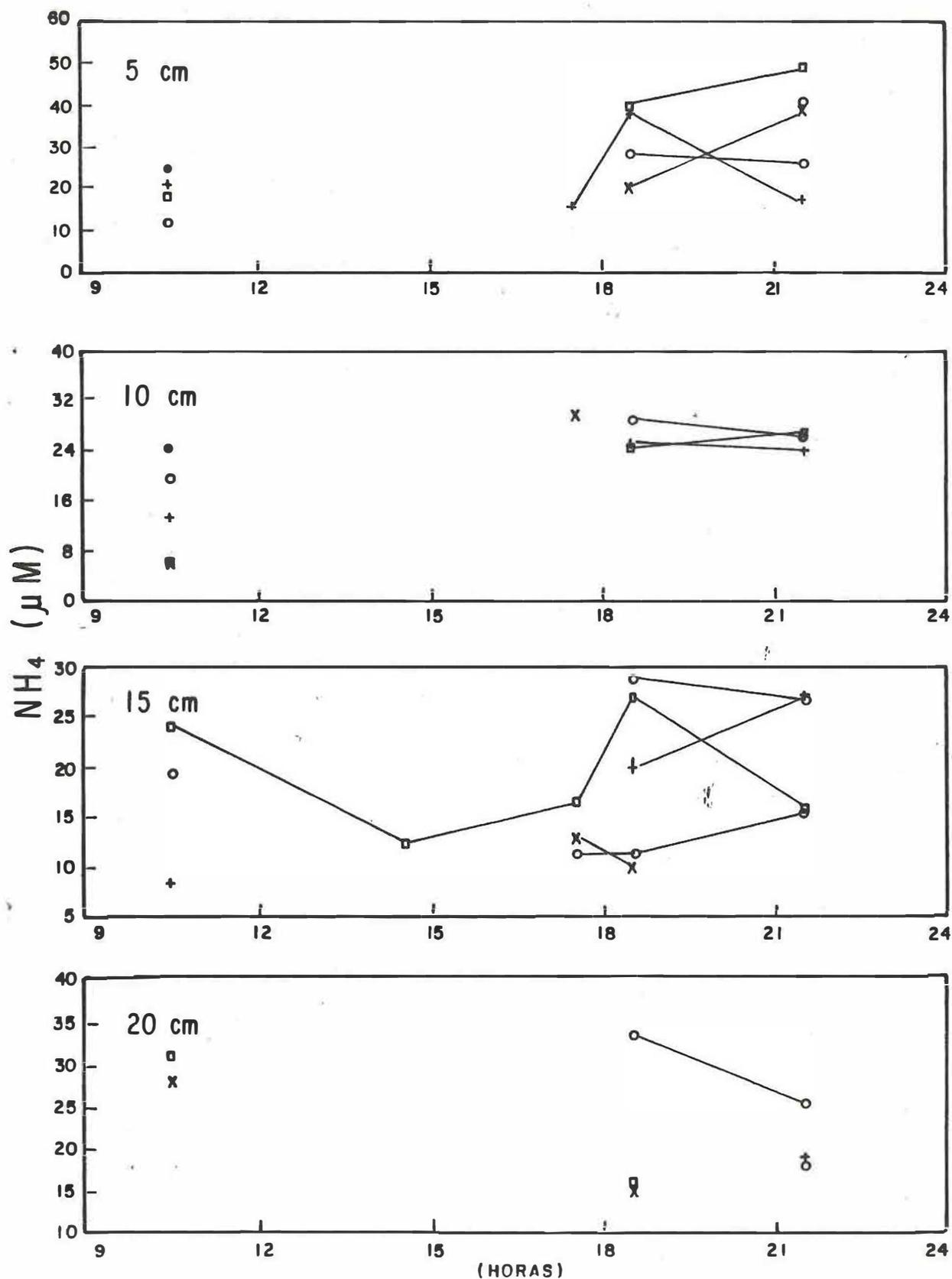


Fig. 16. Series de tiempo generadas para amonio utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación. En el cuadro superior se muestra la marea en La Grulla el 18 de junio.

Grulla fueron a menudo mayores que los de El Hotel en estos muestreos, hasta del orden de más de cinco veces mayores (Figs. 13, 14, 17 y 18). En La Grulla los valores de PO_4 fueron tan altos como los de NH_4 en algunos casos (Figs. 15-18).

La distribución horizontal de NH_4 y PO_4 en estos muestreos cambió grandemente con el tiempo. En ciertos momentos los valores de NH_4 y PO_4 de todos los muestreadores de la línea fueron similares, como al inicio del muestreo del 15 de junio. Pero en general los valores diferieron mucho, aún con sólo 5 cm de distancia. Las diferencias de los valores de estas propiedades para una distancia de uno o dos metros son similares que para unos cuantos centímetros. En El Hotel, para un momento dado, la razón máximo:mínimo fue tan alta como 6-7 para NH_4 , y lo mismo se dió para distancias de centímetros que de metros (Figs. 11 y 12). Para el PO_4 se presentó algo similar. Estas diferencias son muy grandes y no pueden deberse a errores de muestreo o de análisis. En La Grulla, esta razón llegó a ser hasta del orden de 15 para PO_4 (Fig. 18), pero más comúnmente fue del orden de 4-6 para ambas variables.

IV.3. Densidad bacteriana de las muestras de junio.

El muestreo de bacterias del 15 de junio en El Hotel se realizó en los extremos de la línea de colectores (en el extremo superior se localizó el sitio 1 y en el inferior el sitio 2). El del 16 de junio se realizó a la altura del último colector (de los que tuvieron 20 cm de separación) (sitio 3). El 17 y 18 de junio se realizó el

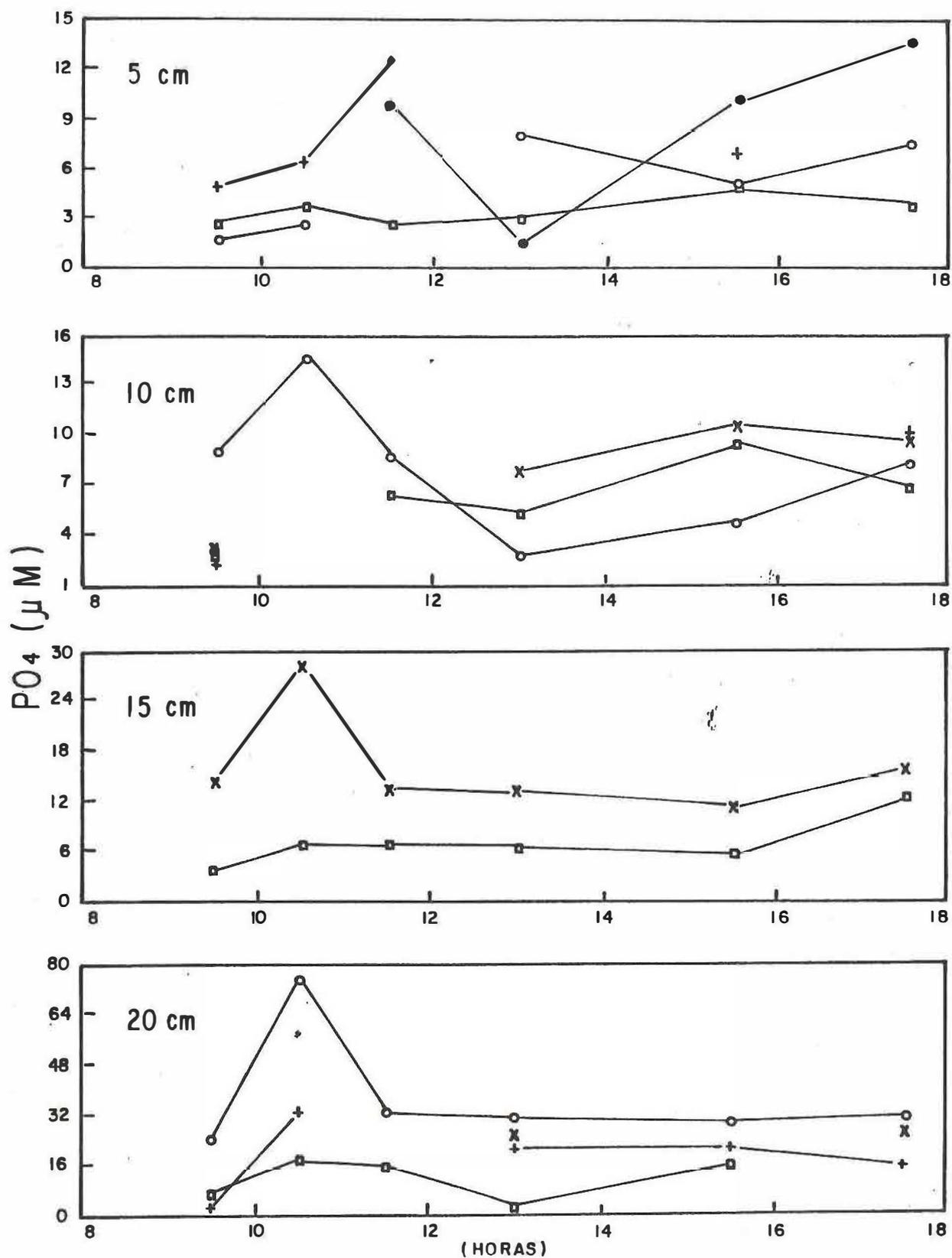


Fig. 17. Series de tiempo generadas para fosfato utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación en La Grulla el 17 de junio.

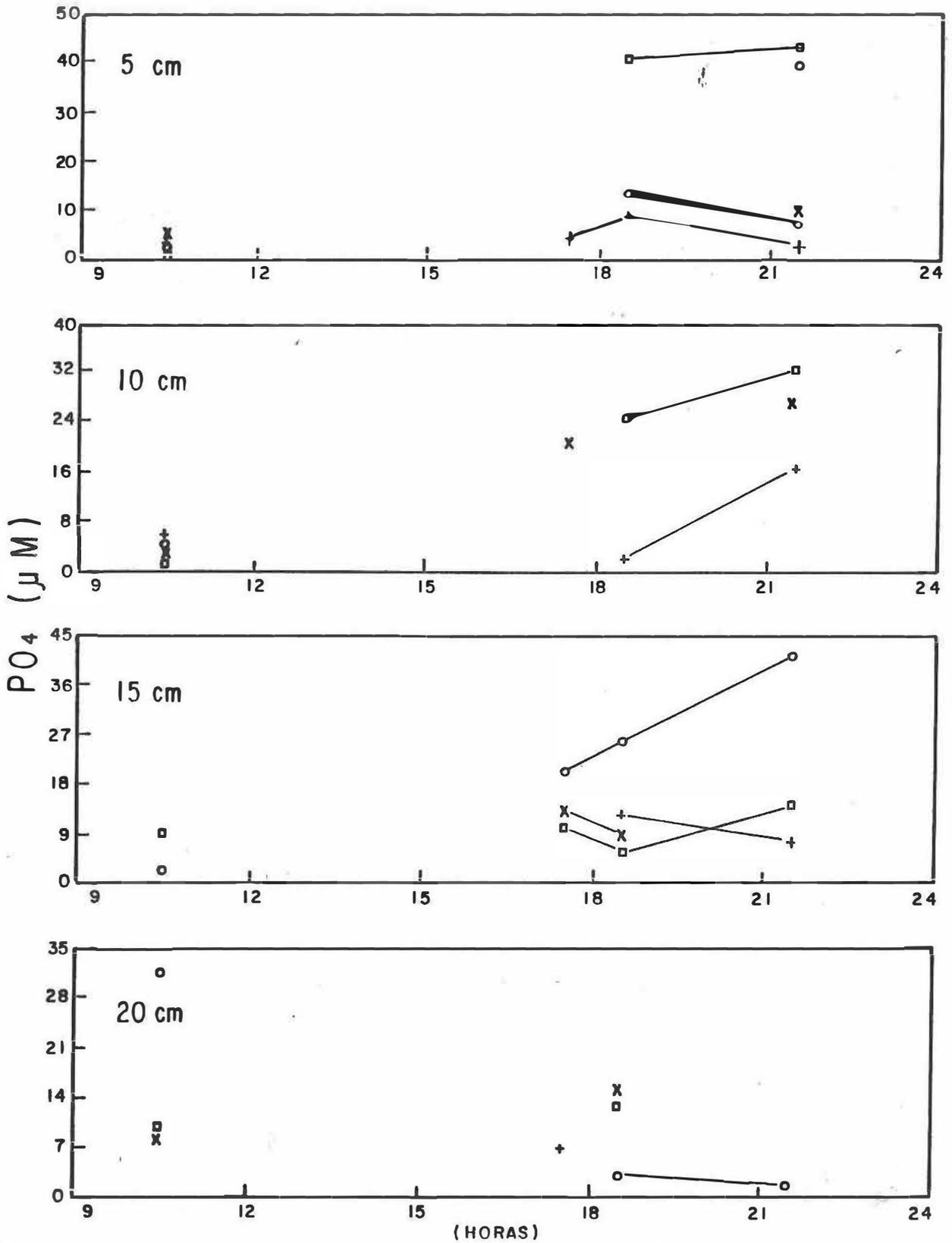


Fig. 18. Series de tiempo generadas para fosfato utilizando los grupos de colectores muestreando todos a 15 cm y con distinta separación en La Grulla el 18 de junio.

muestreo de La Grulla de una manera similar. La densidad de bacterias fue altamente variable, tanto espacial como temporalmente. Mis datos no muestran clara y consistentemente una mayor densidad bacteriana en un lugar de muestreo con relación al otro. La mayor densidad de bacterias heterótrofas viables (HV) se presentó en El Hotel ($35 \cdot 10^9$), pero fue un solo caso aislado, los demás valores fueron en general similares a los de La Grulla. La mayor densidad de sulfato reductoras (SR) se presentó en La Grulla ($37 \cdot 10^3$) pero fue del mismo orden de magnitud que la de El Hotel (Tabla 1).

La densidad de ambos tipos de bacterias no varió consistentemente con la profundidad, aunque la mayoría de las ocasiones aumentó de la superficie hacia el interior del sedimento, en algunos casos fue a la inversa. Con excepción del muestreo del sitio 2 de La Grulla el 17 de junio, con marea alta, a 40 cm, las densidades de las HV fueron mayores que las densidades de las SR. Las densidades de las HV fueron desde el mismo orden de magnitud hasta seis ordenes de magnitud mayores que las densidades de las SR.

No se aprecia una tendencia clara de cambio de la densidad bacteriana con el nivel del mar. La percolación causó grandes cambios temporales, pero éstos fueron un tanto erráticos. Se presentaron aumentos de densidad en algunas profundidades al mismo tiempo que se presentaron disminuciones en otras, al pasar de marea baja a alta. Esto evidencia una distribución de las bacterias en forma de

Tabla I. Densidad bacteriana a diversas profundidades en la columna del sedimento en El Hotel y La Grulla en junio.

VI/15-16		EL HOTEL				SITIO 1	
MAREA BAJA		MAREA ALTA					
PROF.	H. V.	S. R.	% S.R.	PROF.	H. V.	S. R.	% S.R.
0	23×10^4	9×10^3	3.83	0	44×10^3	19×10^3	43.18
40	9500	10	0.10	40	24×10^4	600	0.26
VI/15-16		EL HOTEL				SITIO 2	
0	8×10^6	1700 ₃	0.02	0	75×10^3	10	0.10
15	1.9×10^6	6×10^3	0.32	15	59×10^4	100	0.02
40	14×10^6	16×10^3	0.11	40	35×10^4	200	0.06
VI/15-16		EL HOTEL				SITIO 3	
0	35×10^3	600	1.71	0	47×10^4		
15	53×10^5	900	0.02	15	20×10^4		
40	19×10^4	1500	0.79	40	37×10^5		
VI/17-18		LA GRULLA				SITIO 1	
0				0	3×10^5	37×10^3	12.54
15	29×10^5	16×10^3	0.56	15	17×10^5	31×10^3	1.87
40	17×10^5	1.5×10^3	0.09	40	12×10^5	400	0.03
VI/17-18		LA GRULLA				SITIO 2	
0				0	28×10^4	2700 ₃	0.96
15	28×10^3	5×10^3	18.18	15	31×10^4	9×10^3	2.95
40	32×10^4	25×10^3	7.80	40	5×10^3	11×10^3	22.22
VI/17-18		LA GRULLA				SITIO 3	
0	39×10^4	5×10^3	1.29	0	58×10^5	17×10^3	0.29
15	68×10^4	2100 ₃	0.31	15	21×10^4	600	0.03
40	35×10^5	12×10^3	0.33	40	24×10^4		

manchas, o petacheo, tanto en el sentido horizontal como en el vertical. Tampoco hubo una correlación en la variación de las HV y las SR con la marea; en algunos casos ambas disminuían, o aumentaban, y en otros un tipo de bacteria disminuía mientras el otro aumentaba.

V. DISCUSION

Camacho Ibar y Alvarez Borrego (1988) y Aguiñiga García y Alvarez Borrego (1989) reportaron un petacheo intenso de propiedades del agua intersticial de sedimentos de entremareas del Estero de Punta Banda. Ellos sugirieron que para caracterizar apropiadamente este petacheo es necesario el generar series de espacio con un intervalo de muestreo corto y constante, y con suficiente número de datos para estimar el espectro de variancia (como se ha hecho por ejemplo por Platt y Denman (1980) para la columna de agua). También reportaron grandes cambios con el tiempo e indicaron que pueden deberse al petacheo y a la percolación del agua intersticial con cambios del nivel del mar. Por lo anterior también expresaron la necesidad de generar series de tiempo más largas (sus series fueron de seis horas) para intentar correlaciones cruzadas con la marea. Debido a la limitación de recursos, tiempo y personal, no tuve la posibilidad de generar las series que idealmente me hubiesen permitido realizar de una manera completa lo sugerido por estos autores. Sin embargo, con mis pocos datos se puede apreciar una contribución significativa al conocimiento de la dinámica de los nutrientes inorgánicos en los sedimentos de entremareas de lagunas costeras como las del noroeste de Baja California.

Aguiñiga García y Alvarez Borrego (1989) reportaron valores máximos de NH_4 y PO_4 para El Hotel sólomente del orden de un sexto ó un quinto con relación a los valores máximos reportados por Camacho

Ibar y Alvarez Borrego (1988) para un lugar cercano a nuestro sitio de muestreo en La Grulla. Estos autores muestrearon en junio y julio. Aguiñiga García y Alvarez Borrego (1989) expresaron que los más altos valores de nutrientes en La Grulla pudieran deberse a un mayor contenido de materia orgánica en el sedimento y a un menor intercambio de agua entre el sedimento y la columna de agua, con relación a la localización de El Hotel. Lo anterior se debe principalmente a que la localización en La Grulla es un lugar mucho menos energético que El Hotel, con corrientes de marea más débiles, y con macrovegetación abundante. Mis datos de marzo corroboran las más altas concentraciones de La Grulla. Entre 0 y 15 cm los valores de NH_4 de La Grulla fueron unas seis veces mayores, y a 40 cm fueron del orden de veinte veces mayores, que los de El Hotel (Figs. 4 y 6). Los valores de PO_4 de La Grulla fueron del orden del doble al triple a 0-15 cm, y como veinte veces mayores a 40 cm, que los de El Hotel (Figs. 5 y 7). Mis datos de junio de los muestreos para caracterizar la variación de estos nutrientes con la profundidad confirman también la tendencia de valores mayores en La Grulla que en El Hotel (Figs. 8, 9 y 10), especialmente cuando comparamos los datos de La Grulla del 18 de junio con los de El Hotel del 15 y 16. En el caso de los colectores alineados perpendicular y paralelamente a la línea de playa y que muestrearon a 15 cm, los valores de PO_4 fueron hasta cinco veces mayores en La Grulla que en El Hotel, sin embargo los valores de NH_4 de El Hotel fueron mayores que los de

La Grulla (Figs. 11-18). Aunque estos últimos muestreos no son muy apropiados para realizar esta comparación porque sólo se colectó de una profundidad.

Lo anterior evidencia que en general se puede establecer la regla que en los sedimentos de entremareas del extremo interno del Estero de Punta Banda la concentración de los nutrientes inorgánicos es mayor que en sedimentos de localizaciones como la barra que separa al Estero del océano adyacente. Sin embargo, debido al petacheo tanto horizontal como vertical, y a la dinámica fisicoquímica diferente de cada especie química, se pueden encontrar excepciones para profundidades y momentos específicos. Soto Balderas y Alvarez Borrego (1991) expresaron que las concentraciones de nutrientes inorgánicos (NO_3 , NO_2 , NH_4 y PO_4) en el canal principal del Estero y en los canales de inundación de las marismas cambian en función de la distancia a la boca de la laguna. Entre más alejada de la boca esté la localización de muestreo, o sea más hacia el extremo interno, las concentraciones son mayores, y este aumento es especialmente notorio cuando comparamos las concentraciones del brazo largo con las del brazo corto del Estero. Esto mismo se puede decir de las concentraciones de nutrientes de los sedimentos de entremareas, aunque una generalización así basada sólo de datos de dos localizaciones no es muy robusta.

La distribución vertical de los valores de NH_4 y PO_4 encontrada en mis muestreos de marzo difiere de los casos reportados por Camacho

Ibar y Alvarez Borrego (1988) y Aguiñiga García y Alvarez Borrego (1989). Los primeros reportaron para La Grulla que en la mayoría de los casos se presentó un máximo de NH_4 y PO_4 a 5 cm, con un gradiente muy intenso entre la superficie y 5 cm, y algunas veces había un segundo máximo a 40 cm. Y para El Hotel, los segundos reportaron máximos a 5-20 cm, con mínimos en la superficie y a 40 cm. Mis datos de marzo muestran para La Grulla máximos valores a 40 cm, con gradientes débiles de la superficie a 15 cm y gradientes fuertes de 15 a 40 cm; y para El Hotel la distribución vertical de NH_4 fue prácticamente homogénea con excepción de algunos picos esporádicos de alta concentración a diferentes profundidades, y la de PO_4 fue homogénea de 0 a 15 cm y los valores aumentaron un poco a 40 cm (Figs. 4-7).

La distribución vertical que encontré en La Grulla en junio para estas propiedades fue similar a la reportada por Camacho Ibar y Alvarez Borrego (1988). NH_4 y PO_4 presentaron un máximo a 5 cm con un gradiente muy intenso de 0 a 5 cm, y luego disminuyeron drásticamente a valores menores que los de superficie a 40 cm. En El Hotel la distribución vertical que encontré en junio difiere en general de la reportada por Aguiñiga García y Alvarez Borrego (1989), ya que no hubo una tendencia clara de variación vertical de estas propiedades.

Lo anterior indica que posiblemente hay cambios estacionales en los perfiles verticales de estas propiedades. En general se tiene

una distribución vertical de estos nutrientes más homogénea a finales de invierno, sólo con valores mayores a 40 cm que a profundidades menores, mientras que a finales de primavera y principios de verano existen máximos muy altos a profundidades subsuperficiales (5-20 cm). Además, mis datos (sin considerar los pocos datos del 17 de junio) y los de Camacho Ibar y Alvarez Borrego (1988) indican valores mayores de NH_4 y PO_4 en junio que en marzo en La Grulla entre la superficie y 15 cm. En El Hotel, comparando mis datos de marzo con los de Aguiñiga García y Alvarez Borrego (1989) se observa algo similar, pero mis datos de PO_4 de junio son más bajos que los de marzo. A 40 cm no hay diferencias claras y consistentes. No tengo manera de comparar entre las dos estaciones del año a 20-30 cm porque no tomé muestras a esas profundidades.

El transporte de fosfato y amonio del sedimento a la columna de agua se debe a la difusión y a la advección por percolación. Esta última está controlada por la actividad de la macrobiota y la amplitud de la marea. Por lo anterior, una mayor acumulación de amonio y fosfato en junio con relación a marzo no se debe a diferencias en los procesos de transporte. Posiblemente la mayor acumulación de estos nutrientes en las capas superficiales y subsuperficiales del sedimento en junio se deba a una mayor velocidad de generación de los mismos por una degradación más rápida de la materia orgánica. De hecho, los valores mayores de concentración de estos nutrientes en la columna de agua se presentan en verano (Sánchez Hernández,

1978), lo cual indica un mayor aporte de los mismos del sedimento a la columna de agua con relación a las otras estaciones del año. Este aporte mayor en verano se debe a una mayor concentración en los sedimentos, y si las altas concentraciones se mantienen es porque hay intensos procesos de producción en el sedimento. Como no realicé muestreos de bacterias en marzo, no puedo comparar la actividad bacteriana entre los dos meses de trabajo. Sin embargo, es sabido que la mayor temperatura de verano aumenta la actividad bacteriana (Klump y Martens, 1981).

En los resultados con los colectores muestreando a 15 cm y alineados paralela y perpendicularmente a la playa (Figs. 11-18) se aprecia que las diferencias de NH_4 y PO_4 para distancias de unos pocos cm son en general de la misma magnitud que para distancias de uno o dos metros. La excepción fueron los resultados de los colectores con separación de 20 cm del 17 de junio en La Grulla (Figs. 15 y 17) que mostraron concentraciones claramente mayores (del orden de dos a cuatro veces más grandes) que los otros en la misma línea. Los coeficientes de variación para los grupos de colectores separados 5, 10, 15 y 20 cm son muy similares (la mayoría de 30% a 60%) (Tabla 2). Esto indica que en general el mayor petacheo horizontal es de una escala de pocos cm (alrededor de 5 cm) y debe estar asociado a la actividad de la biota, principalmente raíces y madrigueras de crustáceos y moluscos.

Tabla II. Coeficientes de Variación (CV) estimados para los colectores muestreando a diferentes profundidades y a 15 cm y con distinta separación alineados perpendicular (A) y paralela mente (B) a la línea de playa en El Hotel y La Grulla en marzo y junio.

		EL HOTEL MARZO 14 Y 15						LA GRULLA MARZO 9 Y 10									
		SEP	n	x	σ	CV	MIN	MAX			SEP	n	x	σ	CV	MIN	MAX
NH ₄	0	66	4.8	7.8	163	1.2	65	NH ₄	0	39	13	11	88	1.1	74		
	5	67	5.1	7.2	140	1.2	52		5	16	35	16	46	17	76		
	15	62	6.0	5.4	89	1.0	28		15	48	26	13	51	7.3	93		
	40	64	3.6	1.9	55	1.4	12		40	46	195	58	30	86	326		
PO ₄	0	67	1.5	1.1	70	0.5	8.4	PO ₄	0	35	3.5	7.2	203	1.1	45		
	5	64	1.7	1.5	84	0.7	8.7		5	13	8.5	13	150	2.4	52		
	15	59	2.0	2.2	108	0.5	17		15	46	6.2	5.6	90	2.3	39		
	40	62	3.5	2.4	69	1.0	17		40	38	52	10	20	37	85		

		SEP	n	x	σ	CV	MIN	MAX			SEP	n	x	σ	CV	MIN	MAX
NH ₄	15 JUN - A	5	8	28	15	54	9.5	50	PO ₄	5	8	2.7	1.3	47	1.4	4.7	
		5	8	40	20	51	16	65		5	8	2.3	1.1	47	1.3	4.9	
		5	8	38	18	47	18	66		5	8	3.6	2.1	58	1.5	8.6	
		5	7	23	14	63	10	56		5	7	4.1	2.3	56	2.2	9.3	
		10	8	28	22	79	11	69		10	8	1.6	0.3	20	1.2	2.3	
		10	8	41	17	41	19	64		10	8	2.3	1.1	45	1.3	4.6	
		10	8	60	16	27	26	73		10	8	2.5	1.1	45	1.3	4.6	
		10	8	49	19	38	21	71		10	8	2.4	0.9	40	1.3	4.6	
		10	7	38	23	60	14	67		10	7	2.3	1.3	56	1.2	4.8	
		15	8	42	14	34	26	64		15	8	3.6	3.2	90	1.1	11	
		15	8	29	20	69	13	64		15	8	2.3	1.0	43	1.3	4.4	
		15	8	20	4.5	22	15	30		15	8	2.2	0.8	37	1.1	4.2	
		15	8	16	2.7	17	12	19		15	8	1.7	0.6	37	1.1	3.2	
		15	8	15	3.2	21	10	22		15	8	2.1	1.1	53	1.2	4.3	
		20	8	33	22	66	14	68		20	8	2.4	2.6	109	1.0	9.2	
		20	8	22	15	67	8.9	58		20	8	1.6	0.4	29	0.9	2.3	
		20	8	35	13	37	20	52		20	8	1.7	0.6	33	1.1	2.9	
		20	7	24	18	78	10	68		20	6	1.9	0.8	39	0.9	3.0	

		SEP	n	\bar{x}	σ	CV	MIN	MAX			SEP	n	\bar{x}	σ	CV	MIN	MAX
NH ₄	16 JUN - B	5	8	41	3.7	8.9	37	48	PO ₄	5	8	0.8	0.2	31	0.5	1.2	
		5	8	74	10	14	61	93		5	8	2.1	0.9	44	0.6	3.6	
		5	9	57	20	35	24	79		5	9	3.1	1.9	62	1.1	7.8	
		10	9	84	49	59	39	216		10	9	1.4	0.6	42	0.9	2.5	
		10	9	57	23	40	24	85		10	9	2.4	1.2	50	1.1	4.8	
		10	9	43	22	50		83		10	9	0.9	0.2	27	0.6	1.2	
		10	9	26	11	43		41		10	9	1.2	0.3	27	0.6	1.7	
	15	9	58	23	39	25	89	15		9	0.8	0.2	30	0.4	1.2		
	15	9	25	22	91	12	87	15		9	1.8	1.5	82	0.7	6.0		
	15	9	72	13	18	42	88	15		9	0.9	0.3	28	0.6	1.2		
	15	9	15	8.4	56		25	15		8	1.2	0.3	27	0.7	1.8		
	20	9	79	16	20	45	99	20		8	1.3	0.6	44	0.5	2.3		
	20	9	60	16	27	18	82	20		9	1.3	1.0	75	0.6	3.8		
	20	9	49	17	34	18	72	20		8	1.5	0.6	42	0.7	2.9		
NH ₄	17 JUN - A	5	6	5.7	1.8	31	4.3	9.3	PO ₄	5	5	5.1	2.5	49	1.8	8.1	
		5	4	5.4	2.7	50	2.9	9.8		5	4	7.9	2.9	36	5.2	13	
		5	6	5.8	3.8	66	3.1	14		5	6	3.6	0.9	26	2.7	5.3	
		5	3	6.0	1.2	19	4.4	7.0		5	4	8.9	4.5	51	1.5	14	
		5	4	4.1	2.0	48	1.6	7.1		5	1	24					
		10	6	15	8.1	55	6.3	28		10	6	8.1	3.7	45	3.0	15	
		10	5	7.0	2.6	37	4.4	12		10	2	6.3	4.1	65	2.2	10	
		10	6	5.0	1.4	28	3.9	7.9		10	5	6.3	2.1	34	3.0	9.6	
		10	6	4.2	0.8	19	2.9	5.5		10	4	8.0	2.9	37	3.3	11	
		15	2	6.9	0.9	13	6.0	7.7		15	6	7.1	2.8	39	3.6	13	
		15	5	8.3	6.9	84	3.5	22		15	6	16	5.7	35	12	29	
		15	6	19	6.6	35	5.3	26		15	2	31	23	75	8.0	55	
		15	3	29	18	62	3.4	42		15							
		20	6	24	7.6	32	7.5	32		20	6	38	17	45	24	76	
20	6	26	5.3	21	24	40	20	5	19	9.8	51	3.5	34				
20	5	26	8.2	32	17	41	20	5	12	5.9	49	3.4	18				
20	4	25	10	40	6.5	31	20	2	26	0.1	0.5	26	26				
NH ₄	18 JUN - B	5	2	26	15	56	12	41	PO ₄	5	2	22	19	87	2.8	41	
		5	4	23	8.9	39	16	38		5	4	6.0	2.5	42	3.5	10	
		5	3	35	13	37	18	49		5	3	29	19	67	1.7	44	
		5	2	29	8.8	30	21	38		5	2	8.1	3.0	37	5.1	11	
		5	3	26	1.7	6.4	24	28		5	3	8.4	4.6	55	2.7	14	
		10	2	23	3.4	15	19	26		10	2	8.6	3.8	44	4.8	12	
		10	3	20	5.4	27	13	25		10	3	8.6	6.1	70	2.8	17	
		10	3	19	8.8	47	6.5	26		10	3	20	13	68	1.4	33	
		10	3	21	10	49	6.5	29		10	3	17	11	63	2.3	28	
		15	4	14	3.5	25	11	19		15	4	23	14	61	2.8	42	
		15	3	18	7.4	41	8.4	26		15	3	8.1	4.3	53	2.6	13	
		15	5	19	5.4	29	12	26		15	4	10	2.9	28	6.5	14	
		15	2	11	1.6	15	9.7	13		15	2	11	2.4	21	9.0	14	
		20	3	48	27	56	25	85		20	3	12	14	109	2.2	32	
20	1	18					20	2	28	20	74	7.2	48				
20	2	23	7.9	34	15	31	20	2	11	1.5	14	9.9	13				
20	2	21	6.9	33	14	28	20	2	12	3.8	32	7.9	16				

		E L H O T E L															
		15 JUNIO															
		1		2		3		4		5		6		7		8	
		n	CV	n	CV	n	CV	n	CV	n	CV	n	CV	n	CV	n	CV
5 cm	NH4	4	19	4	21	4	24	4	42	4	34	3	11	4	9.2	4	48
	PO4	4	16	4	53	4	31	4	17	4	61	3	15	4	37	4	26
10 cm	NH4	5	15	4	50	5	67	5	48	5	57	5	7.3	5	36	5	7.7
	PO4	5	8.2	4	27	5	6.6	5	22	5	48	5	50	5	39	5	31
15 cm	NH4	5	21	5	46	5	17	5	63	5	76	5	47	5	80	5	66
	PO4	5	27	5	29	5	18	5	21	5	101	5	26	5	64	5	45
20 cm	NH4	4	10	3	41	4	7.7	4	53	4	60	4	63	4	73	4	62
	PO4	5	36	4	27	4	18	5	37	5	49	5	28	5	20	5	104

		1		2		3		4		5		6		7		8	
		n	CV														
CV	NH4	18	21	16	52	18	51	18	54	18	65	17	51	18	55	18	53
TOT	PO4	18	30	16	46	17	33	18	26	18	90	17	47	18	57	18	68

		E L H O T E L																	
		16 JUNIO																	
		1		2		3		4		5		6		7		8		9	
		n	CV	n	CV	n	CV	n	CV	n	CV	n	CV	n	CV	n	CV	n	CV
5 cm	NH4	3	24	3	29	3	29	3	24			3	30	3	52	3	22	3	23
	PO4	3	54	3	53	3	52	3	56	3	49	3	73	2	14	3	57	2	45
10 cm	NH4	5	64	5	40	5	42	4	59	4	64	5	42	5	92	5	21	5	37
	PO4	5	71	5	19	5	38	5	22	5	25	5	65	5	63	5	47	5	36
15 cm	NH4	4	81	4	70	4	67	4	52	3	79	4	78	4	50	3	71	4	55
	PO4	4	12	3	28	4	23	3	18	3	34	4	17	4	33	4	97	3	23
20 cm	NH4	3	69	3	32	3	15	3	8.6	3	38	3	20	3	11	3	16	3	11
	PO4	3	41	2	3.4	3	43	3	38	3	14	3	21	2	41	3	49	3	15

		1		2		3		4		5		6		7		8		9	
		n	CV																
CV	NH4	15	63	15	48	15	43	14	35	11	38	15	53	15	80	14	28	15	37
TOT	PO4	15	63	13	56	15	51	14	45	14	61	15	86	13	53	15	76	13	65

		L A G R U L L A											
		17 JUNIO											
		1		2		3		4		5		6	
		n	CV	n	CV	n	CV	n	CV	n	CV	n	CV
5 cm	NH4	2	21	3	14	5	31	4	45	4	34	5	17
	PO4	3	44	3	38	4	62	3	66	4	30	3	48
10 cm	NH4	4	107	4	78	4	56	4	19	3	20	4	46
	PO4	4	61			2	14	3	38	3	30	4	15
15 cm	NH4	2	54	3	64	2	61	4	78	3	52	3	74
	PO4	2	60	2	61	2	36	4	30	3	92	3	68
20 cm	NH4	3	11	3	20	4	52	4	28	4	49	3	20
	PO4	3	80	3	57	2	37	4	51	3	25	3	27

		1		2		3		4		5		6	
		n	CV										
CV	NH4	11	70	13	83	15	68	16	83	14	89	15	93
TOT	PO4	12	95	9	99	10	65	14	85	13	93	13	78

Tabla II. (cont.)

		L A G R U L L A 18 JUNIO									
		1		2		3		4		5	
		n	CV	n	CV	n	CV	n	CV	n	CV
5	NH4	4	25			1		4	24	5	32
cm	PO4	5	38			1		3	64	5	80
10	NH4	4	47			1		2	1.6	4	4.7
cm	PO4	4	53			1		2	80	4	37
15	NH4	3	38	1		3	16	4	41	3	28
cm	PO4	3	64			3	28	4	55	3	67
20	NH4	3	54					3	41	3	16
cm	PO4	3	65			1		3	48	3	93
		1		2		3		4		5	
		n	CV	n	CV	n	CV	n	CV	n	CV
CV	NH4	14	84	1		5	38	13	40	15	36
TOT	PO4	15	99			6	46	12	71	15	71

Sin embargo, las diferencias mencionadas del muestreo del 17 de junio y las que a veces se encuentran cuando se muestrea en la misma localización en fechas cercanas, o en la misma fecha pero con unos metros de distancia, indica que hay un patcheo importante con una escala de unos pocos metros. Por ejemplo, en el muestreo de El Hotel, con la línea paralela a la playa, se presentaron muchos valores de NH_4 mayores a $70 \mu\text{M}$, mientras que el día anterior, con la línea perpendicular, casi no hubo valores superiores a $70 \mu\text{M}$ (Figs. 11 y 12). El caso más dramático en mis datos es el de los muestreos de junio en La Grulla. Comparando los resultados del muestreo del 18 para caracterizar los perfiles verticales (Fig. 10b) con los del día anterior (Figs. 10a, 15 y 17) ó con los del mismo 18 pero para caracterizar la variación horizontal (Figs. 16 y 18), se aprecia que los primeros son del orden de cinco a veinte veces mayores que los demás. Estas diferencias no se deben a errores en los análisis porque se presentan de una manera similar en ambas propiedades estudiadas. Cada vez que se muestrea en la misma localización se avanza unos pocos metros para trabajar en sedimentos no perturbados. Camacho Ibar y Alvarez Borrego (1988) reportaron un caso similar de un muestreo de cinco horas que resultó en valores de NH_4 y PO_4 del orden de unas cuatro veces mayores que en los otros muestreos. De alguna manera ésto debe estar relacionado con la distribución de la macrobiota que no es uniforme. Posiblemente las concentraciones mayores de los productos de degradación de la materia

orgánica se encuentran en lugares con mayor residencia del agua intersticial, lo cual implica un menor número de macrobiontes y sus estructuras, como madrigueras y raíces. Mis muestreos no fueron diseñados para caracterizar apropiadamente el petacheo en la escala de varios metros o más.

Los coeficientes de correlación cruzada para las series de nutrientes de diferentes profundidades entre sí (Tabla 3) fueron mayoritariamente significativos y positivos. Esto indica que en general el NH_4 y PO_4 de diferentes profundidades covariaron en el tiempo. Sin embargo, hubo uno de cada cuatro casos en que los coeficientes fueron negativos, mostrando una independencia en la variación temporal de una profundidad con respecto a las otras. Lo anterior es demostrativo de un petacheo muy complejo en la tercera dimensión, de nuevo debido a la actividad y a las estructuras de la macrobiota.

Para explorar la posible correlación de NH_4 y PO_4 con los cambios del nivel del mar, realicé análisis de correlación cruzada de series de tiempo. Los resultados no son consistentes. Hubo 25 casos con correlación negativa significativa, 14 con correlación positiva significativa y en un caso la correlación no fue significativa (Tabla 3). Para obtener los coeficientes máximos de correlación cruzada el desfazamiento fluctuó en la mayoría de los casos de cero a una hora. Lo anterior indica que en general la marea juega un papel importante en los cambios temporales debido a que causa la

Tabla III. Análisis de Correlación Cruzada Estimada (CCE) y tiempos de retardo(desf) en los distintos niveles en la columna del sedimento para fosfato y amonio versus nivel del mar en La Grulla y El Hotel en marzo y junio.

L A G R U L L A						MARZO 9 Y 10		
PO4			NH4					
Z cm	DESFAS hrs.	CCE	Z cm	DESFAS hrs.	CCE			
0	0,0,0	-.8,-.95,.24	0	0,.5,0	-.54,.36,-.8			
5	0	-.84	5	1.5	+.52			
15	0,.5	-.65,-.82	15	1,0	-.72,-.94			
40	.5,0	-.82,-.57	40	.5,0	-.82,-.71			
H O T E L						MARZO 14 Y 15		
0	3.5	-.54	0	2	-.84			
5	0	-.56	5	0	-.79			
15	0	-.45	15	0	-.70			
40	1	+.21	40	2	+.61			
H O T E L						JUNIO 15		
5	2	+.77	5	1	+.91			
10	1	+.82	10	0	+.80			
15	0	+.78	15	0	+.78			
20	0	+.93	20	1.5	+.78			
H O T E L						JUNIO 16		
5	1	-.58	5	0	-.51			
10	1	-.49	10	0	-.86			
15	0	-.64	15	0	-.51			
20	0	+.48	20	0	-.39			
G R U L L A						JUNIO 17		
5	2	+.68	5	2	-.69			
10	NC	NS	10	2	-.62			
15	1	+.77	15	3	-.47			
20	1	-.50	20	2	-.58			

percolación del agua intersticial, pero no hay una tendencia particular de los nutrientes de cambiar su concentración en un sentido con el flujo de la marea.

Los valores de NH_4 y PO_4 no se correlacionaron con la densidad de los tipos de bacterias estudiados. Posiblemente la densidad bacteriana se correlacione con la concentración de los sustratos, que no determiné. Los productos de la degradación de la materia orgánica sufren procesos, como el flujo a la columna de agua, que obscurecen cualquier covariación que se pudiera dar con la densidad bacteriana si se acumulasen disueltos en el agua intersticial del sedimento. Morales Zamorano et al. (1991) reportaron densidades bacterianas, medidas con microscopio de epifluorescencia, para muestras de la superficie de la columna de agua de una localidad cercana a la boca del Estero. Sus valores para mareas vivas fueron mayores y tuvieron un promedio de $4.5 \cdot 10^6$ células ml^{-1} . No es posible comparar mis valores con los de estos autores porque las metodologías de determinación de abundancias de bacterias fueron totalmente diferentes. La variación irregular de la densidad bacteriana con la profundidad en mi caso es posiblemente en parte debida a la gran heterogeneidad de condiciones fisicoquímicas en sedimentos con influencia de abundante macrobiota.

VI. CONCLUSIONES

La marea juega un papel importante como causa de la variabilidad temporal de NH_4 y PO_4 en los sedimentos de entremareas del Estero de Punta Banda, porque causa la percolación del agua intersticial. Pero no se presentó una correlación negativa persistente como lo sugirieron Aguiñiga García y Alvarez Borrego (1989).

La mayor variabilidad espacial de estas propiedades está concentrada principalmente en la escala de unos pocos cm (5 cm), y está posiblemente estrechamente asociada a madrigueras y otras estructuras de la macrobiota. Sin embargo, se evidenció un petacheo muy importante en una escala de unos pocos metros, posiblemente asociado a la heterogeneidad de la distribución espacial de la macrobiota en esa escala espacial.

Los datos indican que las propiedades estudiadas en general aumentan de la boca hacia el extremo interno de la laguna, aunque se presentaron excepciones en ciertos momentos por las particularidades del comportamiento fisicoquímico de estas especies químicas y el medio.

En general, los datos sugieren que hay una estacionalidad, con los valores de NH_4 y PO_4 mayores en verano que a finales de invierno, y con gradientes muy intensos en verano entre la superficie y 5 cm que no se presentan en invierno.

Los valores de NH_4 y PO_4 no se correlacionaron con las densidades de las bacterias HV y SR.

VII. 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*, 1(1): 16-45.
- Aguíñiga García, S. 1988. Nutrientes de aguas intersticiales en planos fangosos libres de pastos en una laguna costera: heterogeneidad espacio-temporal. Tesis de Maestría en Ciencias. CICESE, Ensenada, Baja California, 100 pags.
- Aguíñiga García, S. y S. Alvarez Borrego. 1989. Petacheo y variación temporal de amonio y fosfato en aguas intersticiales de sedimentos de entremareas de una laguna costera. *Ciencias Marinas*, 15(3): 97-120.
- Aldeco, J. y A. Ortega. 1987. Contenido de Fe, Mn, P y materia orgánica en sedimentos superficiales adyacentes al puerto de Mazatlán, Sinaloa, Méx. Resumen del VIII Congreso Nacional de Oceanografía, Ensenada, B. C., México.
- Aller, R. C. 1982. The effects of macrobenthos on chemical properties of marina sediments and overlying water. In: P. L. McCall and M. J. S. Tevesz (Eds.), *Animal-sediment relations. The biogenic alterations of sediments*. Plenum Press. 335 pags.

- Alvarez Borrego, S., J. R. Lara Lara y M. J. Acosta Ruiz. 1977. Parámetros relacionados con la productividad orgánica primaria en dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas*, 4(1): 12-22.
- Alvarez Borrego, J. y S. Alvarez Borrego. 1982. Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons. *CalCOFI Reports*, 23: 188-197.
- Alvarez Borrego, S., A. Granados Guzmán y J. L. Félix Beltrán. 1984. Temperatura y salinidad en el Estero de Punta Banda: 1982-1983. *Ciencias Marinas*, 10(3): 105-108.
- Alvarez Borrego, S., S. Aguiñiga García y V. F. Camacho Ibar. 1988. Un sencillo y barato muestreador in situ para aguas intersticiales de sedimentos de entremareas. *Ciencias Marinas*, 14(1): 41-50.
- Beltrán Félix, J. L., M. Gregory Hammann, A. Chagoya Guzmán y S. Alvarez Borrego. 1986. Ictiofauna del Estero de Punta Banda, Ensenada, Baja California, México, antes de una operación de dragado. *Ciencias Marinas*, 12(1): 79-92.
- Berner, R. A. 1980. Marine sediments of the continental margins. In: R. A. Berner (Ed.), *Early diagenesis*. 135-177.
- Berner, R. A. and J. T. Westrich. 1985. Bioturbation and the early diagenesis of carbon and sulfur. *American Journal of Science*, 285: 193-206.

- Bianchi, A., V. Jacq and M. Bensoussan. 1975. Distribution des populations bactériennes hétérotrophes dans les sédiments et dans les eaux proches du fond en Mer de Norvège. Institut Français du Pétrole, 29(1): 204-211.
- Bott, T. L. 1976. Nutrient cycles in natural systems: microbial involvement. In: J. Tourbier and R. W. Pierson (Eds.), Biological control of water pollution. 41-52.
- Brooks, J. 1978. Diagenesis of organic matter: some microbiological, chemical and geochemical studies on sedimentary organic matter. In: W. E. Krumbein (Ed.), Environmental biogeochemistry and geomicrobiology, Vol. 1: 287-308.
- Burton, J. D. 1976. In: J. D. Burton and P. S. Liss (Eds.), Estuarine Chemistry, Academic Press, London.
- Burton, J. D. 1978. Pure & Applied Chemistry. 385 pags.
- Camacho-Ibar, V. F. and S. Alvarez-Borrego. 1988. Nutrient concentrations in pore waters of intertidal sediments in a coastal lagoon: patchiness and temporal variations. The Science of the Total Environment, 75: 325-339.
- Celis Ceseña, R. y S. Alvarez Borrego. 1975. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos, físicos y químicos, en el Estero de Punta Banda, Baja California, en primavera y verano. Ciencias Marinas, 2(1): 98-105.

- Day, Jr., J. W. and A. Yañez-Arancibia. 1982. Coastal lagoons and estuaries: Ecosystems approach. *Ciencia Interamericana. Ciencias del Mar*, OEA, Washington, D. C., 22(1-2): 11-26.
- Dugan, P. R. 1972. Biochemical ecology of water pollution. Plenum Press, New York.
- Foyn, E. 1971. Municipal wastes. In: D. W. Hood (Ed.), Impingement of man on the oceans, 445-460. John Wiley & Sons, New York.
- Gieskes, J. M., H. Elderfield, J. M. Lawrence, J. Johnson, B. Meyers and A. Campbell. 1982. Geochemistry of interstitial waters and sediments, Leg 64, Gulf of California. In: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. LXIV, part 2: 675-694. Washington, D. C.
- Gieskes, J. M. and B. Nevsky. 1983. Interstitial water studies, Leg 65, Deep Sea Drilling Project. In: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. LXV. Washington, D. C.
- Green Ruiz, M. J., S. Caschetto and S. Alvarez Borrego. 1983. Dissolved silica in the water column and the interstitial waters of a coastal lagoon. *Ciencias Marinas*, 9(2): 51-74.
- Hattori, T. 1988. The viable count: quantitative and environmental aspects. *Science & Tech. Publ.* 88 pags.
- Ibarra Obando, S. E. and A. Escofet. 1987. Industrial development effects on the ecology of a Pacific mexican estuary. *Environmental Conservation*, 14(2): 135-141.

- Ibarra-Obando, S. E. and M. Poumiam-Tapia. 1992. The saltmarsh vegetation of Punta Banda estuary, Baja California, Mexico. In: U. Seeliger (Ed.), Coastal Plant Communities of Latin America. Chapter 13, 201-211. Academic Press, San Diego.
- Kaspar, H. F., R. A. Asher and I. C. Boyer. 1985. Microbial nitrogen transformations in sediments and inorganic nitrogen fluxes across the sediment/water interphase on the South Island West Coast, New Zealand.
- Kennish, M. J. 1986. Ecology of Estuaries, Vol. I: Physical and Chemical aspects. CRC Press, Boca Raton, Florida. 254 pags.
- Klump, J. V. and C. S. Martens. 1981. Biogeochemical cycling in an organic rich coastal marine basin. II. Nutrient sediment-water exchange processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45: 101-121.
- Mackin, J. E. and R. C. Aller. 1984. Ammonium adsorption in marine sediments. *Limnology & Oceanography*, 29(2): 250-257.
- Malcolm, S. J., N. S. Battersby, S. O. Stanley and C. M. Brown. 1986. Organic degradation, sulphate reduction and ammonia production in the sediments of Loch Eil, Scotland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 23: 689-724.
- Martens, C. S., R. A. Berner and J. K. Rosenfeld. 1978. Interstitial water chemistry of anoxic Long Island Sound sediments. 2. Nutrient regeneration and phosphate removal. *Limnology & Oceanography*, 23(4): 605-617.

- Mee, L. D. 1979. Coastal Lagoons, pags. 441-489. In: J. P. Riley and R. Chester (Eds.), Chemical Oceanography, 7. Academic Press, London.
- Millán Núñez, E., 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, 7(1): 103-128.
- McRoy, C. P., R. J. Barsdate, and M. Nebert. 1972. Phosphorus cycling in an eelgrass (Zostera marina L.) ecosystem. Limnology and Oceanography, 17: 58-67.
- Morales Zamorano, L. A., R. Cajal Medrano, E. Orellana Cepeda y L. C. Jiménez Pérez. 1991. Effect of tidal dynamics on a planktonic community in a coastal lagoon of Baja California. Marine Ecology Progress Series, 78(3): 229-239.
- Murray, J. W., V. Grundmanis and W. M. Smethie, Jr. 1978. Intertidal water chemistry in the sediments of Saanich Inlet. Geochimica et Cosmochimica Acta, 42: 1011-1026.
- Páez-Osuna, F., J. I. Osuna-López and J. Griffin. 1983a. Elemental carbon in a tropical coastal lagoon sediment core. Indian Journal of Marine Sciences, 12: 223-224.
- Páez Osuna, F., H. Fernández Pérez y E. F. Mandelli. 1983b. Mineralogía de los sedimentos de un núcleo de laguna de Mitla, Guerrero, México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 10(1): 271-276.

- Páez-Osuna, F., M. L. Fong-Lee, H. Fernández-Pérez, R. Lozano-Santacruz and G. Villaseñor. 1984. Heavy metals mineralogy in sediment cores from a tropical coastal lagoon, México. *Indian Journal of Marine Sciences*, 13: 153-158.
- Palacios, E., A. Escofet y D.H. Loya Salinas. 1991. El Estero de Punta Banda, B.C., México como un eslabón del "Corredor del Pacífico": abundancia de aves playeras. *Ciencias Marinas*, 17(3):109-131.
- Platt, T. and K. Denman. 1980. Patchiness in phytoplankton distribution. In: I. Morris (Ed.), *The physiological ecology of phytoplankton*, University of California Press, Berkeley, pags. 413-432.
- Price, B. N. 1976. Chemical diagenesis in sediments, pags. 1-51. In: J. P. Riley and R. Chester (Eds.), *Chemical Oceanography*, 6. Academic Press, London.
- Pritchard, D. W., R. De La Paz Vela, H. R. Cabrera Muro, y S. Farreras. 1978. Hidrografía física del Estero de Punta Banda. Parte I: Análisis de datos. *Ciencias Marinas*, 5(2): 1-23.
- Rhoads, D. C. and L. F. Boyer. 1982. The effects of marine benthos on physical properties of sediments. A successional perspective. In: P. L. McCall and M. J. S. Tevesz (Eds.), *Animal-sediment relations. The biogenic alterations of sediments*. Plenum Press. 335 pags.

- Redfield, A. C. 1934. On the proportions of organic derivatives in seawater and their relation to the composition of plankton. James Johnstone Memorial Volume, Liverpool, 177-192 pp.
- Redfield, A. C., B. H. Ketchum and F. A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. Chapter 2, 26-77 pp. In: M. N. Hill (Ed.). The Sea, Vol. 2: Ideas and observations on progress in the study of the seas. Interscience Publ., New York.
- Sánchez Hernández, J. L. 1978. Distribución superficial de micronutrientes en el Estero de Punta Banda, B. C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, Baja California. 83 pags.
- Seitzinger, S., S. Nixon, M. E. Q. Pilson and S. Burke. 1980. Denitrification and N_2O production in near shore marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44: 1853-1860.
- Silva Benavides, J. L. 1990. Dinámica del nitrógeno a través de la interfase sedimento-agua en el Estero de Punta Banda, B. C., México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, B. C. 46 pags.
- Silva Cota, S. and S. Alvarez Borrego. 1988. The "El Niño" effect on the phytoplankton of a north-western Baja California coastal lagoon. *Estuarine, Coastal & Shelf Science*, 27: 109-115.

- Soto Balderas, M. G. L. y S. Alvarez Borrego. 1991. Nutrientes inorgánicos en los canales de inundación de las marismas de una laguna costera del noroeste de Baja California. *Ciencias Marinas*, 17(3): 1-20.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, 311 pags.
- Waples, D. W. and J. R. Sloan. 1980. Carbon and nitrogen diagenesis in deep sea sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44: 1463-1470.
- Warren, E. C. 1971. Biology and water pollution control. Kinds of water pollution. W. B. Saunders (Ed.). Philadelphia. 63 pags.
- Yañez Arancibia, A. 1986. Ecología de la zona costera. Análisis de siete tópicos. AGT Editor, S. A., México, D. F. 190 pags.
- Zertuche González, J. A. y S. Alvarez Borrego. 1978. Series de tiempo de variables fisicoquímicas en las bocas de dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas*, 5(1): 91-103.
- Zirino, A. R. 1975. Measurement of the apparent pH of seawater with a combination microelectrode. *Limnology & Oceanography*, 20(1): 654-657.