

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

VARIABILIDAD DE NUTRIENTES EN LA ENSENADA NORTE DE BAHIA DE
LOS ANGELES, B. C. (VERANO DE 1986).



TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANOLOGO

PRESENTA

Héctor David Castro Montoya

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA. MAYO DE 1988.

RESUMEN.

Se generaron series de tiempo de ocho días de los nutrientes (nitratos, nitritos, amonio, fosfatos y silicatos) en una estación en la Ensenada Norte de Bahía de los Angeles, B. C. cubriendo un periodo de mareas muertas y vivas, en verano de 1986. Las muestras se tomaron cada dos horas a dos niveles de la columna de agua (superficie y diez metros). Esto se hizo para describir la variación temporal de los nutrientes en esta ensenada y delucidar los principales factores que causan sus variaciones. Las condiciones que prevalecieron durante el periodo de muestreo fueron, de estabilidad y estratificación de la columna de agua durante mareas muertas y de mezcla durante mareas vivas. La variabilidad de los nutrientes durante el primer periodo fue afectada principalmente por procesos biológicos (consumo y remineralización), y por procesos físicos (mareas y vientos) durante mareas vivas. La periodicidad de variación de onda larga, diurna y semidiurna están asociadas a la alternancia de mareas, actividad biológica y a la variación semidiurna de la marea, respectivamente. Las concentraciones de los nutrientes en el nivel de diez metros son mayores o iguales que en la superficie. Los rangos encontrados fueron de 0.13 a 9.47 y 0.03 a 9.78 μM para nitratos, 0.00 a 0.11 y 0.00 a 0.21 μM para nitritos, 0.11 a 6.06 y 0.11 a 12.68 μM para amonio, 0.50 a 1.75 y 0.65 a 1.84 μM para fosfatos y 0.94 a 42.44 y 5.82 a 48.2 μM para silicatos en la superficie y diez metros respectivamente. Estas concentraciones de nutrientes son mayores que las reportadas para el Canal de Ballenas y Estero de Punta Banda, B. C., pero menores que las de Bahía de San Quintín y Bahía San Luis Gonzaga, B. C. Las concentraciones de fosfatos y silicatos fueron más grandes que el límite mínimo experimental de 0.22 μmol de fosfatos (Thomas y Dodson, 1968, citados por Alvarez Borrego, 1983) y 0.51 μM de silicatos (Thomas y Dodson, 1975), que son requeridos para el crecimiento de diatomeas tropicales.

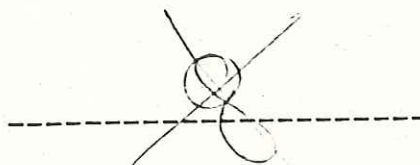
VARIABILIDAD DE NUTRIENTES EN LA ENSENADA NORTE DE BAHIA DE
LOS ANGELES, B. C. (VERANO DE 1986).

T E S I S

QUE PRESENTA

Héctor David Castro Montoya

APROBADA POR:



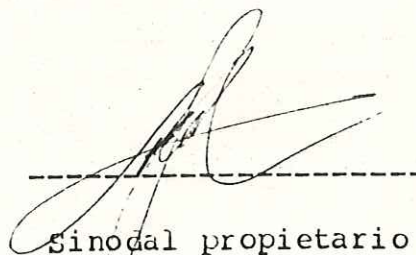
Presidente del jurado.

Oc. José Antonio Segovia Zavala



Sinodal propietario

M. C. Gilberto Gaxiola Castro



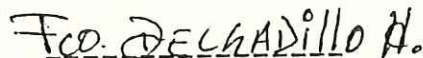
Sinodal propietario

M. C. Ramón Cajal Medrano



Sinodal suplente

Oc. Salvador Galindo Bect



Sinodal suplente

Oc. Francisco Delgadillo Hinojosa

DEDICATORIA.

A mis padres.

Juventino y Alicia

Por su comprensión, consejos y ayuda para salir adelante, mi cariño y respeto siempre.

A mis hermanos todos.

Mi cariño, por su amistad y ayuda incondicional.

A mi abuelita.

Ma. Teresa.

Por su afán de seguir siempre adelante, mi admiración, respeto y cariño siempre.

A mis compañeros de Universidad.

Por su gran amistad incondicional brindada durante mi carrera, siempre mis recuerdos.

Por su inmensidad y belleza, mi admiración.

Al "O C E A N O".

AGRADECIMIENTOS.

 Mi gratitud y agradecimiento al Oc. José A. Segovia Z. por su apoyo, consejos y sugerencias en la dirección y realización de éste trabajo.

 A los sinodales. M.C. Gilberto G. Castro, M.C. Ramón Cajal M., Oc. Salvador Galindo Bect y Oc. Francisco Delgadillo Hinojosa, por sus sugerencias y ayuda para la realización de éste trabajo, gracias.

 Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas por facilitar sus instalaciones y material necesario, además de una beca tesis durante el desarrollo de este trabajo.

 A todas aquellas personas que me ayudaron durante mi carrera y especialmente a quienes de una u otra manera colaboraron e hicieron posible la realización de este estudio, a todas ellas mi más sincero agradecimiento.

INDICE GENERAL.

	Pagina
PORTADA.....	I
RESUMEN.....	II
PAGINA DE APROBACION.....	III
INDICE GENERAL.....	IV
LISTA DE TABLAS.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VI
I. INTRODUCCION.....	1
I.1. Antecedentes.....	6
I.2. Objetivos.....	9
II. MATERIALES Y METODOS.	
II.1. Descripción y localización del área de estudio.....	9
II.2. Método de muestreo y análisis.....	12
II.3. Método de análisis de datos.....	13
III. RESULTADOS.	
III.1. Descripción de las series de tiempo.....	15
III.2. Análisis estadístico.....	22
III.3. Análisis espectral.....	25
IV. DISCUSIONES.....	28
V. CONCLUSIONES.....	37
VI. BIBLIOGRAFIA.....	38
APENDICE. I.....	43
APENDICE. II.....	44

LISTA DE TABLAS.

	Página
TABLA I.- Estadística básica de las series de tiempo.....	24
TABLA II.- Estadística básica de las series de tiempo de la superficie, separadas en mareas muertas y vivas.....	24
TABLA III.- Estadística básica de las series de tiempo a diez metros, separadas en mareas muertas y vivas.....	24

LISTA DE FIGURAS.

	Pagina
FIGURA 1.- Localizaci3n del 3rea de estudio.....	10
FIGURA 2.- Series de tiempo de Nitrato.....	16
a) Superficie, b) Diez metros y	
c) Onda de marea.	
FIGURA 3.- Series de tiempo de Nitrito.....	17
a) Superficie, b) Diez metros.	
FIGURA 4.- Series de tiempo de Amonio.....	18
a) superficie, b) Diez metros.	
FIGURA 5.- Series de tiempo de Fosfato.....	19
a) Superficie, b) Diez metros.	
FIGURA 6.- Series de tiempo de Silicato.....	20
a) Superficie, b) Diez metros.	
FIGURA 7.- Intervalos de confianza de las medias.....	23
a) Nitrato, b) Nitrito, c) Amonio,	
d) Fosfato y e) Silicato.	
FIGURA 8.- Espectros de variancia.....	26
a) De marea, b) y c) Nitrato	
d) y e) Nitrito.	
FIGURA 9.- Espectros de variancia.....	27
a) y b) Amonio, c) y d) Fosfato y	
e) y f) Silicato.	

I. INTRODUCCION.

Desde el comienzo de la década de los setentas, ha existido un interés creciente por el desarrollo del maricultivo en lagunas costeras de Baja California (Millán Nuñez et al. 1981). Para tal propósito se ha venido investigando el comportamiento de los parámetros hidrológicos, clorofilas, abundancia de fitoplancton, productividad primaria, transparencia del agua, velocidad de corrientes y algunas variables meteorológicas, con diferentes períodos de duración para algunas bahías. Como ejemplo están los trabajos realizados en Bahía Magdalena, B. C. S. (Alvarez Borrego et al. 1975 y Acosta Ruiz y Lara Lara, 1978), Estero de Punta Banda y Bahía de San Quintín, B. C. (Alvarez Borrego y Chee Barragán, 1976; Millán Nuñez y Alvarez Borrego, 1978; Zertuche González y Alvarez Borrego, 1978; Alvarez Borrego y Najera Muñoz, 1979; Millán Nuñez et al. 1981 y Millán Nuñez et al. 1982). En la última de estas bahías y apoyado por los antecedentes citados, se está desarrollando sistemáticamente el ostricultivo.

Los métodos que podrían utilizarse para determinar la fertilidad de un cuerpo de agua costero donde se planea desarrollar un maricultivo a escala comercial, son variables. Los primeros trabajos sobre las condiciones

físicas y químicas que gobiernan el crecimiento del fitoplancton en el agua de mar, fué guiado por el conocimiento de que los organismos fotosintéticos requieren de nutrientes minerales, principalmente fósforo y nitrógeno (Provasoli, 1963). Harvey (1947) citado por Redfield et al. (1963) propuso que el fósforo total o el nitrógeno total combinado en aguas naturales pueden ser usados para distinguir su potencial de fertilidad. Redfield et al. (1963) abordaron el problema de la fertilidad oceánica, relacionandola con dos de los nutrientes mayores del agua de mar, fosfatos y nitratos. Alvarez Borrego y Chee Barragán (1976) estudiaron la distribución superficial de nutrientes fosfatos y silicatos en Bahía de San Quintín, como indicadores de su fertilidad.

Como a menudo en maricultura se trata de cultivar animales y no algas, por lo cual, la única determinación de nutrientes inorgánicos no es un indicador suficiente del potencial de riqueza, aunque podrían ser tomados como "índice de fertilidad" porque en principio, se podría considerar que a mayor concentración de nutrientes inorgánicos mayor productividad orgánica primaria y por lo tanto mayor productividad orgánica secundaria, etc. (Alvarez Borrego y Chee Barragán, 1976).

La importancia de estudiar estos nutrientes, es

debido a que los fosfatos y nitratos disueltos en el agua de mar, son la fuente principal de los componentes mayores de los organismos fitoplanctónicos, y particularmente el silicato en los exoesqueletos de las diatomeas (Redfield et al. 1963). Siendo estos organismos la base de la cadena trófica en el medio ambiente marino.

Nixon (1981) citado por Boynton et al. (1982) revisó los patrones de productividad en un grupo de sistemas estuarinos e infirió que, las altas razones de producción comunes en sistemas estuarinos, son el resultado del relativamente completo y rápido reciclamiento heterotrófico de nutrientes. Los cálculos concernientes al acoplamiento de nutrientes y producción indican que el reciclamiento es dependiente de una fuente de materia orgánica, la cual proviene principalmente de la producción de fitoplancton, indicando además el estrecho acoplamiento de los procesos heterotróficos y autotróficos (Kempt et al. 1982).

Como las lagunas costeras generalmente son más ricas en materia orgánica e inorgánica que el océano adyacente, el acoplamiento entre estos sistemas es de gran importancia en la circulación y redistribución de los nutrientes y otras variables, atribuyendolo a la forma de energía física, flujo de nutrientes y materia orgánica particulada viva o muerta (Potsma, 1969 y Phleger, 1982, citados por

Farfán y Alvarez Borrego, 1983).

Existen diferentes factores que causan la variación de los nutrientes inorgánicos disueltos en bahías y lagunas, siendo los principales: el consumo por procesos de fotosíntesis, aportes por productos de excreción de los organismos, regeneración por oxidación de materia orgánica, aportes abióticos como efectos de surgencias y disolución de sedimentos. (Redfield et al. 1963).

El fósforo de los organismos está presente la mayor parte en combinación orgánica, formando moléculas de gran importancia fisiológica. En la descomposición de estos materiales presumiblemente por acción bacteriana, el fósforo es liberado como fosfato en la forma iónica (Redfield et al. 1963).

La regeneración de nitratos en el agua de mar es un poco más complicada que la del fosfato, como es el hecho de que el nitrógeno existe en balance en el agua de mar, variando en sus estados de oxidación de -3 a +5. Gilson (1937) citado por Richards (1981) señaló que la forma más estable de nitrógeno inorgánico combinado en el agua de mar, es el nitrato, y que en la descomposición de materia orgánica el nitrógeno es liberado como amonio y oxidado consecuentemente hasta nitrato.

Un nutriente como el sílice del silicato, difiere de los componentes inorgánicos de nitrógeno y fósforo, ya que no es requerido universalmente por la materia viviente. Sin embargo, éste se encuentra en grandes cantidades en los exoesqueletos de las diatomeas y silicoflagelados las cuales son un grupo muy importante del fitoplancton (Redfield et al. 1963). La concentración alta de sílice, puede ser un índice de la abundancia relativa de organismos tales como diatomeas, las cuales contribuyen a la productividad del medio.

En las lagunas costeras existe una gran variabilidad de las condiciones ambientales en función del tiempo. Alvarez Borrego et al. (1977) en sus estudios de variación diurna de parámetros hidrológicos y variables meteorológicas en el Estero de Punta Banda y Bahía de San Quintín, trataron de relacionar los cambios de estas variables entre sí, pero concluyeron que series de tiempo de sólo 24 ó 26 horas son muy cortas para establecer con claridad las tendencias de cambio, sugiriéndose hacer muestreos relativamente largos para obtener un conjunto de datos que permitan hacer un análisis estadístico más adecuado.

El análisis espectral de series de tiempo, es uno de los métodos que se ha venido desarrollando ultimamente en

los estudios del comportamiento de variables hidrológicas, con intervalos de muestreo pequeños y periodos de muestreo más largos., como son trabajos realizados por Millán Nuñez et al. (1981) y Millán Nuñez et al. (1982) en los cuales han logrado obtener las tendencias de cambio y la periodicidad de variación de las variables medidas, relacionandolas entre sí, para explicar su comportamiento y los factores que se le asocian.

I.1. Antecedentes.

Respecto a la literatura consultada, en la zona aledaña a Bahía de los Angeles la información referente a estudios sobre nutrientes es escasa, existiendo estudios como el de Lizarraga Arciniaga y Marinone Moschetto (1978), donde reportaron variables hidrológicas presentando, para el periodo de verano una estratificación de la columna de agua bien definida, mientras que en otoño está ausente. Gilmartin y Revelante (1978) reportaron concentraciones de nutrientes en lagunas del Este y Oeste del Golfo de California y en particular para Bahía de los Angeles, los nutrientes superficiales fueron $0.61 \mu\text{M}$ para los nitratos y $1.11 \mu\text{M}$ para los fosfatos, con un rango de variación de 0.07 a 5.04 y 0.80 a $2.24 \mu\text{M}$, respectivamente.

En contraste con lo anterior, existe información

disponible del Mar de Cortez señalándolo como una área de gran fertilidad. Sin embargo, se trata de muestreos puntuales que ignoran la variabilidad temporal y espacial de nutrientes (Alvarez Borrego, 1983).

En general las concentraciones de fosfato para todo el golfo, son más grandes que el límite mínimo experimental de $0.22 \mu\text{mol}$ que es requerido para el crecimiento de diatomeas tropicales (Thomas y Dodson, 1968, citados por Alvarez Borrego, 1983). La concentración de nutrientes (nitratos, nitritos, fosfatos y silicatos) presenta una tendencia a incrementarse de la boca del golfo a la isla Angel de la Guarda y a decrecer a partir de ésta hacia la parte Norte del golfo. Los valores más altos son observados en el Canal de Ballenas, debido a la fuerte mezcla por efectos de marea Alvarez Borrego et al. (1978).

Se eligió a Bahía de los Angeles, B. C. para el presente estudio en particular, ya que cumple con ciertos requisitos básicos para el desarrollo del maricultivo, como son: una morfología y profundidad apropiada, área protegida, infraestructura de acceso en óptimas condiciones. Un dato importante es que el área de estudio está situada en una franja del golfo donde se presentan eventos característicos de fertilidad, como son: surgencias, amplios rangos de marea, etc., y además donde

se presentan los valores máximos de nutrientes del golfo, (Alvarez Borrego et al. 1978).

Este trabajo forma parte de un estudio interdisciplinario cuyos objetivos principales son determinar la variación de factores físicos, químicos y biológicos en cuerpos de agua costeros para el aprovechamiento de los mismos en maricultivo.

El planteamiento de investigación de dicho proyecto está enfocado a estudiar las condiciones extremas de variación que rigen a los cuerpos costeros del golfo, como son la variación estacional con bajas y altas temperaturas además de la variación de corto periodo (con mareas vivas y muertas) y otras más pequeñas como la diurna y semidiurna. Por lo tanto este trabajo sólo contempla un periodo representativo de la época de verano, la cual incluye un ciclo de mareas.

I.2. Objetivos.

Los objetivos de éste trabajo son los siguientes:

Determinar el comportamiento de los nutrientes en corto periodo y explicar los principales factores que determinan su variación en la Ensenada Norte de Bahía de los Angeles, B. C. durante el periodo de verano.

Determinar la fertilidad de ésta zona en ésta época del año.

Generar información que sirva como marco de referencia para usos necesarios y estudios posteriores de la bahía.

II. MATERIALES Y METODOS.

II.1 Descripción y localización del área de estudio.

Bahía de los Angeles se localiza a 650Km al Sur del Puerto de Ensenada, B. C. entre las coordenadas $28^{\circ}56'14''$ N y $113^{\circ}33'22''$ W (fig. 1), corresponde a la porción Oeste central del Golfo de California. Colinda al Oeste con el poblado Punta Prieta y al Este sobre el Golfo de California

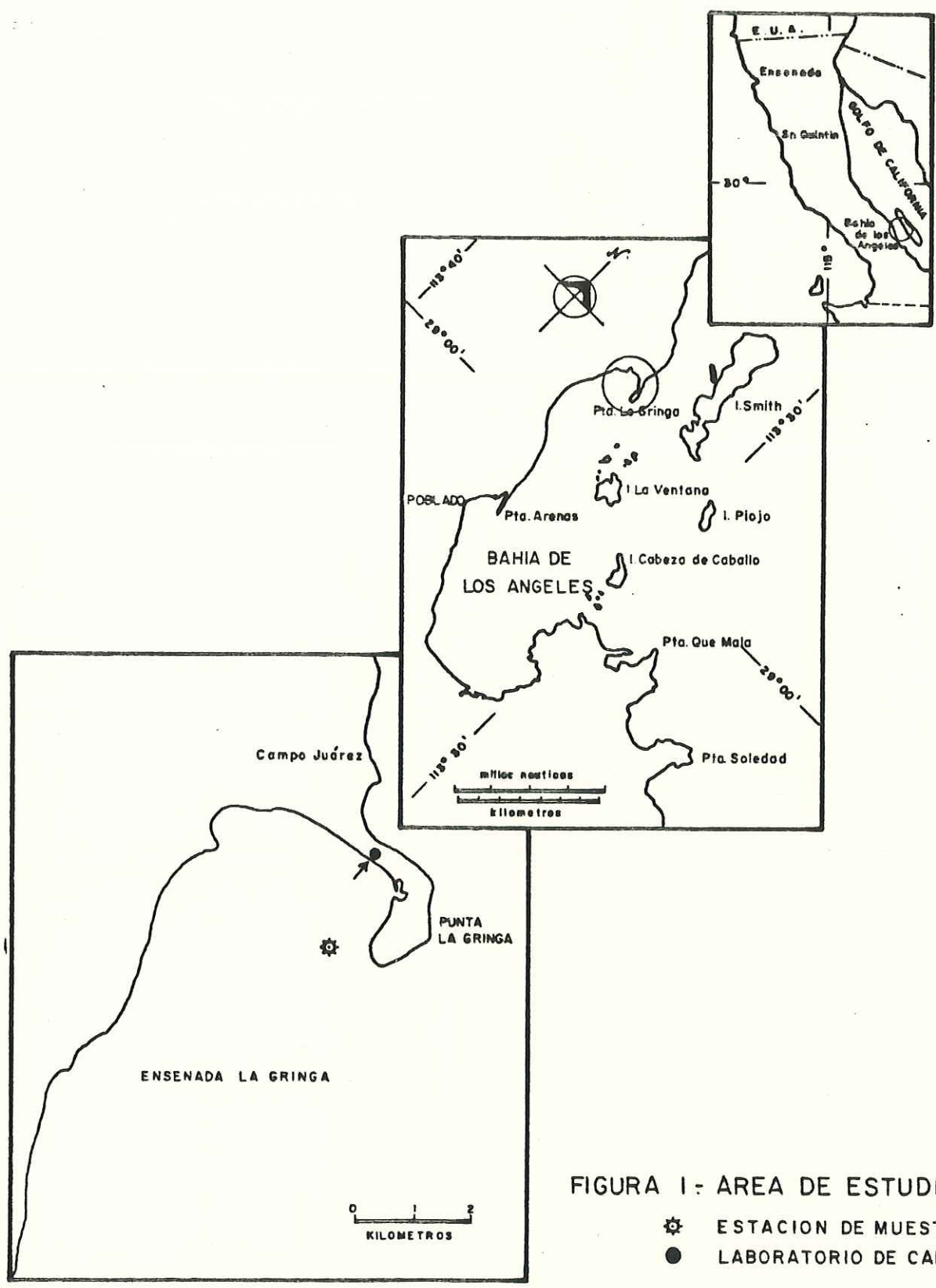


FIGURA 1: AREA DE ESTUDIOS

- ⚙ ESTACION DE MUESTREO
- LABORATORIO DE CAMPO

con la isla Angel de la Guarda y otras islas de menor tamaño (Islas Olivares, 1982).

La Ensenada la Gringa que se localiza en la parte Norte de Bahía de los Angeles, es una área de ésta bahía que está protegida por una barra de canto rodado ó piedra bola, llamada Punta la Gringa. Su tamaño de grano disminuye desde la punta de la barra a lo largo de la playa, hacia el Norte hasta arenas finas. En la parte media de la barra existe un pequeño canal con entrada estrecha, que se conecta a una marisma la cual se inunda durante las mareas altas.

A lo largo de esta ensenada corre un canal principal que entra junto a la punta de la barra, con una profundidad promedio de 25 a 30m, disminuyendo ligeramente hacia el interior de la ensenada. Tiene una batimetría uniforme con pendiente suave y fondo arenoso.

Esta área de Bahía de los Angeles, se caracteriza por tener suelo arenoso árido con montañas circundantes, condiciones extremas de temperatura, poca precipitación pluvial y vientos muy variables. La fauna terrestre comprende diversos tipos de felinos, roedores, reptiles, insectos y aves. La vegetación es característica de desiertos, como son arbustos de chaparral y diversos

cactus. La fauna acuática es rica en diversas especies de moluscos y peces. La marisma presenta vegetación propia de la misma y una gran abundancia de cangrejos, principalmente violinista.

II.2. Método de muestreo y análisis

Para el desarrollo de este trabajo se efectuó un muestreo cuasicontinuo, en una estación fija situada sobre el canal principal aproximadamente a 600m frente a Punta la Gringa (fig. 1). Se colectaron muestras de agua a dos niveles de la columna (superficie y diez metros) con botellas Van Dorn de 2.5 litros, cada dos horas durante ocho días (del 25 de Agosto al 2 de Septiembre de 1986), cubriendo un período de mareas muertas y vivas.

Las muestras se vertieron en botellas de polietileno de 250ml y fueron transportadas de la estación de muestreo (en aproximadamente 15min.) al laboratorio de campo en una hielera para evitar el calentamiento de las mismas, congelándose posteriormente a -10° C. El análisis de los nutrientes se realizó en el laboratorio del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (I.I.O.) mediante métodos espectrofotométricos posterior a la reacción indicada para cada uno de los siguientes nutrientes.

Nitratos, nitritos, fosfatos y silicatos por el método descrito por Strickland y Parsons, (1972), y amonio por el método descrito por Grasshoff, (1976).

Para las mediciones espectrofotométricas se utilizó un espectrofotómetro digital SPECTRONIC 2000 de la Bausch & Lomb, con el cual se obtuvieron las absorbancias de tres alícuotas de cada una de las muestras de cada nutriente. Observándose que los errores manuales, mecánicos y por reactivos son mínimos, ya que las absorbancias de los blancos y de los estándares fueron muy similares entre cada análisis, y además la variación de las absorbancias entre las alícuotas de cada muestra fue mínima, obteniéndose curvas de calibración con coeficientes de determinación r^2 hasta de 99.99 (ver apéndices I y II).

II.3. Método de análisis de datos.

Las concentraciones de los nutrientes están dadas en μM , las cuales se calcularon por medio de la ecuación de la recta resultante de la regresión lineal de una curva de calibración con estándares de cada nutriente. Los valores graficados son los promedios de cada uno de los triplicados de cada muestra.

La altura de marea se obtuvo de un mareograma

generado por el grupo de mareografía del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE).

Los datos se procesaron mediante un análisis estadístico convencional, obteniéndose la media, desviación estándar, varianza y coeficiente de variación. Para tal análisis se eliminó todo aquel valor mayor de tres veces la desviación estándar, por el criterio de la prueba Z, descrito por Sokal y Rohlf, (1969). Además se calcularon los límites de confianza al 0.05 de significancia para las medias. Se obtuvieron también los rangos de variación de cada uno de los nutrientes, durante todo el periodo de muestreo y también por periodos de mareas muertas y vivas. Se graficaron las series de tiempo de nutrientes y onda de marea.

Se aplicó un análisis espectral de series de tiempo a cada una de las series para obtener sus respectivos espectros de variancia, tomando en cuenta que el grupo de datos obtenidos aquí, es muy cercano al valor mínimo de 100 observaciones continuas necesarias para aplicar este análisis descrito por Wastler, (1969). Esta operación estadística puede ser considerada como un análisis de variancia, en el cual la variancia total de una propiedad se reparte entre las componentes que resultan de procesos

en diferentes periodos caracteristicos (Platt y Denman, 1975, citados por Millán Nuñez et al. 1981).

La intención de usar la herramienta del análisis espectral de series de tiempo, es con la finalidad de diferenciar más claramente los periodos de variación de los nutrientes durante la serie de tiempo y asociarles a éstos los procesos que los influncian.

III. RESULTADOS.

III.1. Descripción de las series de tiempo.

Se obtuvieron las series de tiempo de cada uno de los nutrientes en ambos niveles (superficie y diez metros) con un total de 95 observaciones continuas durante un periodo de mareas muertas y vivas.

La serie de tiempo de altura de marea, muestra una secuencia de mareas muertas y vivas con un comportamiento semidiurno. Las mareas muertas corresponden a los primeros cuatro días de muestreo y las mareas vivas a los últimos cuatro. El rango máximo de altura de marea fue de 2.3m (fig. 2c).

Cada una de las series de las tres formas de

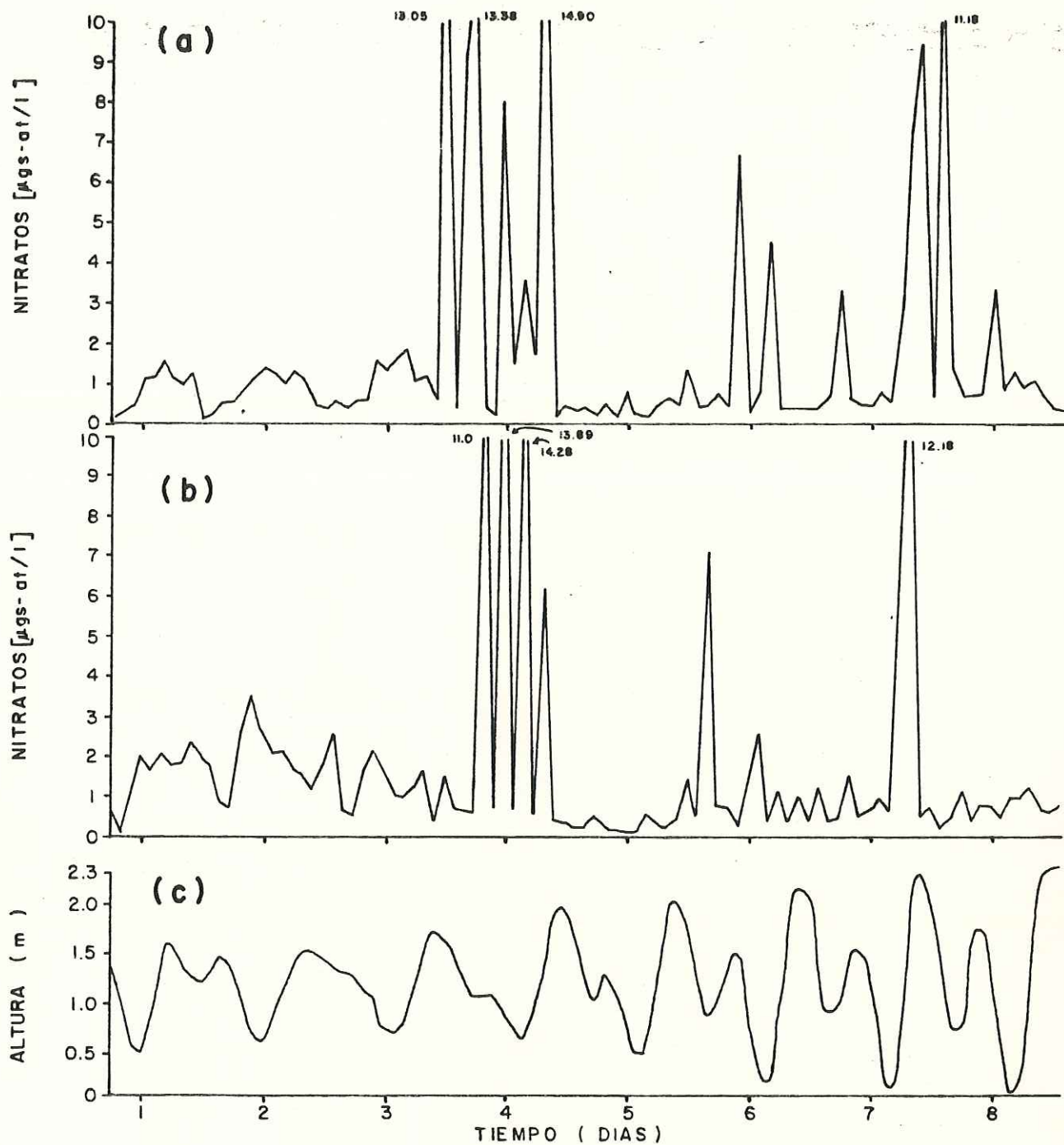


FIGURA 2:- SERIES DE TIEMPO DE NITRATO.

a) Superficie b) Diez metros c) Onda de marea

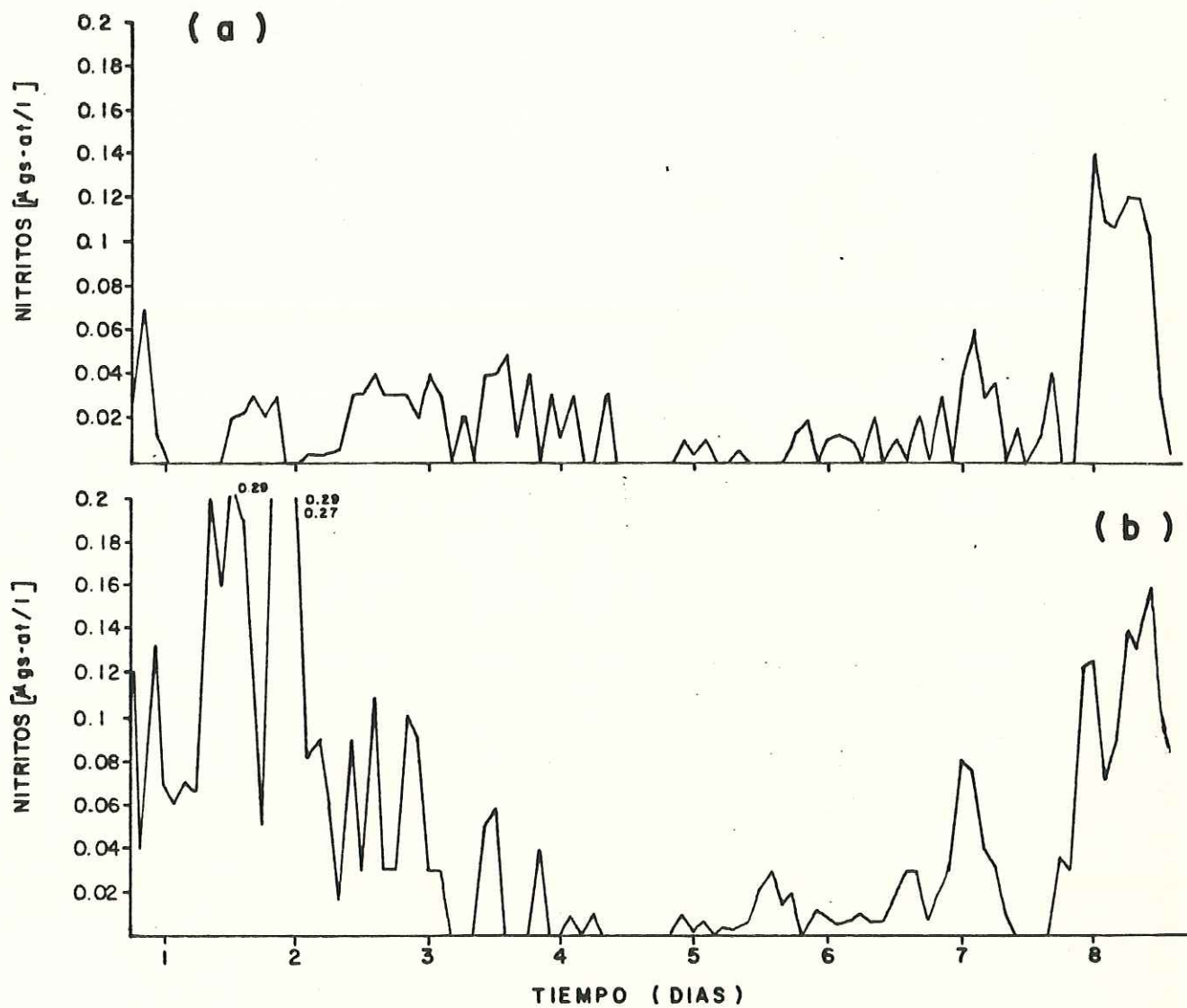


FIGURA 3 - SERIES DE TIEMPO DE NITRITO.

a) Superficie b) Diez metros

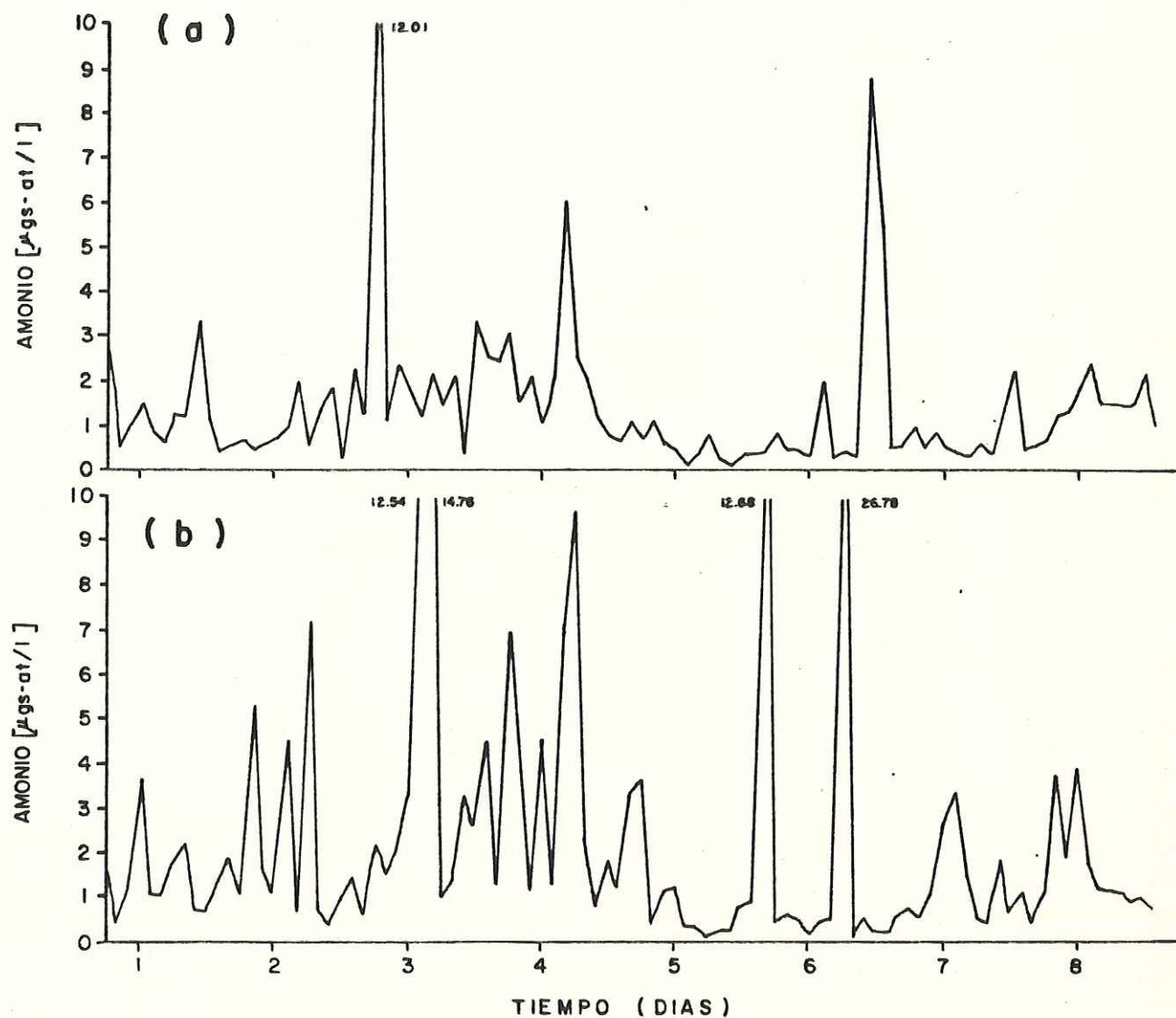
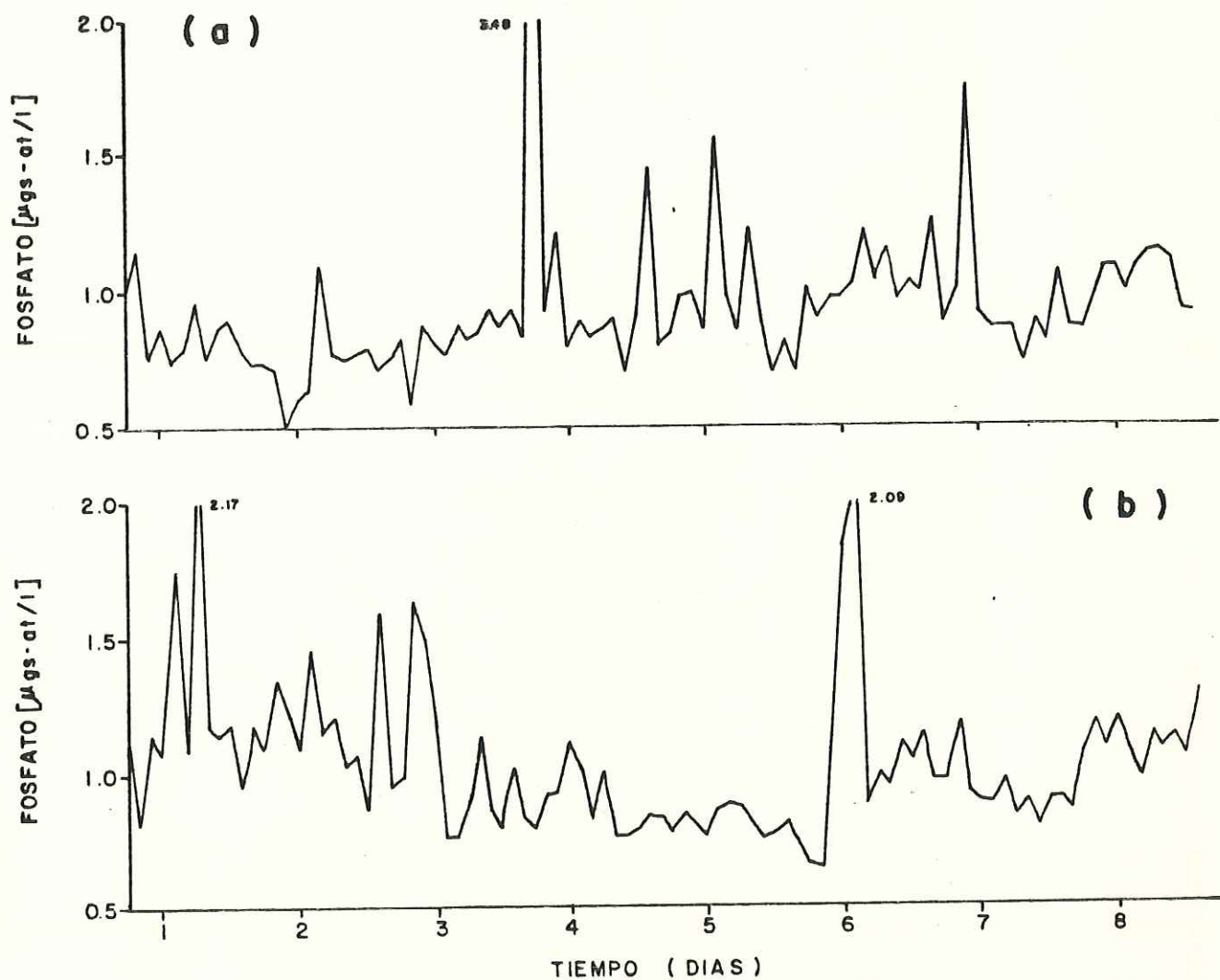


FIGURA 4 - SERIES DE TIEMPO DE AMONIO
 a) Superficie b) Diez metros



LOS NUMEROS CORRESPONDEN A
LA MEDIA NOCHE

FIGURA 5 - SERIES DE TIEMPO DE FOSFATO
a) Superficie b) Diez metros

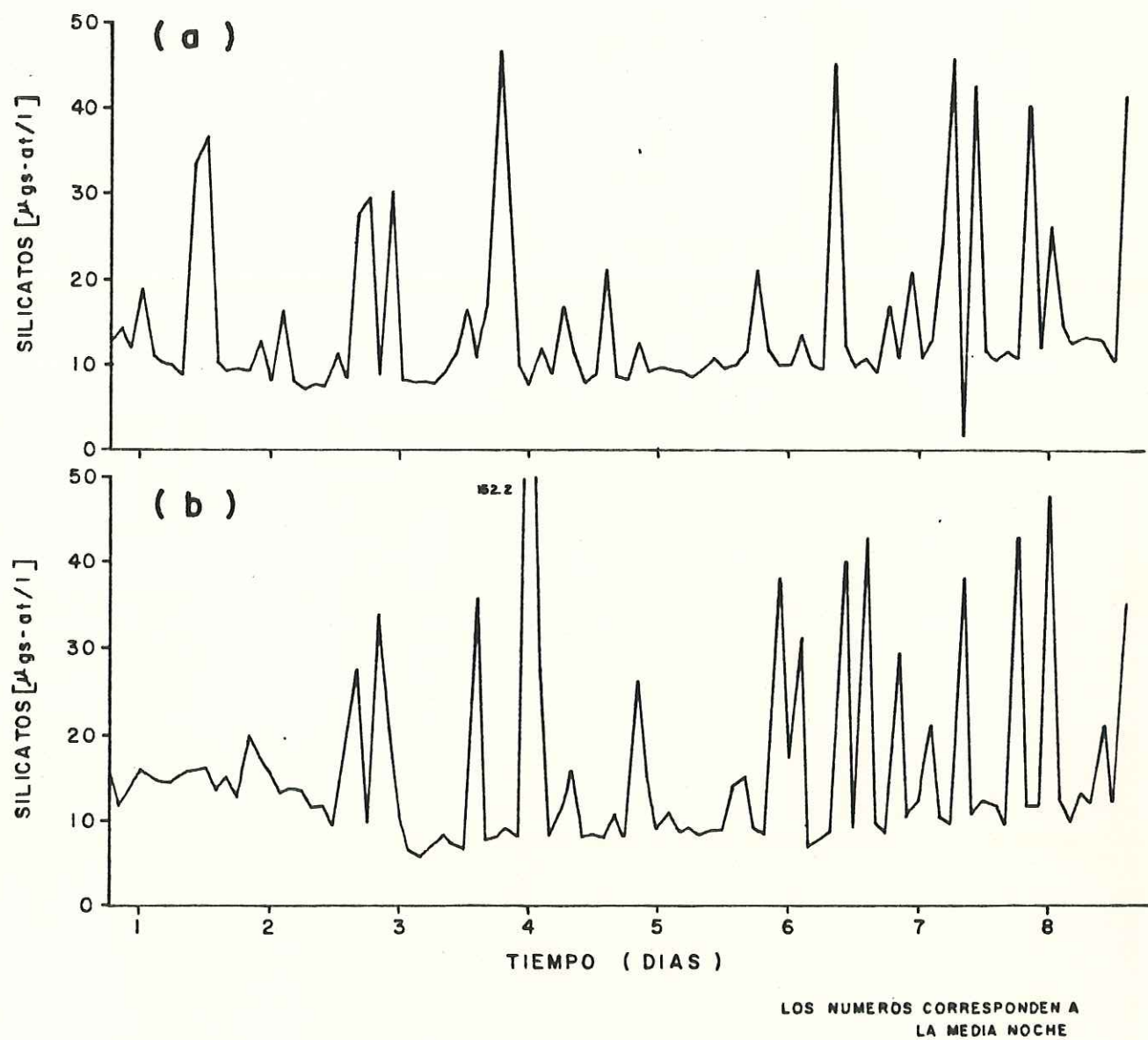


FIGURA 6 - SERIE DE TIEMPO DE SILICATO

a) Superficie b) Diez metros

nitrógeno, muestran un comportamiento muy similar en ambos niveles (figs. 2, 3 y 4a y b), observándose en general una variación de largo periodo, con ligera tendencia de incremento y una posterior disminución durante el periodo de mareas muertas. En general todas las formas de nitrógeno presentan un comportamiento diurno durante las mareas muertas, siendo más evidente para los nitratos y amonio en ambos niveles. Las concentraciones de nitritos presentan valores mínimos durante la transición de mareas muertas a vivas. En general todos los nutrientes no presentan un patrón definido respecto a la onda de marea, durante mareas vivas.

Las series de tiempo de los fosfatos, en la superficie no muestran un comportamiento bien definido, sin embargo se observa una ligera tendencia de incremento durante todo el periodo de muestreo (fig. 5a). Mientras que a diez metros, muestra un comportamiento muy similar al de los nitritos de este nivel, describiendo una tendencia de variación de onda larga (fig. 5b).

Los silicatos muestran una gran variación, presentando valores altos y bajos indistintamente durante todo el periodo de muestreo, en ambos niveles (fig. 6a y b). Algo muy notorio en estas series es que, los mínimos que alcanza este nutriente para ambos niveles, no son

inferiores a $10 \mu\text{M}$ aproximadamente, durante todo el periodo de muestreo.

III.2. Análisis estadístico.

Las concentraciones de los nutrientes son mayores a nivel de los diez metros para el nitrito, amonio y fosfato (figs. 7b, c y d). Sin embargo, para los nitratos y silicatos no se observa diferencia en la concentración para ambos niveles (figs. 7a y e).

Con respecto a la concentración superficial, no se observa diferencia entre las mareas muertas y vivas de nitratos, nitritos y silicatos (figs. 7a, b y e) mientras que el amonio es más alto durante mareas muertas y el fosfato en mareas vivas (figs. 7c y d). A diez metros de profundidad, el nitrato, fosfato y silicato no presentan diferencia en la concentración entre mareas muertas y vivas (figs. 7a, d y e), sin embargo el amonio y el nitrito son mayores durante las mareas muertas (figs. 7b y c).

En cuanto a la variación, ésta es mayor en los compuestos del nitrógeno y en particular para el nitrato y nitrito superficial, mientras que para el amonio es mayor a los diez metros. Los fosfatos y silicatos no presentan diferencia en cuanto a variación entre ambos niveles (Tabla I).

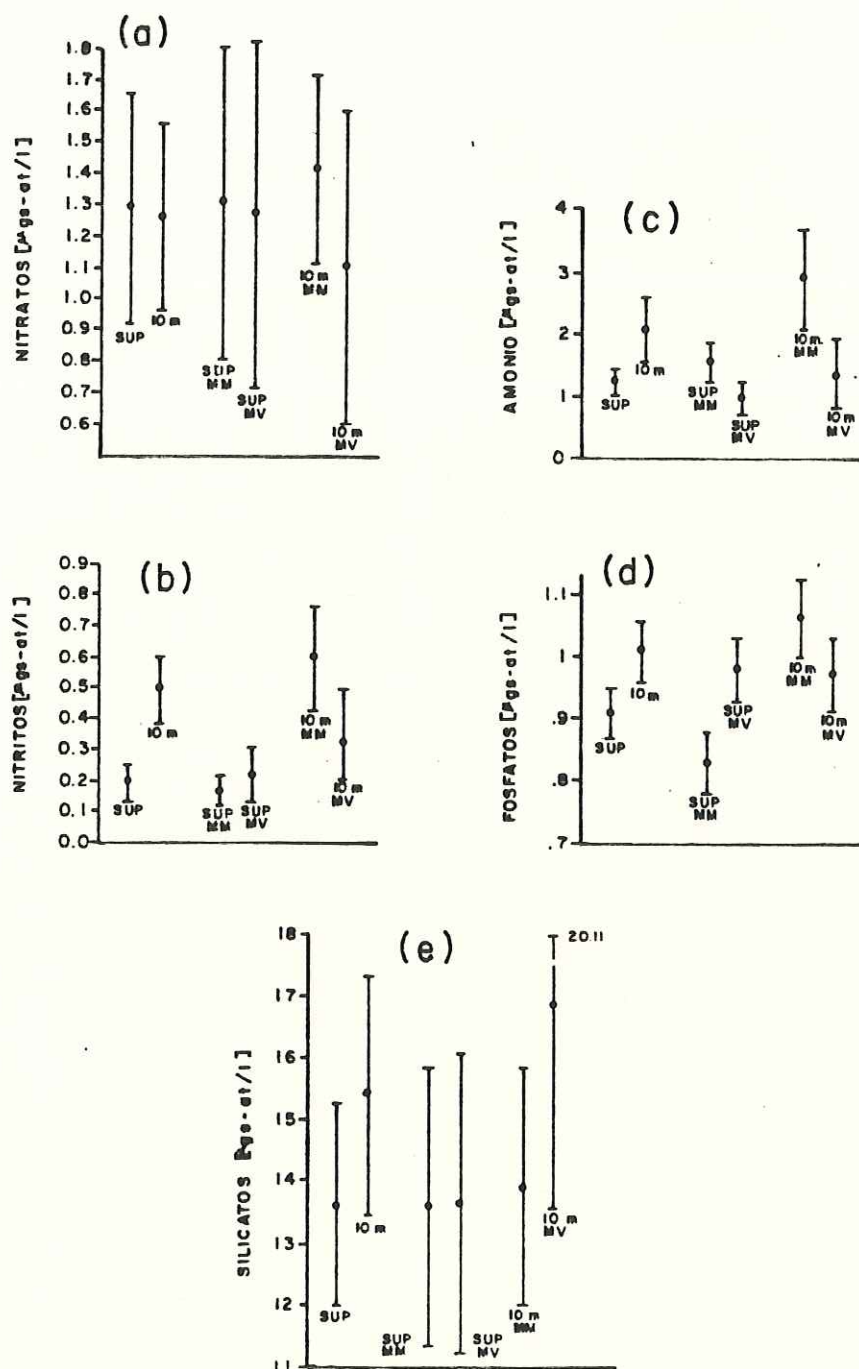


FIGURA 7 - LIMITES DE CONFIANZA DE LAS MEDIAS

a) Nitrato b) Nitrito c) Amonio d) Fosfato e) Silicato

TABLA I. Valores estadísticos y el rango de variación (μM) de las series de los nutrientes, los números superiores son de la superficie y los inferiores de diez metros.

NUTS.	\bar{X}	S	S ²	CV%	MAX	MIN
NO3	1.29+-0.37	1.83	3.35	141.9	9.47	0.13
	1.26+-0.3	1.46	2.13	115.9	9.78	0.03
NO2	0.02+-0.006	0.027	7.3x10 ⁻⁴	135.0	0.11	0.00
	0.05+-0.011	0.054	2.9x10 ⁻³	108.0	0.21	0.00
NH4	1.23+-0.21	1.03	1.06	83.7	6.06	0.11
	2.08+-0.51	2.50	6.25	120.2	12.68	0.11
PO4	0.91+-0.04	0.194	0.04	21.3	1.75	0.50
	1.01+-0.05	0.22	0.05	21.8	1.84	0.65
SiO2	13.61+-1.63	8.03	64.48	59.0	42.44	0.94
	15.38+-1.93	9.94	90.09	61.7	48.2	5.82

TABLA II. Valores estadísticos y el rango de variación (μM) de las series de superficie, los números superiores son de mareas muertas y los inferiores de mareas vivas.

NUTS.	\bar{X}	S	S ²	CV%	MAX	MIN
NO3	1.31+-0.5	1.74	3.03	132.8	8.97	0.13
	1.28+-0.56	1.93	3.72	150.8	9.47	0.17
NO2	0.018+-0.005	0.017	2.9x10 ⁻⁴	94.4	0.07	0.00
	0.023+-0.009	0.033	1.1x10 ⁻³	143.5	0.11	0.00
NH4	1.54+-0.31	1.07	1.14	69.5	6.06	0.20
	0.93+-0.26	0.90	0.81	96.8	5.46	0.11
PO4	0.83+-0.05	0.16	0.026	19.3	1.46	0.50
	0.98+-0.05	0.19	0.036	19.4	1.75	0.70
SiO2	13.58+-2.25	7.81	61.0	57.5	36.64	7.33
	13.63+-2.40	8.33	69.4	61.1	42.44	0.94

TABLA III. Valores estadísticos y el rango de variación (μM) de las series de diez metros, los números superiores son de mareas muertas y los inferiores de mareas vivas.

NUTS.	\bar{X}	S	S ²	CV%	MAX	MIN
NO3	1.42+-0.3	1.07	1.14	75.3	6.3	0.03
	1.11+-0.50	1.76	3.08	158.5	9.78	0.13
NO2	0.061+-0.017	0.061	3.7x10 ⁻³	100.0	0.21	0.00
	0.034+-0.012	0.044	1.9x10 ⁻³	129.4	0.16	0.00
NH4	2.84+-0.79	2.76	7.62	97.2	12.54	0.37
	1.34+-0.56	1.90	3.64	146.3	12.68	0.11
PO4	1.06+-0.060	0.23	0.05	21.7	1.75	0.76
	0.97+-0.06	0.20	0.04	20.6	1.84	0.65
SiO2	15.9+-1.19	6.37	44.5	43.0	3.91	5.82
	16.82+-3.29	11.5	132.2	68.37	48.2	7.18

Los coeficientes de variación en ambos niveles son mayores durante las mareas vivas a excepción del fosfato que presenta un coeficiente de variación muy similar entre mareas muertas y vivas (Tablas II y III).

En general los nutrientes del ciclo del nitrógeno presentan coeficientes de variación muy altos, mientras que los del fosfato y silicato son considerablemente menores (Tabla I).

III.3. Análisis espectral.

El espectro de variancia de la marea, muestra las componentes de máxima variación bien definidas para los periodos semidiurno con frecuencia de 0.083cph. y cuartidiurno de 0.166cph. (fig. 8a).

Del análisis espectral se puede generalizar la siguiente información. Todos los nutrientes presentan componentes de máxima variación de largo periodo en frecuencias menores de 0.02cph. (figs. 8b, d, e y 9a, b, c, d, e y f), a excepción de los nitratos a diez metros (fig. 8c). Independientemente de la profundidad también presentan una componente de variación diurna (figs. 8b, d, e, y 9a, e y f).

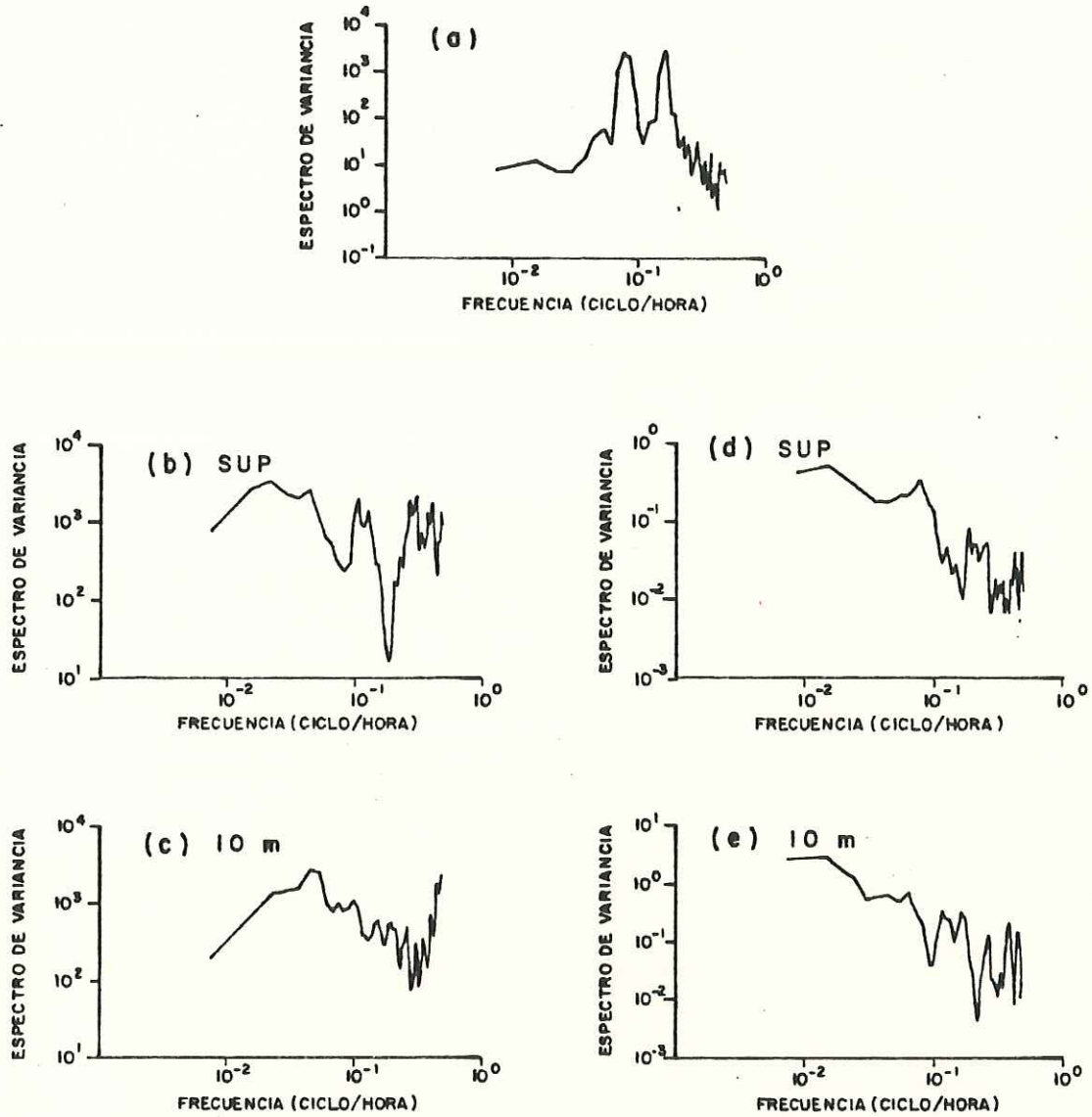


FIGURA 8 - ESPECTROS DE VARIANCIA

a) Marea b) Nitrato d) Nitrito

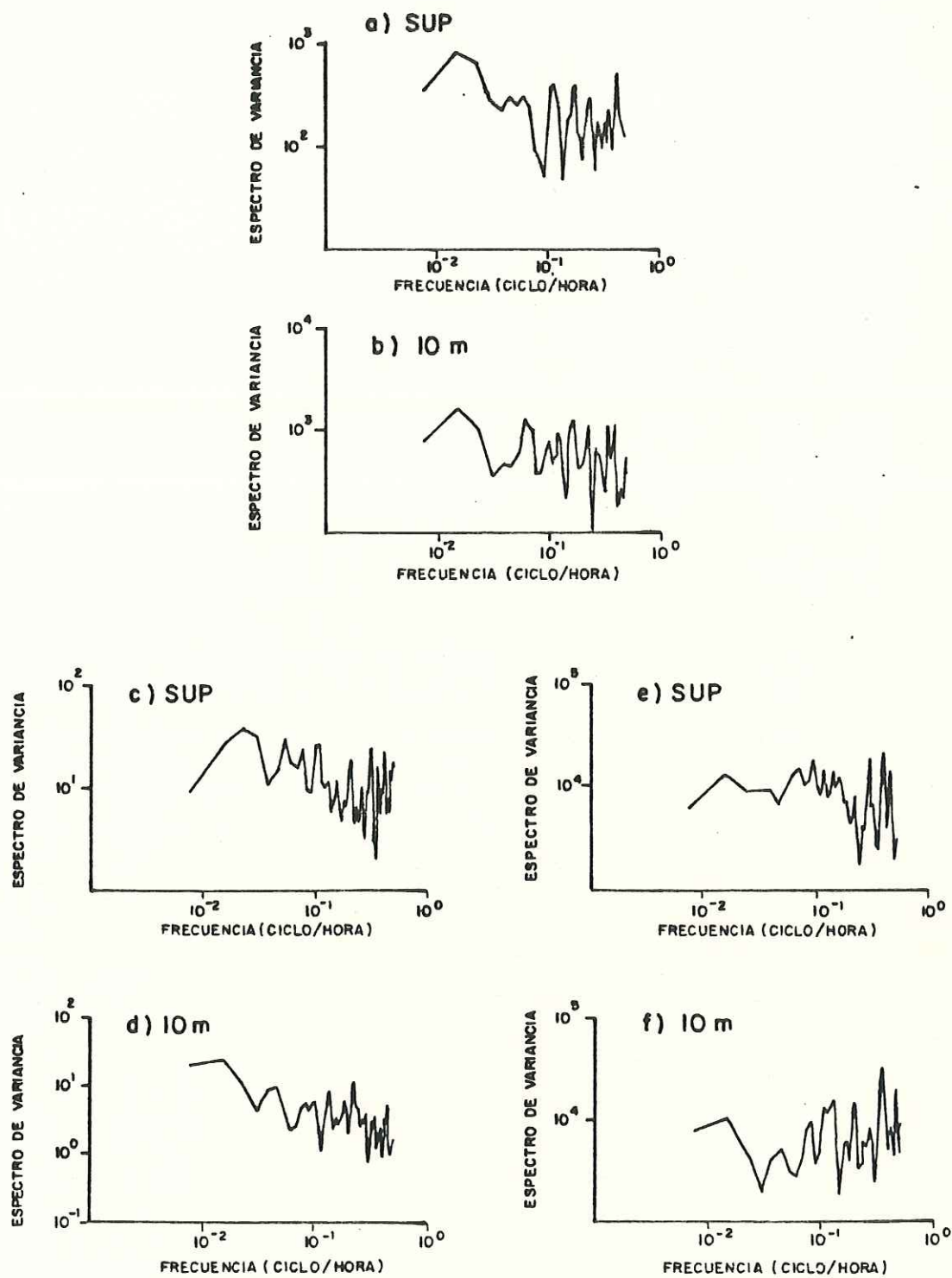


FIGURA 9 - ESPECTRO DE VARIANCIA

a y b) Amonio c y d) Fosfato e y f) Silicato

Son evidentes otras componentes de alta variación entre las frecuencias diurna y semidiurna. En la superficie el amonio, fosfato y silicato presentan éstas componentes (figs. 9b, d y f). Mientras que a los diez metros sólo las muestran el nitrito y amonio (figs. 8e y 9b).

En cuanto a la variación semidiurna, el fosfato y silicato son los únicos que la presentan en ambos niveles (figs. 9c, d, e y f). Mientras que el nitrato a diez metros y nitrito superficial también la muestran (figs. 8c y e).

Algo notorio es la presencia de componentes de variación de corto período para todos los nutrientes en frecuencias mayores de 0.25cph.

IV. DISCUSIONES.

De la predicción de mareas, la secuencia muestreada implica que, durante los primeros cuatro días se presentó un menor intercambio de agua por flujo y reflujo, corrientes de marea menores y un mayor tiempo de residencia del agua dentro de la bahía, mientras que los siguientes cuatro días la dinámica se incrementó considerablemente. Además los vientos fueron predominantemente del Sureste, con un promedio de 3.7m/s en un rango de 0.0 a 11.2m/s, los

cuales fueron mucho menores durante los primeros tres días de muestreo, incrementándose considerablemente en los siguientes cuatro y posteriormente disminuyeron a magnitudes iniciales al término del muestreo. Lo cual sugiere que, durante el período de muestreo se presentaron condiciones dinámicas diferentes entre mareas muertas y vivas, con una cierta estabilidad de la columna de agua durante las mareas muertas, Ibarra Sañudo (tesis en preparación) encontró para este período una estratificación de la columna de agua bien marcada, en relación a la temperatura, salinidad, densidad y oxígeno., y una posterior intensificación de las corrientes de marea con una mayor turbulencia por efectos del viento. Por lo tanto la explicación de los resultados estará en función de éstos períodos característicos, considerando factores físicos y biológicos que determinan la variación de los nutrientes medidos.

El comportamiento similar de los nutrientes en particular para los del ciclo del nitrógeno en ambos niveles, es determinado posiblemente por los mismos procesos físicos y biológicos que ocurren durante la serie de tiempo muestreada, los cuales influyen de igual manera a estos nutrientes en ambos niveles. La tendencia de variación de largo período probablemente está relacionada a la alternancia de mareas muertas y vivas. Este

comportamiento de tendencias de cambio fué reportado por Millán Nuñez et al. (1982) para una laguna costera del Pacífico de Baja California, donde las series de tiempo de nutrientes, nitratos, nitritos, fosfatos, y silicatos, mostraron una tendencia de variación de onda larga, con valores altos al principio y al final del muestreo, correspondiendo éstos a las mareas más intensas y los más bajos a mareas menos intensas.

El comportamiento diurno de las formas nitrogenadas durante las mareas muertas está determinado por factores biológicos, los cuales durante éste periodo de poca dinámica del agua son más evidentes. Se ha determinado que principalmente el nitrato y amonio son las formas del nitrógeno que más comunmente están involucradas en los procesos biológicos de fotosíntesis y respiración (Rdfield et al. 1963), de tal manera que durante el día estas formas pueden ser canalizadas vía fotosíntesis y durante la noche son regenerados en el proceso de respiración. La investigación paralela realizada por Canino Herrera (tesis en preparación) determina que para el periodo de mareas muertas las clorofilas presentan un comportamiento diurno característico con relación al periodo de irradiación, además se observó mayor productividad orgánica primaria a nivel de cinco metros en mareas muertas. Sin embargo, el comportamiento no definido durante el periodo de mareas

vivas está asociado a la combinación de los factores físicos y biológicos, los cuales no permiten diferenciar sus efectos particulares. Mas sin embargo, la influencia de los factores físicos como son la mezcla por marea y vientos determinan una dilución y homogenización de la columna de agua.

El comportamiento del fosfato con valores bajos en la superficie y altos a diez metros durante mareas muertas, está en función del balance entre el consumo y mineralización, ya que en la superficie éste nutriente es consumido por fotosíntesis, mientras que a diez metros este proceso es disminuido por falta de luz y probablemente haya una mayor regeneración por degradación de materia orgánica. La similitud de las concentraciones durante las mareas vivas se debe a la influencia de los efectos de mezcla. Ibarra Sañudo y Canino Herrera (tesis en preparación) encontraron para éste período una columna de agua bien homogénea (en relación a la temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto y clorofila 'a'), la cual se mantiene durante todo el período de mareas vivas.

La gran variabilidad de los silicatos en ambos niveles se debe quizá a que además de los efectos de la marea y el consumo por fotosíntesis, el reciclamiento de éste nutriente es más directo, lo cual ocasiona que durante

un periodo de variación lenta por efectos de marea y/o fotosíntesis, se presenten valores altos y bajos indistintamente. El nivel mínimo de los silicatos posiblemente esté asociado a un equilibrio entre el consumo y producción de éste nutriente, principalmente por diatomeas, haciéndose notar que a pesar de existir una termoclina durante mareas muertas sus concentraciones son muy similares, lo cual indica una columna homogénea en cuanto a éste nutriente, indicando de alguna manera que los procesos biológicos no son tan determinantes para evidenciar sus cambios.

Las concentraciones de nitritos, amonio y fosfatos fueron más altas a diez metros, debido a que son los primeros productos del proceso de la degradación de la materia orgánica, el cual es más acentuado en éste nivel, o quizá no hay consumo alto por el fitoplancton por haber menor irradiancia.

Los componentes del nitrógeno analizados aquí presentan los mayores coeficientes de variación ya que, según Richards, (1981) la regeneración del nitrógeno es mucho más complicada que la del fosfato y silicato, pasando éstos por diferentes rutas en sus estados de oxidación que va desde nitrógeno orgánico a nitrógeno amoniacal, posteriormente a nitrógeno en forma de nitrito y finalmente

a nitrato como máximo estado de oxidación. Sin embargo, el ciclo de regeneración del fosfato y silicato es mucho más sencillo, ya que ambos pasan directamente de la materia orgánica a formas disueltas inorgánicas en la degradación de la materia orgánica y disolución de testas silíceas (Redfield et al. 1963). Por lo tanto, se puede indicar que el rol biológico de las formas de nitrógeno es más directo ó heterogéneo.

De lo anteriormente planteado y discutido se puede resumir que, en general existen dos procesos los cuales interactúan durante el período de mareas muertas y mareas vivas. Los procesos que están determinando su mayor aportación durante mareas muertas son los biológicos a través de la fotosíntesis y respiración, los cuales durante mareas vivas se ven disminuidos por los efectos de mezcla causada por la marea y los vientos, quienes contribuyen claramente con una mayor variación de los nutrientes durante éste período. La magnitud de variación de éstos nutrientes estará determinada por la periodicidad e intensidad de los factores antes descritos.

Es muy significativo que todos los nutrientes presenten una componente de máxima variación de largo período, lo cual puede indicar que todos ellos están relacionados a un mismo proceso, el cual debido a la

frecuencia con que se presenta es posible que se asocie a la alternancia de las mareas muertas y vivas. En este mismo periodo de muestreo Ibarra Sañudo (tesis en preparación) encontró esta misma componente de variación para las variables hidrológicas (temperatura, salinidad y densidad) lo cual nos lleva a pensar que por ser variables conservativas están asociadas a procesos físicos como es la marea.

Las componentes de variación diurna que presentan los espectros de variancia de los nutrientes están asociadas a los procesos de consumo y remineralización que ocurren durante el día y la noche, lo cual significaría que la alternancia de los procesos biológicos a lo largo de un periodo de 24 horas es muy importante en la variación de los nutrientes. Mientras que las componentes semidiurnas pueden estar asociadas principalmente a las subidas y bajadas de la marea, con máximas velocidades produciendo turbulencia, en su comportamiento semidiurno que se puede observar en su espectro de variancia.

Las componentes de variación que se presentan entre las frecuencias diurna y semidiurna no se pueden asociar a algún proceso conocido, sin embargo, incrementando el periodo de muestreo muy probablemente se pudieran asociar a las variaciones diurna o semidiurna. La aparición de una

estimación significativamente grande (en términos de magnitud absoluta) en el periodo corto de los espectros obtenidos, indican que probablemente hay un "aliasing" de las variancias de corto periodo. El uso de un intervalo de muestreo más pequeño, elimina el "aliasing" de frecuencias de corto periodo (Wastler, 1969).

Uno de los objetivos planteados en la presente investigación es determinar la fertilidad de esta área para la época muestreada. Esto se hace en relación a las concentraciones reportadas en áreas adyacentes como son: Canal de Ballenas, Bahía de San Luis Gonzaga, Lagunas del Pacífico de Baja California, y concentraciones limitantes de nutrientes en cultivos experimentales.

En general los rangos de nutrientes encontrados aquí (Tabla I) son mayores que los de los nutrientes superficiales reportados para el Canal de Ballenas por Alvarez Borrego et al. (1978). Lo descrito anteriormente está de acuerdo a la generalidad planteada, de que las bahías y lagunas costeras son más ricas en nutrientes que el océano adyacente, además que la zona del Mar de Cortez comprendida en la zona de las islas y Canal de Ballenas es la más fertilizada del golfo (Alvarez Borrego, 1983). La comparación anterior, debe tomarse con cautela ya que las concentraciones involucradas son de un muestreo sinóptico y

del mes de Octubre. Lo que sí es relevante es que, la concentración de fosfatos y silicatos determinadas, son mayores que las concentraciones del límite mínimo experimental de $0.22 \mu\text{mol}$ de fosfatos (Thomas y Dodson, 1968, citados por Alvarez Borrego, 1983) y $0.51 \mu\text{M}$ de silicatos (Thomas y Dodson, 1975) que es requerido para el crecimiento de diatomeas tropicales. Los valores mínimos detectados incluso donde se presentaron los máximos de actividad fotosintética y después de ella, no fueron menores de $0.50 \mu\text{M}$ de fosfatos y entre 8 y $10 \mu\text{M}$ de silicatos.

Con respecto a Bahía de San Luis Gonzaga que se localiza al Norte de nuestra área de estudio, se establece que los nutrientes encontrados por González Salazar (tesis en preparación) en verano, son relativamente mayores que los encontrados en esta bahía.

En relación a los nutrientes reportados para lagunas del Pacífico de Baja California: Bahía de San Quintín (Millán Nuñez et al. 1982, Zertuche González y Alvarez Borrego, 1976 y Alvarez Borrego y Chee Barragan, 1976), y Estero de Punta Banda (Millán Nuñez et al. 1981) para el periodo de verano., caracterizándose por estar éstas en una zona de surgencias, lo cual las hace más fértiles. Los valores de nutrientes encontrados en esta bahía son

intermedios a los de éstas dos lagunas, por lo tanto éstas concentraciones de nutrientes son de consideración relativo a la fertilidad del sistema.

V. CONCLUSIONES.

La variabilidad de los nutrientes fué afectada por dos procesos en el periodo de muestreo: actividad biológica durante las mareas muertas y procesos físicos (mareas y vientos) durante mareas vivas.

Las componentes de máxima variación en frecuencias bajas de todos los nutrientes, se asocian a la alternancia de mareas., las de variación diurna se asocian a los procesos de consumo y remineralización por actividad biológica, y las semidiurnas a las subidas y bajadas de la variación semidiurna de la marea.

Esta área de Bahía de los Angeles, B. C. se puede considerar como una zona fértil en relación a la zona adyacente del Canal de Ballenas, lagunas del Pacífico de Baja California y a la concentración del límite mínimo experimental de fosfatos y silicatos requeridos para el crecimiento de diatomeas tropicales.

VI. BIBLIOGRAFIA.

ALVAREZ-BORREGO, S., L. A. Galindo-Bect y Chee-Barragan, A., 1975. Caracteristicas hidroquimicas de Bahia Magdalena, B. C. S. Ciencias Marinas. Mexico. (2)2:94-110.

ALVAREZ-BORREGO, S. y A. Chee-Barragan., 1976. Distribucion superficial de fosfatos y silicatos en Bahia de San Quintin, B. C. Ciencias Marinas. Mexico. (3)1:51-61.

ALVAREZ-BORREGO, S., M. G. Acosta-Ruiz y Lara-Lara, J. R., 1977. Hidrologia comparativa de las dos bocas de dos antiestuarios de Baja California. Ciencias Marinas. Mexico. (4)1:1-11.

ALVAREZ-BORREGO, S., Rivera, J. A., Gaxiola-Castro, G., Acosta-Ruiz, M. J. y Schwartzlose, R. A., 1978. Nutrientes en el Golfo de California. Ciencias Marinas. Mexico. (5)2:53-71.

ALVAREZ-BORREGO, S., 1983. Gulf of California. Reprinted of Estuarine and Enclosed Seas. Edited by B. H.

Ketchum. Elsevier Scientific Publishing Company,
Amsterdam. Cap. 17:427-449.

ALVAREZ-BORREGO, S. y S. Najera-Munoz., 1979. Series de tiempo de fitoplancton en dos lagunas costeras de Baja California. Ciencias Marinas. Mexico. (6)1 y 2:75-88.

ACOSTA-RUIZ, M. G. y J. R. Lara-Lara., 1978. Resultados fisico-quimicos en un estudio de variacion diurna en el area central de Bahia Magdalena, B. C. S. Ciencias Marinas. Mexico. (5)1:37-46.

BOYNTON, W. R., Kemp, W. M. y Keef, C. W., 1982. A comparative analysis of nutrients and other factors influencing estuarine phytoplankton production. In: Kenney, V. S. (ed). Estuarine Comparisons. Academic Press. New York; 69-90

FARFAN, B. C. y S. Alvarez-Borrego., 1983. Variability and fluxes of nitrogen and organic carbon at the mouth of a coastal lagoon. Estuarine, Coastal and Shelf Science, (17):599-612.

GRASSHOFF, K., 1976. Methods of seawater analysis. Weinheim. New York, 137pp.

GILMARTIN, M. y Revelante, N., 1978. The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoons of Gulf of California. *Estuarine and Coastal Marine Science*. (7)1:29-47.

ISLAS-OLIVARES, R. 1982. Análisis económico en el cultivo del ostion japonés (*Crassostrea gigas*) en Puerto Don Juan, Bahía de los Angeles, B. C. *Ciencias Marinas*. Mexico. (8)2:55-68.

KEMP, W. M., Wetzel, R. L., Boynton, W. R., D'Elia, C. F. y Stevenson, J. C., 1982. Nitrogen cycling and estuarine interfaces: some current concepts and research directions. In: Kennedy, V. S. (ed). *Estuarine Comparisons*. Academic Press. New York, 209-230.

LIZARRAGA-ARCINIAGA, R. y S. G. Marinone-Moschetto., 1978. Comportamiento de algunos parámetros físico-químicos en la Bahía de los Angeles, B. C. *Ciencias Marinas*. VI Congreso Nacional de Oceanografía (resúmenes). Ensenada, B. C. Mexico. pag.130.

MILLAN-NUÑEZ, R., S. Alvarez-Borrego y D. M. Nelson., 1982. Effects of physical phenomena on the

distribution of nutrients and phytoplankton in a coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. (15):317-335.

MILLAN-NUÑEZ, E., Ortiz-Cortez, F. J. y S. Alvarez-Borrego., 1981. Variabilidad temporal y espacial de nutrientes en una laguna costera, a fines de verano. *Ciencias Marinas*. Mexico. (7)1:103-128.

PROVASOLI, L., 1963. Organic regulation of phytoplankton fertility. In: *The Sea*, volumen 2, (Hill, M. N. ed.) Willey-Interscience, New York. 165-210.

REDFIELD, A. C., Ketchum, B. H. y Richards, F. A., 1963. The influence of organisms on the composition of sea-water. In: *The Sea*, volumen 2, (Hill, M. N. ed.) Willey-Interscience, New York. p:26-77.

RICHARDS, F. A., 1981. Nutrient interactions and microbes. In: *Heterotrophic Activity in the Sea*, Vol.IV:15. (Hobbie & Williams ed.). Plenum Press. New York and London. 289-312.

SOKAL, R. R. y F. J. Rohlf., 1969. *Biometria*. Principios y metodos estadisticos en la investigacion biologica. (H. Blume, ed). pp:832.

STRICKLAND, J. D. y T. R. Parsons., 1972. A practical handbook of seawater analisis. Fisheries Research Board of Canada Ottawa. Bull. 167 (second edition). pp:310.

THOMAS, W. H. y Dodson, A. N., 1975. On silicic acid limitation of diatoms in near-surface waters of the eastern tropical Pacific Ocean. Deep-Sea Research. (22) 10:671-677.

WASTLER, T. A., 1969. Spectral analysis. Applications in Water Pollution Control. Federal Water Pollution Control Administration. U. S. Departament of the Interior. Washington, D. C. 20242.

ZERTUCHE-GONZALEZ, J. A. y S. Alavarez-Borrego., 1978. Series de tiempo de variables fisicoquimicas de dos antiestuarios de Baja Clalifornia. Ciencias Marinas. Mexico. (5)1:91-103.

APENDICE I.

Ecuaciones de las rectas de la regresión lineal de las curvas de calibración de cada uno de los nutrientes.

Donde: Abs=Absorbancia
 m=Pendiente de la recta
 b=Intercepción con el eje Y.
 []=Concentración μM
 Er=Error por reactivos.
 r^2 =Coeficiente de determinación.

NITRATOS (NO_3). $r^2=99.997$

$$\text{Abs}=4.19 \times 10^{-2} [\text{NO}_3] + 5.27 \times 10^{-3}$$
 donde: $m=4.19 \times 10^{-2}$
 $b=5.27 \times 10^{-3}$
 $\text{Er}=3.66 \times 10^{-3}$

$$[\text{NO}_3] = (\text{Abs} - \text{Er} - b) / m$$

NITRITOS (NO_2). $r^2=99.998$

$$\text{Abs}=9.92 \times 10^{-2} [\text{NO}_2] - 1.64 \times 10^{-3}$$
 donde: $m=9.92 \times 10^{-2}$
 $b=-1.64 \times 10^{-3}$
 $\text{Er}=6.66 \times 10^{-4}$

$$[\text{NO}_2] = (\text{Abs} - \text{Er} + b) / m$$

AMONIO (NH_4). $r^2=99.71$

$$\text{Abs}=1.73 \times 10^{-2} [\text{NH}_4] + 3.58 \times 10^{-3}$$
 donde: $m=1.73 \times 10^{-2}$
 $b=3.58 \times 10^{-3}$
 $\text{Er}=3 \times 10^{-3}$
 Tu=Turbidez de cada muestra

$$[\text{NH}_4] = (\text{Abs} - \text{Tu} - \text{Er} - b) / m$$

FOSFATOS (PO_4). $r^2=99.99$

$$\text{Abs}=1.79 \times 10^{-2} [\text{PO}_4] - 1.66 \times 10^{-3}$$
 donde: $m=1.79 \times 10^{-2}$
 $b=-1.66 \times 10^{-3}$
 $\text{Er}=5 \times 10^{-4}$

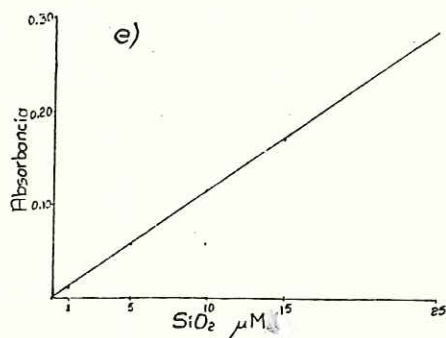
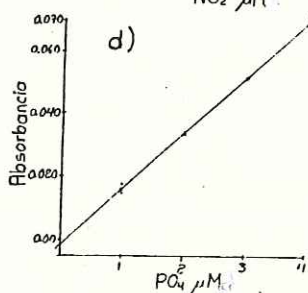
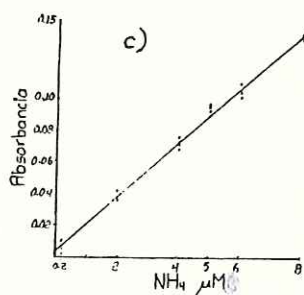
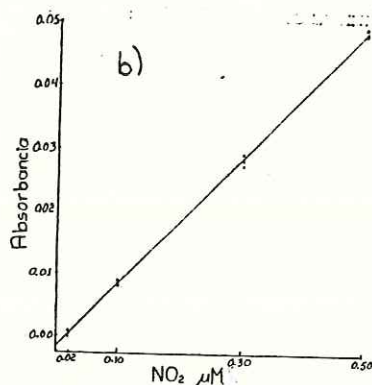
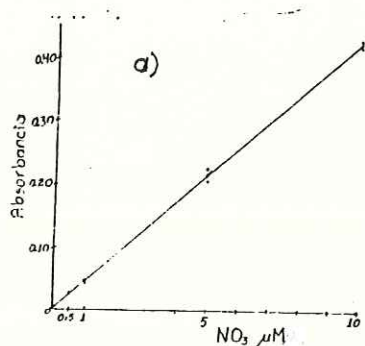
$$[\text{PO}_4] = (\text{Abs} - \text{Er} + b) / m$$

SILICATOS (SiO_2). $r^2=99.99$

$$\text{Abs}=1.15 \times 10^{-2} [\text{SiO}_2] - 6.19 \times 10^{-4}$$
 donde: $m=1.15 \times 10^{-2}$
 $b=-6.19 \times 10^{-4}$
 $\text{Er}=0.00$

$$[\text{SiO}_2] = (\text{Abs} + b) / m$$

APENDICE II.



Graficas de las rectas de la regresión lineal de las curvas de calibración de cada uno de los nutrientes.

- a) Nitratos, b) Nitritos, c) Amonio,
d) Fosfatos y e) Silicatos.