

Algunas características ecológicas del fitoplancton de la región marina adyacente a Punta Limón, Veracruz.*

HERMILO SANTOYO

Departamento de Biología Marina
Universidad Autónoma de Baja California Sur
La Paz, B. C. S., C. P. 23000

MARTHA SIGNORET

Departamento de El Hombre y su Ambiente
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Xochimilco, México, D. F., C. P. 04960

SANTOYO, H. y M. SIGNORET, 1988. Algunas características ecológicas del fitoplancton de la región marina adyacente a Punta Limón, Veracruz. *An. Esc. nac. Cienc. biol. Méx.* 32: 177-212.

RESUMEN: Se realizó un estudio sobre las características del fitoplancton y su relación con algunos parámetros abióticos, en la región marina adyacente a Punta Limón, Veracruz. Los registros bio-abióticos se efectuaron mensualmente durante un año (1975-1976).

Los resultados indican que las características cualitativas y cuantitativas del fitoplancton estuvieron directamente influenciadas por las condiciones ambientales que imperaron en la zona. El nanofitoplancton floreció durante los periodos de mayor turbulencia del agua, periodos relacionados directamente con las alteraciones meteorológicas provocadas por los vientos denominados "nortes", mientras que el microfitoplancton floreció durante un periodo de baja variabilidad ambiental, conjuntamente con una riqueza de nutrientes. La comunidad del fitoplancton mostró dos pulsos de desarrollo durante el año, uno en otoño y otro en primavera, con predominio de fitoflageladas en el primero y diatomeas en el segundo, básicamente representadas por el florecimiento de *Asterionella notata*. La diversidad específica del fitoplancton reflejó los cambios estructurales de la comunidad, concomitantes a los cambios ambientales y se observó el mayor nivel de estructuración en el mes de abril, derivado de la mayor estabilidad ambiental registrada en este periodo.

De acuerdo a las características hidrobiológicas determinadas en el estudio, la región de Punta Limón puede quedar ubicada como un sistema costero, subtropical y ligeramente eutrófico.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial de México y la demanda creciente de energía, han

* Trabajo presentado en el VI Congreso Nacional de Oceanografía. Ensenada, Baja California Norte, del 10 al 13 de abril, 1978. Estudio financiado por la Comisión Federal de Electricidad.

señalado la necesidad de generar energía eléctrica a partir del uso de materiales enriquecidos desintegrados en reactores nucleares, por tal motivo se construye la primera planta nucleoelectrica de México en la región de Punta Limón, Veracruz.

La Comisión Federal de Electricidad, a cuyo cargo se encuentra la construcción de dicha planta, promovió el desempeño de investigaciones ecológicas de la zona marina adyacente al sitio donde se establece la planta nucleoelectrica, con el fin de prevenir los efectos de la descarga de aguas sobrecalentadas en el ecosistema costero de esa región.

Este trabajo constituyó parte del proyecto general de estudios ecológicos y sólo se abordan las características del fitoplancton y de algunos factores abióticos en la zona litoral adyacente, con el objeto de definir sus variaciones en el tiempo así como las interrelaciones bio-abióticas que regulan a la taxocenosis fitoplanctónica.

Los estudios que se han realizado en la zona son pocos; sin embargo, resaltan por su importancia los estudios de Jáuregui (1971) sobre las condiciones climáticas de la región durante un periodo bianual (1970-1971), el reconocimiento preliminar de algunas características del fitoplancton de la zona (Santoyo y Signoret, 1975), el estudio ANUAL del plancton y de algunos parámetros físico-químicos (anónimo, 1977), los estudios sobre el bentos, realizados por Chávez y Parra-Alcocer (1978), Chávez *et al.* (1978), Hidalgo y Chávez (1978), García-Camacho (1978) y Bautista-Gil *et al.* (1978).

AREA DE ESTUDIO

La región litoral de Punta Limón se encuentra al nor-noroeste de la Ciudad de Veracruz, a una distancia aproximada de 60 km, al nivel del paralelo norte de los 19° 44' y el meridiano oeste de los 96° 24'. Los límites de esta zona están dados por la Punta de Boca Andrea al norte y por la Punta de Villa Rica al sur (Fig. 1); entre estas zonas limítrofes se localizan dos lagunas costeras, una la Laguna Verde cuyas características hidrológicas son netamente continentales pues no tiene comunicación con la porción marina litoral y, la otra, la Laguna Salada que eventualmente tiene comunicación con el mar y cuyas características fueron discutidas por Santoyo y Signoret (1975).

Según García (1973) y Soto (1972) el clima de la región es del tipo Aw2(w) (i') o sea cálido, subhúmedo (el más húmedo de los subhúmedos) con lluvias en verano y poca oscilación de la temperatura ambiente (entre 5 y 7° C). Jáuregui (1971) efectúa un análisis detallado de las peculiaridades climatológicas de la región de Punta Limón, señalando que los vientos predominantes, durante la época de "secas", son los provenientes del norte, nor-noroeste y aun del noreste, asociados a las tormentas denominadas vernáculamente "nortes", las que azotan a la región; en cambio durante el periodo de lluvias los vientos soplan, además del norte, del este y del noreste. Las velocidades promedio se ubican entre los 36 y 72 km/h, y se han registrado velocidades hasta de 280 km/h du-

rante un "norte", con vientos del noroeste, antes de haberse destruido el anemómetro. Dun *et al.* (1955) citados por Jáuregui (op. cit.) estiman que la velocidad del viento se incrementó, después de esta lectura, hasta exceder 320 km/h.

Las temperaturas máximas, en general, son mayores de 30° C (hasta 37° C) y las mínimas, de 12 a 14° C; en promedio la temperatura ambiental es relativamente constante a través del año (de 21.9° C en invierno, a 26.8° C en verano); las precipitaciones, que son del orden de 1,182 mm, se presentan principalmente de junio a septiembre y la insolación, medida en número de horas con sol, se presenta en mayor proporción alrededor del mes de mayo y la menor en julio (271 y 203 horas de sol por mes, respectivamente).

MÉTODOS

Los registros hidrológicos y del fitoplancton se efectuaron mensualmente en 9 estaciones y, eventualmente, en otras 3 (Fig. 1), a profundidades de 0, 5, 10, 20, 30 y 40 m, dependiendo de la profundidad total en cada una de las estaciones.

La temperatura del agua fue medida con un termómetro de cubeta con precisión de 0.2° C; la salinidad se determinó por inducción con el auxilio de un salinómetro Beckman RS-7B; la transparencia del agua, con ayuda de un disco de Secchi. El oxígeno disuelto en el agua, el nitrógeno amoniacal (N-NH₄), el nitrógeno de nitritos (N-NO₂), el nitrógeno de nitratos (N-NO₃), el fósforo de fosfatos (P-PO₄) y el fósforo total (P_{tot}) así como los silicatos (SiO₂), se determinaron siguiendo los métodos recomendados por Strickland y Parsons (1972).

Las muestras para los análisis del fitoplancton fueron tomadas con ayuda de una botella del tipo Van Dorn, a diversos niveles, mezclándolas para obtener la integración de una columna de agua. Las muestras conseguidas se fijaron con una solución saturada de lugol-acetato. Los análisis cualitativos y cuantitativos se realizaron siguiendo el método de Utermöhl.

RESULTADOS

Los parámetros hidrológicos que se describen a continuación constituyen tan sólo la información que apoya el análisis de las características del fitoplancton, por lo que la interpretación de la dinámica hidrológica escapa a los alcances del presente estudio.

HIDROLOGIA

Temperatura

Este factor manifestó una variación notable al través del ciclo anual que se caracteriza por una disminución progresiva de sus valores al inicio del otoño, coin-

cidente con el inicio de la temporada de "nortes", hasta alcanzar sus valores mínimos durante el mes de febrero, mes en el que virtualmente las tormentas denominadas "nortes" llegan a su fin. Posteriormente, la temperatura del agua se comienza a incrementar logrando valores más elevados durante el verano, con oscilaciones pequeñas derivadas de las precipitaciones. Los valores medios de este parámetro en el área, estuvieron dados por un máximo de 28.3°C y un mínimo de 21.4°C , en agosto de 1975 y febrero de 1976, respectivamente (Fig. 2).

La distribución vertical de la temperatura fue homogénea en un periodo aproximado de 6 meses, mientras que en otro periodo similar hubo una distribución estratificada de este factor (Fig. 3). El periodo isotermal de la masa de agua estuvo coligado a la época de "nortes", en tanto que el periodo de estratificación térmica del agua, estuvo aunado a condiciones de relativa estabilidad ambiental (ausencia de "nortes").

La estratificación térmica se inició en la primavera, a partir de la cual los gradientes térmicos verticales se van acentuando hasta manifestarse bien definidos al finalizar el verano. Al parecer, se manifiesta un patrón cíclico respecto a la presencia de capas estratificadas térmicamente, dada la similitud de la distribución de las isotermas en los meses de agosto de 1975 y 1976 (Fig. 3).

Salinidad

Las condiciones salinas en el área tuvieron virtualmente poca variación en el transcurso del tiempo; la fluctuación anual fue de 1.75 % entre los valores promedio mínimo y máximo observados en esta zona (34.54 y 36.30 %) (Fig. 4).

Las modificaciones o variaciones de los valores estuvieron dadas principalmente por las condiciones climáticas, es decir, que al igual que con la temperatura, los "nortes" hacen disminuir, de manera generalizada, las concentraciones salinas de las masas de agua, además de provocar una homogeneización de las mismas en la vertical.

Por otro lado, se observó un incremento de este parámetro al cesar el periodo de "nortes" al inicio de la primavera. En esta época se registra el valor máximo (36.3 %); sin embargo, las precipitaciones volvieron a influir en los valores de la concentración de este gas (viento, precipitaciones, temperatura, materiales en julio (34.54 %) (Fig. 4).

Oxígeno disuelto

Este elemento tuvo un comportamiento oscilante a través del tiempo, y se manifestó una inestabilidad continua de la disolución del oxígeno en las masas de agua. La dispersión de sus valores alrededor de la media fue sobresaliente, ya que fueron considerables las variaciones locales de los factores que modifican la concentración de este gas (viento, precipitaciones, temperatura, materiales en suspensión, etcétera).

La ausencia de un patrón definido en la distribución temporal de este elemento, señala una inestabilidad ambiental que evita la persistencia de un nivel de-

terminado de concentración, aunque de manera generalizada la masa de agua se mantiene bien oxigenada en virtud de que su valor mínimo promedio fue de 4.1 ml/l y el máximo de 6.7 ml/l (Fig. 5).

Transparencia

La transparencia del agua, estimada por la visibilidad del disco de Secchi, siguió un patrón de comportamiento similar al de la temperatura y la salinidad, pues en la época de "nortes" disminuyó notablemente y se incrementó conspicuamente al cesar la fuerza de dichas tormentas, hasta lograr sus valores máximos (16.1 m) en agosto. Los valores límites muestran un contraste bien marcado respecto a las posibilidades de la penetración de la luz. Las precipitaciones influyeron notablemente en el abatimiento de la transparencia del agua hasta alcanzar el valor mínimo (2.1 m) en julio (Fig. 6).

La distribución horizontal de los valores de transparencia mostró gradientes conspicuos en los meses de mayor estabilidad (ausencia de "nortes"), distribuidos desde el mar hacia la costa. La magnitud de las desviaciones patrón alrededor de la media, señalan con claridad la heterogeneidad en la distribución de la transparencia. En cambio, en el periodo de "nortes" existe un cierto grado de homogeneización de la masa de agua, que hace disminuir los valores de la transparencia, así como los valores de las desviaciones patrón (Fig. 6).

Nitrógeno amoniacal (N-NH₄)

Este compuesto manifestó sus concentraciones mayores en otoño (21.9 $\mu\text{g-at/l}$), disminuyendo paulatinamente durante invierno y primavera, hasta alcanzar los valores más bajos (2.5 $\mu\text{g-at/l}$) en verano. La variación de la concentración del nitrógeno amoniacal fue elevada (19.6 $\mu\text{g-at/l}$) dentro del rango establecido por las concentraciones extremas (Fig. 7).

Las variaciones horizontales fueron considerables, ya que la desviación patrón sobre los valores medios fue notablemente grande, señalando una heterogeneidad en la distribución espacial del compuesto.

Nitrógeno de nitritos (N-NO₂)

La concentración de esta forma nitrogenada fue, comparativamente, inferior a la concentración del amonio, pues su valor promedio más alto fue de 0.22 $\mu\text{g-at/l}$ y, el menor, de 0.03 $\mu\text{g-at/l}$. La variación en el ciclo anual fue de 0.19 $\mu\text{g-at/l}$.

De la misma manera, existe un patrón general en las concentraciones de este compuesto a través del tiempo, con las mayores en la época de "nortes" y las menores en la época de ausencia de "nortes".

Las variaciones horizontales fueron más marcadas en la época de mayor concentración de nitritos y señalan una distribución relativamente heterogénea de esta fuente de nitrógeno (Fig. 8).

Nitrógeno de nitratos (N-NO₃)

Las variaciones de este compuesto estuvieron manifiestamente ubicadas en dos periodos, uno comprendido en la época de "nortes" y el otro al finalizar ese fenómeno meteorológico. En el primer periodo los valores fueron elevados, y en diciembre se alcanzó la máxima concentración (3.66 $\mu\text{g-at/l}$), mientras que en el segundo se presentaron las concentraciones más bajas, con el mínimo de 0.05 $\mu\text{g-at/l}$, observado en febrero.

La distribución horizontal fue heterogénea durante el periodo de mayor concentración ("nortes") y se manifestó una relativa homogeneidad durante la época de bajas concentraciones de nitratos (Fig. 9).

Fósforo total y fósforo de fosfatos (P-PO₄)

El fósforo total y el fósforo de fosfatos presentaron una distribución semejante entre sí. Para ambos se observaron dos picos de máxima concentración (Figs. 10 y 11); uno durante los "nortes" y el otro durante el periodo de precipitaciones pluviales, en julio.

Las variaciones a través del ciclo anual fueron del orden de 0.57 $\mu\text{g-at/l}$ para fosfatos y de 0.65 $\mu\text{g-at/l}$ para el fósforo total. Durante los periodos de mayor concentración, la distribución horizontal de estos compuestos fue heterogénea, mientras que en los periodos de menor concentración, la distribución horizontal fue relativamente homogénea, de manera semejante a lo observado para los compuestos nitrogenados.

Silicio de silicatos (Si-SiO₄)

El patrón de distribución de los valores del silicio de silicatos tuvo una gran semejanza con las distribuciones de los compuestos nitrogenados y fosfatados. El grado de variación estuvo dado por las mayores concentraciones durante el periodo de ausencia de "nortes" y el cambio en las concentraciones de este compuesto, de un periodo al otro, fue muy abrupto (Fig. 12).

La distribución horizontal, asimismo, fue semejante a la de los otros compuestos, con una heterogeneidad mayor en el área durante el periodo de "nortes" y una menor en la otra época. La variación anual fue elevada, con una fluctuación de 35.07 $\mu\text{g-at/l}$, ubicada entre los valores de 35.3 y 0.23 $\mu\text{g-at/l}$, como máximo y mínimo, respectivamente.

FITOPLANCTON

Características cuantitativas

La densidad fitoplanctónica presentó variaciones notables a través del tiempo, enmarcadas por los valores de 64,000 céls/l durante junio, como mínimo pro-

medio, y 819,000 céls/l durante marzo como máximo promedio. La fluctuación real de la densidad del fitoplancton en el área fue considerablemente grande, es decir, que el valor puntual más bajo fue de 11,000 céls/l (en mayo) y el mayor de 2,804,000 céls/l (en marzo).

La distribución estacional de los valores medios de células por litro señalaron dos "pulsos" de mayor densidad fitoplanctónica: uno, en el periodo otoñal, con densidades del orden de 623,000 céls/l y, el otro, durante el periodo primaveral, con un valor de 819,000 céls/l (Fig. 15). Estos pulsos estuvieron relacionados con el incremento demográfico del nanofitoplancton (individuos que miden de 2 a 25 micrones) y del microfitoplancton (individuos que miden más de 25 micrones), debido a que el florecimiento otoñal fue producto del desarrollo del primero y el florecimiento primaveral estuvo integrado principalmente por el incremento del segundo.

Como resultado de los análisis cuantitativos se observó una dominancia marcada del nanofitoplancton a través del ciclo anual, con excepción de la época primaveral (marzo-abril) en la que el microfitoplancton fue el predominante. La relación entre ambos grupos fue del orden de 1:2.2, es decir, que el nanofitoplancton duplica sus efectivos con referencia al microfitoplancton.

El nanofitoplancton presentó sus mayores efectivos durante el periodo de "nortes" (otoño-invierno), mientras que sus densidades menores se ubicaron en el periodo de ausencia de "nortes". La concentración numérica del nanofitoplancton osciló entre los valores de 585,000 y 52,000 céls/l, como máximo y mínimo, respectivamente.

En lo que respecta al microfitoplancton, se evidenció una densidad baja a través del ciclo anual, con excepción del periodo primaveral, en el que cesa o disminuye prácticamente la época de "nortes" (Fig 14). Sus densidades fluctuaron entre los límites de 544,000 y 12,000 céls/l como valores extremos.

Características cualitativas

La composición taxonómica del fitoplancton se manifestó con una predominancia sobresaliente del grupo de las diatomeas, seguidas jerárquicamente por las dinoflageladas y fitoflageladas. Las cianofitas, cocolitofóridas y silicoflageladas tuvieron una frecuencia específica menos conspicua y se agrupan con la categoría de *otras* en la figura 15.

Diatomeas. Este grupo mostró señaladas fluctuaciones en su frecuencia relativa de especies a través del tiempo. Los valores máximos se localizaron en el periodo invierno-primavera, o sea, en la interfase de la época de "nortes" y la de ausencia de "nortes"; esta frecuencia osciló entre el 44.2 por ciento en junio y el 68.1 por ciento en febrero. El número de especies de diatomeas, sin embargo, no siguió el mismo patrón de distribución que la frecuencia relativa de este grupo, en virtud de que el número de especies máximo y mínimo no coincidieron con el máximo y mínimo de su frecuencia relativa dentro del fitoplancton.

Numéricamente, las diatomeas sólo fueron predominantes durante el periodo

de interfase de los "nortes" o sea, al finalizar la época de turbulencia provocada por esos vientos, alcanzando valores promedios hasta de 550,000 céls/l (Fig. 16); mientras que sus efectivos menores se localizaron en el periodo de estabilidad (ausencia de "nortes") con valores promedio de 9,000 céls/l.

Dinoflageladas. La frecuencia relativa de las especies de este grupo estuvo en relación inversa con la que presentaron las diatomeas, es decir, que sus mínimos se ubicaron durante el periodo invierno-primavera y sus máximos durante la época estival (Fig. 15).

Las densidades poblacionales presentadas por las dinoflageladas tuvieron sus valores más elevados en agosto de 1975 (117,000 céls/l), disminuyendo paulatinamente hasta alcanzar su valor mínimo en diciembre (10,000 céls/l). Durante los meses siguientes la densidad numérica de este grupo osciló entre los 43,000 y 14,000 céls/l (Fig. 16).

Fitoflageladas. La frecuencia de especies pertenecientes a este grupo estuvo por debajo de las obtenidas por los grupos de diatomeas y dinoflageladas, con excepción del lapso comprendido entre enero y marzo, en el cual las fitoflageladas superaron a las dinoflageladas. Además se notó una relación inversa entre estos dos grupos (Fig. 15).

De los grupos del fitoplancton, las fitoflageladas constituyeron, numéricamente, el grupo dominante, las superaron las diatomeas durante el periodo comprendido desde febrero hasta abril. Asimismo, en noviembre las cocolitofóridas estuvieron por arriba de este grupo (Fig. 16).

Cocolitofóridas. Este grupo, junto con las clorofitas, cianofitas y silicoflageladas, presentaron una frecuencia de especies baja, por lo que se agruparon en la categoría de "otras" (Fig. 16); sin embargo, las cocolitofóridas tuvieron una cierta relevancia desde el punto de vista numérico ya que, como se dijo anteriormente, superaron a las fitoflageladas en noviembre, con un efectivo de 73,000 céls/l. Después de este máximo sus valores fueron decreciendo al paso del tiempo, hasta llegar a su valor mínimo de 1,000 céls/l en abril. Posteriormente, sus densidades se incrementaron sin alcanzar valores elevados (Fig. 16).

FloreCIMIENTO de Asterionella notata

De acuerdo a lo mencionado, al finalizar la época de "nortes" se presentó el florecimiento del microfitoplancton y como integrante principal o responsable del mismo apareció la especie *Asterionella notata*, perteneciente al grupo de las diatomeas, cuyos efectivos estuvieron por arriba de los 2 millones de células por litro (2,440,000 céls/l).

En el área de estudio, *A. notata* se distribuyó mostrando un gradiente de densidad poblacional de norte a sur y de oeste a este, es decir, que hubo un núcleo de gran densidad numérica en la región norte del área de estudio (frente a Laguna Verde), que disminuyó paulatinamente hacia el sur y el mar abierto (Fig. 17).

Asimismo, *A. notata* apareció en los registros de enero como dominante en la comunidad fitoplanctónica, manteniendo su dominancia en febrero hasta alcanzar el desarrollo explosivo que se mencionó con anterioridad (Fig. 17).

Frecuencia de especies y comunidades del microfitoplancton

La figura 18 muestra la distribución de las frecuencias de 34 taxa específicos del microfitoplancton, los que en su gran mayoría fueron especies de diatomeas, con la sola excepción de *Trichodesmium thiebautii* (cianofita). La frecuencia sostenida por esas poblaciones estuvo ubicada desde el 50 al 100 por ciento de registros a través del ciclo anual analizado.

Las especies más conspicuas en el ciclo anual fueron *Nitzschia delicatissima*, *N. longissima* y *Thalassiothrix frauenfeldii*. Se manifestaron como las poblaciones con mayor frecuencia en virtud de haberse registrado durante todo el ciclo y haber mantenido a través del tiempo una densidad numérica considerable. Estas especies se caracterizan por su euritermia acentuada y han sido catalogadas como formas neríticas litorales a excepción de *Thalassiothrix frauenfeldii* que se considera oceánica (Curl, 1959; Cruz, 1971; Sournia, 1968); sin embargo, esta misma especie ha sido registrada en otras zonas costeras (Santoyo y Signoret, 1973) homólogas a la región marina adyacente a Punta Limón, por lo que se desprende que esta especie tiene una tolerancia más amplia a condiciones hidrológicas variables.

Dentro de la comunidad fitoplanctónica, *Nitzschia delicatissima* fue la especie predominante al inicio del periodo de estudios, la desplazó *N. longissima* en noviembre, y ésta a su vez fue sustituida por *Leptocylindrus danicus*. Al finalizar el periodo de "nortes" (enero, febrero y marzo), *Asterionella notata*, junto con *Campylosira cymbelliformis*, fueron los componentes principales de la comunidad microfitoplanctónica. En el periodo de relativa estabilidad ambiental (ausencia de "nortes") el género *Chaetoceros*, con las especies *Ch. socialis*, *Ch. laevis*, *Ch. brevis* y *Ch. affinis*, fueron las especies que integraron la comunidad, con densidades poblacionales sobresalientes. En agosto de 1976, *N. delicatissima* vuelve a predominar en la comunidad. Posteriormente la sustituyen *Chaetoceros lorentzianus* y *Ch. pelagicus* en octubre, cuando vuelven a registrarse los denominados "nortes".

Diversidad de especies

En los últimos años se ha manejado este parámetro para tipificar las condiciones estructurales de las comunidades y la posible variación o cambios que pudieran tener con la intervención de un factor perturbador en un sistema natural. Las comunidades presentan una dinámica ligada al tiempo, es decir, que sufren modificaciones estructurales a través del tiempo, modificaciones que se revelan en las permutas del número de especies y el número de individuos de cada una de ellas.

Por lo mencionado anteriormente, es importante analizar la riqueza de especies y el patrón de variación en el tiempo que sería, en última instancia, el producto de la interacción de múltiples factores. El conocimiento de estos factores se podría considerar de utilidad para determinar en lo posible, las fluctuaciones derivadas de la alteración de un factor, e.g. la temperatura.

La diversidad específica se obtuvo utilizando la expresión probabilística de Shannon y Wiener:

$$H = - \sum \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

n_i = número de individuos de la especie i

N = número total de individuos del colectivo

los valores se expresan en unidades bits

Los resultados obtenidos mostraron fluctuaciones marcadas, como se puede apreciar en la figura 19. Durante los periodos otoñal e invernal (época de "nortes"), se estableció un incremento paulatino de los valores de diversidad partiendo de un valor medio de 1.9 bits en agosto, hasta 4.0 bits en febrero. La característica de ascenso del índice de diversidad radicó probablemente en la mezcla de las comunidades del fitoplancton propiciada por la turbulencia que generó la constancia de los vientos característicos de esa época.

Posteriormente, en marzo, y en concomitancia a la virtual ausencia de los "nortes", se apreció un brusco descenso en el índice de diversidad, con un registro promedio de 2.18 bits, coincidente con el florecimiento del microfitoplancton y particularmente al desarrollo explosivo de *A. notata*. Más tarde se observó un aumento asimismo súbito, en el siguiente reconocimiento de abril, cuya densidad poblacional, al irse abatiendo, conllevó al incremento notable de la diversidad para registrar en ese mismo mes el valor máximo del ciclo analizado cuyo guarismo fue del orden de 4.14 bits.

Las desviaciones patrón de los valores medios de la diversidad señalaron fuertes fluctuaciones, indicio de la heterogeneidad en la distribución de los valores del índice de diversidad, en el área de estudio, como se pudo estimar durante agosto de 1975, marzo, abril, julio y agosto de 1976. Parece que en las diferentes regiones del área estudiada se localizan puntos de diversidad específica que difieren grandemente entre sí, es decir, que caracterizan puntos locales con mayor o menor estructuración de la comunidad fitoplanctónica, indicando posiblemente la presencia o ausencia de parches de plancton.

Para ubicar los índices de diversidad calculados se procedió a determinar el valor teórico de diversidad máxima para cada uno de los casos en particular, hecho importante ya que señalará comparativamente el grado de estructuración de la comunidad. Por lo tanto, se calculó el parámetro denominado H máx cuya igualdad es:

$$H \text{ máx} = \log_2 S$$

en donde S es el número de especies de un colectivo dado. De esa manera se construyó la distribución temporal de este factor teórico en la figura 19. Se dan los valores en la tabla.

El H máx siguió una pauta semejante al valor estimado de diversidad (H'). Los valores medios se localizaron por arriba de 4.5 bits y las desviaciones patrón

no fueron tan grandes como las asentadas para los registros de H . El valor más elevado de H máx se encontró en abril, en concordancia con el valor más alto de H' (Fig. 19).

Interrelacionando los valores calculados con los teóricos, se obtiene un coeficiente denominado "equidad" o "igualdad" (*evenness*) cuyos valores numéricos se sitúan de 0 a 1; coeficiente dado por la ecuación:

$$J' = \frac{H'}{H \text{ máx}}$$

La importancia del valor de J' radica en indicar el grado de equiprobabilidad en la distribución del número de organismos en las diferentes especies que integran un colectivo determinado; a su vez, el valor más cercano a uno o igual a uno señalaría un grado avanzado de organización en la comunidad.

Como resultado de la distribución en el tiempo, de los valores de H' y H máx, los valores de J' se situaron fluctuando de manera semejante. Al analizar las distancias que existen entre los diferentes puntos de H' con respecto a H máx, en la figura 19 y, comparándola con la figura 20, se puede apreciar que, a mayor distancia menor es el valor de J' y viceversa, hecho bien notorio durante el mes de marzo, cuando el valor de la equidad fue del orden de 0.46, en virtud del abatimiento de este parámetro por el florecimiento de *A. notata*, y en el siguiente mes fue de 0.77, uno de los valores más elevados en el ciclo, semejante a aquellos cuyos datos fueron de 0.78 y 0.76 en enero y febrero, coincidentes con el período de turbulencia ocasionado por los "nortes" y, el mínimo, en agosto de 1975 con 0.41.

Sucesión

La estructura de la comunidad fitoplanctónica, caracterizada en los incisos anteriores, da una imagen relativamente clara de su comportamiento a través del tiempo, mismo que puede quedar enmarcado por un patrón general de sucesión, hecho que consiste básicamente en la sustitución de unas especies por otras, dependiendo del cambio medioambiental.

Al analizar la sucesión fitoplanctónica en el área de estudio se pudo apreciar que al inicio de los reconocimientos (agosto de 1975) la comunidad fitoplanctónica se encontraba en un momento de relativa estabilidad, correspondiendo a las condiciones estivales (ausencia de "nortes"), caracterizadas por valores altos de temperatura, concentraciones bajas de sales nutritivas y, dentro del fitoplancton, una preponderancia de dinoflageladas, fitoflageladas y de la cianofita *Trichodesmium thiebautii*, grupo de organismos considerados, con respecto a los niveles de concentración de las sales nutritivas, como "poco exigentes" y que, además, tienen la capacidad de fijar el nitrógeno molecular del ambiente; la presencia de gran número de formas quísticas de dinoflageladas y fitoflageladas, señala con mayor énfasis la pobreza de nutrimentos y las condiciones ambientales adversas para estos organismos, cerrando de esta manera su ciclo de vida.

Al inicio del otoño (época de "nortes") se registró la siguiente etapa de la sucesión, caracterizada por un desarrollo relevante del fitoplancton, particularmente de varias fitoflageladas (Fig. 16). En incremento numérico del fitoplancton, observado en esta época, coincide con el florecimiento otoñal de las regiones templadas, sin embargo, este crecimiento fue sólo un "pulso" pues al mes siguiente se abatió el número de organismos, particularmente las fitoflageladas. Más tarde se manifestó una recuperación paulatina de la población fitoplanctónica y se observó una sustitución de unas especies por otras. Fue aparente el desplazamiento de las formas antes dichas por las cocolitofóridas. Estos organismos normalmente habitan en áreas alejadas de la costa, por lo que cabe suponer que fueron acarreadas a la zona por corrientes locales, resultado de la influencia de los vientos dominantes del norte, característicos de estas épocas.

La evolución de la comunidad fitoplanctónica prosiguió su curso durante la época invernal (en las postrimerías de la época de "nortes"), con el desarrollo de nuevas especies, ampliando así la estructura de la misma; *Asterionella notata* y *Chaetoceros socialis* participan en esta estructuración en los inicios de la primavera, desembocando en una explosión demográfica a lo que, en las regiones templadas, se ha denominado clásicamente como florecimiento primaveral. Este desarrollo masivo implicó, por un lado, la disponibilidad de sales nutritivas en una abundancia tal que pudo soportar una población consumidora de la magnitud registrada en marzo, quedando de manifiesto con los valores de concentración de los nutrimentos, registrados en los meses anteriores (otoño-invierno). Por otro lado, esa misma densidad poblacional implicó un consumo importante de dichas sales nutritivas con la consecuente disminución de sus concentraciones, trayendo como consecuencia un decremento brusco en las densidades poblacionales del fitoplancton (Fig. 13).

Durante la época estival se manifestaron en el área ciertas condiciones de calma, con ausencia de "nortes". Prosiguió el avance en el proceso sucesional de la comunidad fitoplanctónica, tendiente a una organización estructural cada vez mayor, señalada por la estimación de la diversidad de especies (H). En esta época se alcanzó el valor máximo de incertidumbre, como lo muestra el valor de J' (igualdad). Se puede considerar ese fenómeno como un estado de post-florecimiento en virtud de que se observa posteriormente al desarrollo masivo del microfitoplancton (*A. notata*) (Figs. 19 y 20). Asimismo la densidad poblacional se mantuvo en niveles bajos y hubo sustitución de especies, siendo aparente el desplazamiento de las diatomeas penales por las centrales (Fig. 18) con excepción de *Nitzschia delicatissima*, *N. longissima* y *Thalassiothrix frauenfeldii*. Este comportamiento indica que esas diatomeas se caracterizan por una valencia ecológica amplia que les permite mantenerse a través del tiempo a pesar de las condiciones ambientales cambiantes.

Posteriormente, el proceso sucesional se interrumpió por la llegada de las lluvias y los aportes de aguas continentales, así como por la presencia de vientos locales, trayendo en consecuencia una turbulencia y mezcla vertical de las masas de agua. Estas nuevas condiciones de inestabilidad se dejaron sentir en la

comunidad fitoplanctónica y se desarrollaron con relativa abundancia formas de resistencia o auxosporas de *Chaetoceros pelagicus* y *Ch. decipiens*, así como dinoflageladas (*Gymnodinium* spp) y fitoflageladas. Se repitió nuevamente el fenómeno de la sucesión.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, la región marina adyacente a Punta Limón manifestó un comportamiento hidrológico definido en dos épocas: una denominada de "marcada variabilidad" y, otra, de "baja variabilidad". Ambos períodos son el reflejo directo de las condiciones meteorológicas imperantes en el área, correspondientes una y otra, a la presencia y ausencia de las tormentas denominadas vernáculamente como "nortes".

Durante el período de otoño-invierno, es bien conocido el arribo de dichas tormentas a la región, con la presencia de vientos dominantes del norte y noroeste, los cuales juegan un papel muy importante en la dinámica hidrobiológica que por una parte actúan sobre la temperatura del agua y, por otra, agitan las masas de agua creando corrientes horizontales además de translaciones verticales, provocando un estado continuo de turbulencia y trayendo como consecuencia una distribución térmica homogénea verticalmente, baja estratificación salina, baja penetración de la luz (por el incremento de la turbiedad) y un recirculamiento de las sales nutritivas, hecho señalado por un incremento paulatino del nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos, nitrógeno de nitratos y fósforo de fosfatos, culminando con sus máximos valores en noviembre y diciembre. Asimismo, esta marcada variabilidad ambiental repercute en la estructura de las comunidades del fitoplancton.

El período de baja variabilidad ambiental se detecta a partir de la primavera. Se interrumpe durante el verano por las lluvias, con una ligera recuperación posterior. La baja variabilidad ambiental quedó señalada por la ausencia de movimientos turbulentos del agua, y se manifestaron una estratificación termohalina, una mayor penetración de la luz y un decremento de las sales nutritivas. Además, en esta época dominan los vientos provenientes del sur y sureste. Nuevamente, como en la época anterior, las condiciones ambientales hegemónicas redundan en la estructura de la comunidad fitoplanctónica.

Bajo las condiciones mencionadas, el fitoplancton se modificó en su estructura y composición de la siguiente manera: el nanofitoplancton florece durante los períodos de mayor turbulencia del agua, en tanto que el microfitoplancton florece cuando se inicia la estabilidad ambiental, conjuntamente con la riqueza de nutrimentos, con un decaimiento posterior de las poblaciones microfitoplanctónicas y de las sales nutritivas y el avance de un estado más estable del ambiente acuático. Sin embargo, el esquema dado para el comportamiento del fitoplancton constituye el aspecto relevante de los cambios de los grupos de tamaño fitoplanctónicos; en el seno de este planteamiento esquemático, el nanofitoplancton resultó el grupo ecológico con un desenvolvimiento más exitoso, pues fue el grupo

dominante la mayor parte del tiempo (con la excepción registrada en la primavera por el florecimiento de *Asterionella notata*) señalando la relativa imposibilidad del establecimiento de una comunidad más desarrollada, o sea, organismos de dimensiones mayores. Esta situación constituyó un reflejo claro de la marcada variabilidad ambiental debida preponderantemente al arribo de los "nortes". En general, la baja variabilidad de los diversos parámetros se influenció notablemente por las condiciones climáticas, se decir, que junto con el período de "nortes" y el período subsecuente de calma relativa, se tiene el período de lluvias, lo cual conduce a registrar que la inestabilidad es la característica más frecuente en el área.

La sucesión ecológica estuvo regida, asimismo, por las condiciones variables del ambiente, con cambios de estructura concomitantes a los ambientales. El viento, al provocar movimientos horizontales y verticales, evita el desarrollo de la comunidad hacia estados más "maduros" y cuando el tiempo se torna más calmado, la importancia de esta circulación disminuye y se presentan los florecimientos fitoplanctónicos (*A. notata*). La estabilidad a través del tiempo se torna en un elemento desfavorable a la producción fitoplanctónica, pues las poblaciones han agotado sus reservas nutritivas y su regeneración en la masa de agua sólo sostiene una pequeña masa fitoplanctónica. La estratificación termohalina del agua constituye una barrera que impide el movimiento de sales nutritivas del fondo hacia la superficie. De acuerdo a TRAVERS (1975), la estabilidad horizontal es un factor favorable, mientras que la estabilidad vertical es generalmente un factor desfavorable, sobre todo en el verano.

Así, el modelo sucesional dado para zonas templadas, difícilmente se ajusta a los fenómenos de cambio de las poblaciones del fitoplancton en la zona de estudio, mientras que en regiones tropicales y subtropicales no siempre existe una correspondencia entre las estaciones climáticas y las biológicas. Es común encontrar desfases en las mismas. Además, cabe mencionar que dentro de estos procesos sucesionales interviene un sinnúmero de factores y características locales que modifican o complican el patrón general de la sucesión, como sería el caso de los vientos del norte que soplan durante un período aproximado de seis meses. Asimismo, las características sucesionales del fitoplancton se influyen en gran medida por las presiones tróficas que ejerce el zooplancton herbívoro sobre las poblaciones fitoplanctónicas.

Finalmente y de acuerdo a las características hidrobiológicas determinadas, el área de estudio puede quedar ubicada como un sistema costero, subtropical, ligeramente eutrófico, si recordamos que las fluctuaciones térmicas y salinas en el área fueron relativamente moderadas a través del ciclo anual (6.9° C y 1.6 ‰, respectivamente) y que los nutrientes presentaron concentraciones significativamente más elevadas que las registradas en otras áreas del Golfo de México (EL SAYED, 1972). Asimismo, dicho sistema costero se caracteriza por presentar, en la dimensión temporal, dos épocas alternadas de marcada variabilidad ambiental y de baja variabilidad ambiental, redundando de manera directa en el proceso sucesional del fitoplancton.

SUMMARY

This paper deals on the phytoplankton variations in relation with some abiotic parameters of Punta Limón (Veracruz State) marine region. The sampling period was made during one year round of data and observations gathered in the field from 1975 through 1976.

The phytoplankton variation was very highly influenced by the external conditions, i. e.; some meteorological and hydrological phenomena. So, the nanophytoplankton community had an evident bloom, when the common northern winds ("nortes") did provoked up some higher levels of turbulence. In contrast to these, the microphytoplankton community had their bloom when the levels of oceanic dynamic was in relative period of stability and also when the nutrient contents were in a high level. The phytoplankton community did showed two peaks during the year of the study, in autumn and spring, with an obvious dominance of phytoplankton flagellates in the first of two and diatoms (principally *Asterionella notata*) in the second one. The specific diversity of the phytoplankton had an obvious correlation with the structural community changes, accordingly with the ambiental variation. The highest structuration level was evident in april, mainly due to the ambiental stability which was recorded in this period.

Accordingly with the hydrobiological characteristics, which were determined in this study, the Punta Limón marine region could be classified as a subtropical and slightly eutrophic system.

BIBLIOGRAFÍA

- ANÓNIMO, 1977. Informe final de las investigaciones sobre plancton y ciertos parámetros físico-químicos del ambiente marino de la región de la Laguna Verde, Veracruz. Inédito, 161 p., 14 tablas, 6 apéndices.
- BAUTISTA-GIL, M. L. y R. GUADARRAMA, 1978. Datos acerca de la distribución y abundancia de los foraminíferos del bentos marino cercano a Laguna Verde, Veracruz (México). Resúmenes VI Congr. Nal. Oceanogr., Ensenada, B. C. N., 10-13 abril.
- CRUZ, A., 1971. Estudios del plancton en el Banco de Campeche. In: UNESCO (Ed.), *Coloquio sobre Investigaciones y Recursos del Mar Caribe y Regiones Adyacentes*: 346-356.
- CURL, H. JR., 1959. The phytoplankton of Apalachee Bay and the North-eastern Gulf of Mexico. *Inst. Mar. Sci.*, 6: 276-320.
- CHÁVEZ, E. y M. J. PARRA, 1978. Datos acerca de la abundancia y diversidad de la bentofauna marina de la región de Laguna Verde, Veracruz (México). Resúmenes VI Congr. Nal. Oceanogr., Ensenada, B. C. N., 10-13 abril.
- CHÁVEZ, E., Z. CHÁVEZ y M. J. PARRA, 1978. Contribución al conocimiento de las comunidades de la zona de mareas en la costa rocosa cercana a Laguna Verde, Veracruz (México). Resúmenes VI Congr. Nal. Oceanogr., Ensenada, B. C. N., 10-13 abril.
- GARCÍA, E., 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Univ. Nal. Autón. México, 246 p.
- GARCÍA-CAMACHO, A., 1978. Esquema preliminar de la estructura trófica de las comunidades marinas en el área cercana a Laguna Verde, Veracruz (México). Resúmenes VI Congr. Nal. Oceanogr., Ensenada, B. C. N., 10-13 abril.

- EL-SAYED, S. Z., 1972. Primary productivity and standing crop of phytoplankton. In: Bushnell, V. C. (Ed.), *Serial Atlas of the marine environment: chemistry, primary productivity and benthic algae of the Gulf of Mexico*. Amer. Geogr. Soc., folio 22: 8-13.
- HIDALGO, E. y E. CHÁVEZ, 1978. Estudio de la macrofauna de las playas cercanas a Laguna Verde, Veracruz (México). Resúmenes VI Congr. Nal. Oceanogr., Ensenada. B. C. N., 10-13 abril.
- JÁUREGUI, E., 1971. Condiciones de difusión atmosférica y climatológica de Punta Limón. Ver. Informe técnico No. 2, 39 p., 39 figs.
- SANTOYO, H. y M. SIGNORET, 1973. Hidrología y fitoplancton en un transecto en la plataforma continental de la Bahía de Campeche, México (agosto de 1972). *Rev. lat-amer. Microbiol.*, 15 (4): 207-215.
- SANTOYO, H. y M. SIGNORET, 1975. Fitoplancton de la Laguna Salada y zona costera adyacente, Veracruz (septiembre, 1973). *Rev. lat-amer. Microbiol.*, 17 (3): 169-173.
- SOTO, M., 1972. Uso de la carta climática de la CETENAL (en el estudio de algunos fenómenos ecoclimáticos). CETENAL, 65 p.
- SOURNIA, A., 1968. Variations saisonnières et nycthemerales du phytoplankton marin et de la production primaire a Nosy Bé (Madagascar). *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 53: 1-76.
- STRICKLAND, J. D. H. AND T. R. PARSONS, 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Bull. Fish. Res. Board Canada, 167 (segunda edición), 310 p.
- TRAVERS, M., 1975. Le microplancton du Golfe de Marseille: éléments de synécologie. *Tethys*, 7 (2-3): 169-190.

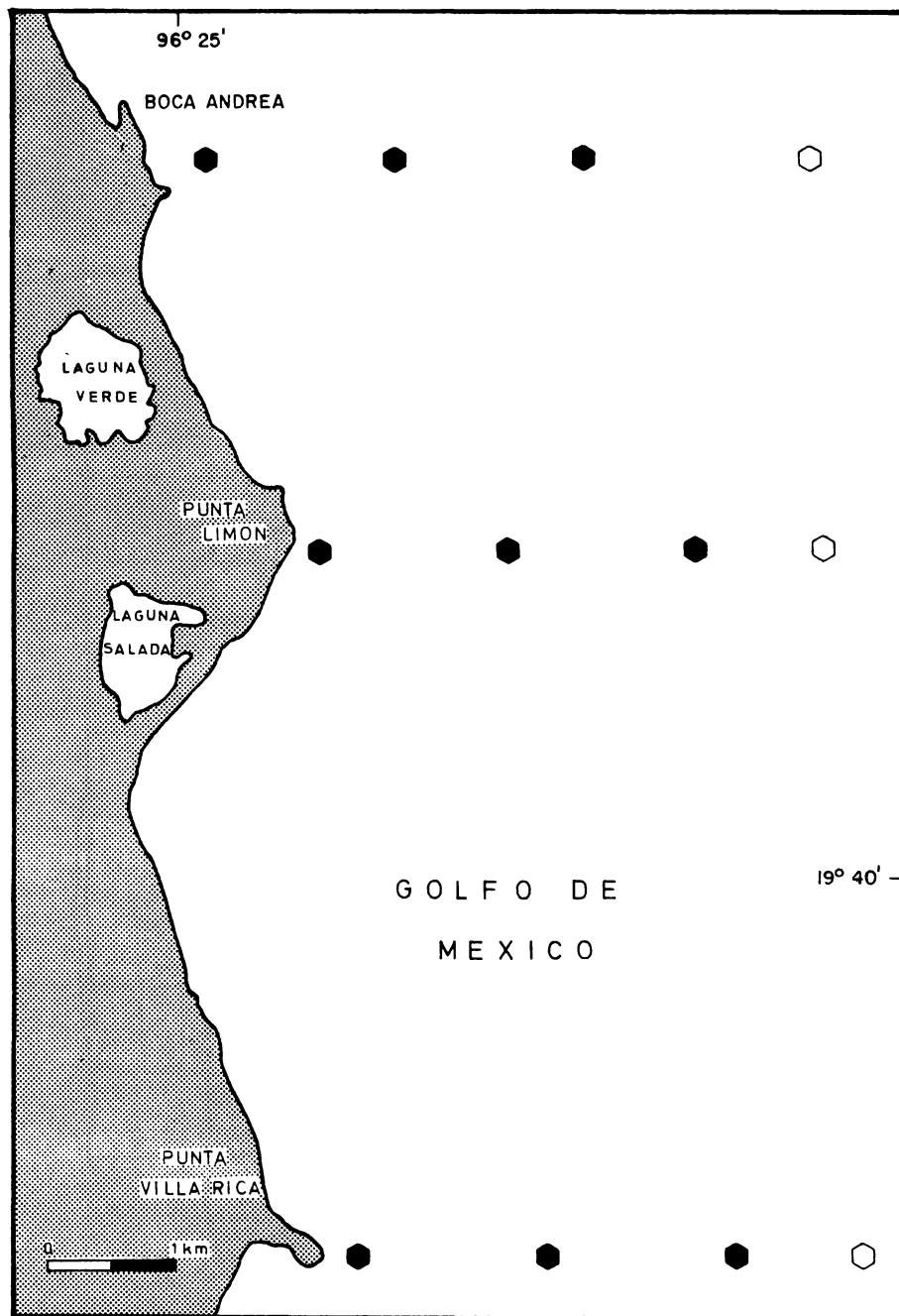


Fig. 1. Area de estudio y estaciones de muestreo.

TEMPERATURA



Fig. 2. Variación mensual de la temperatura del agua en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

TEMPERATURA (°C)

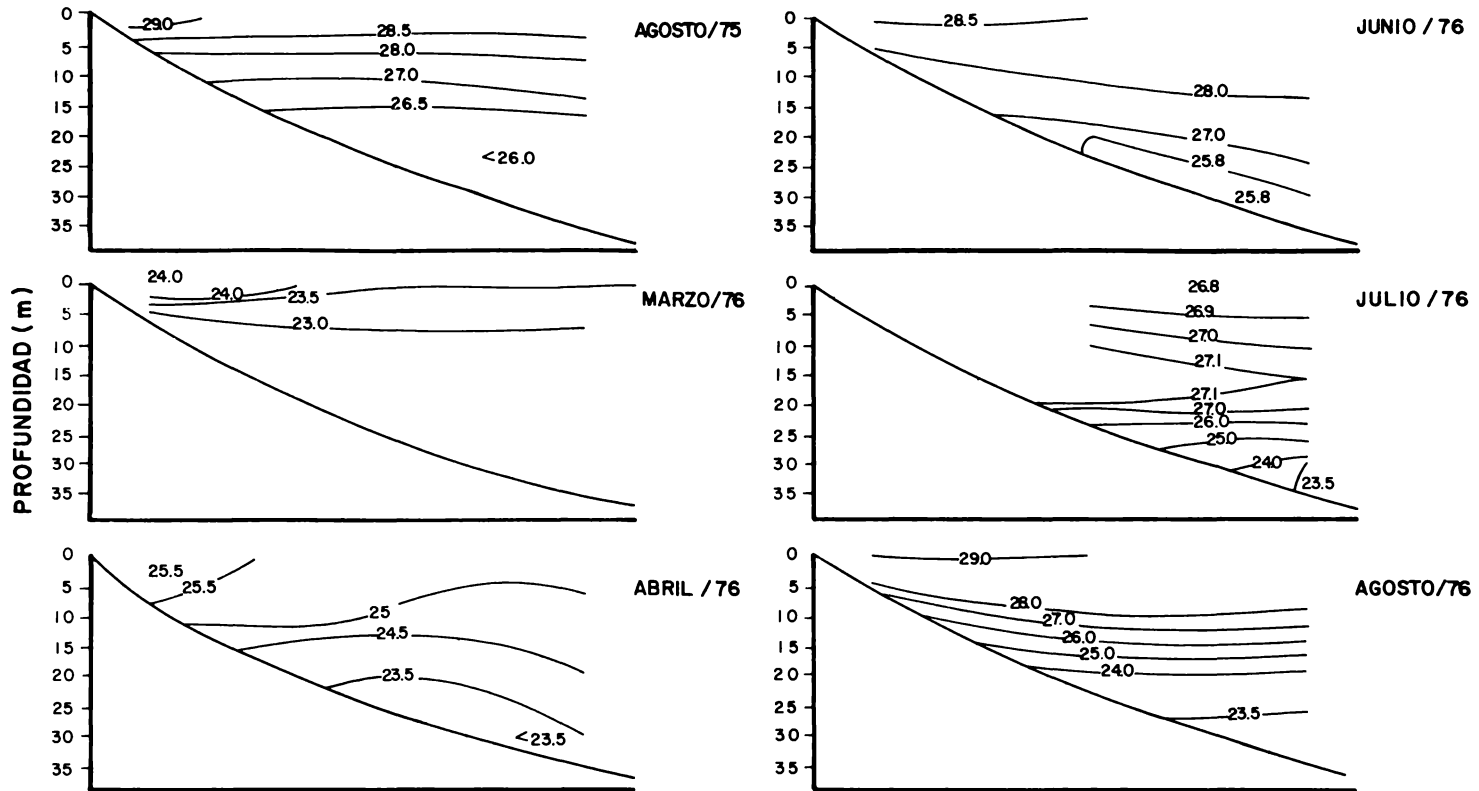


FIG. 3. Estratificación térmica en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

SALINIDAD



FIG. 4. Variación mensual de la salinidad en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

OXIGENO DISUELTO

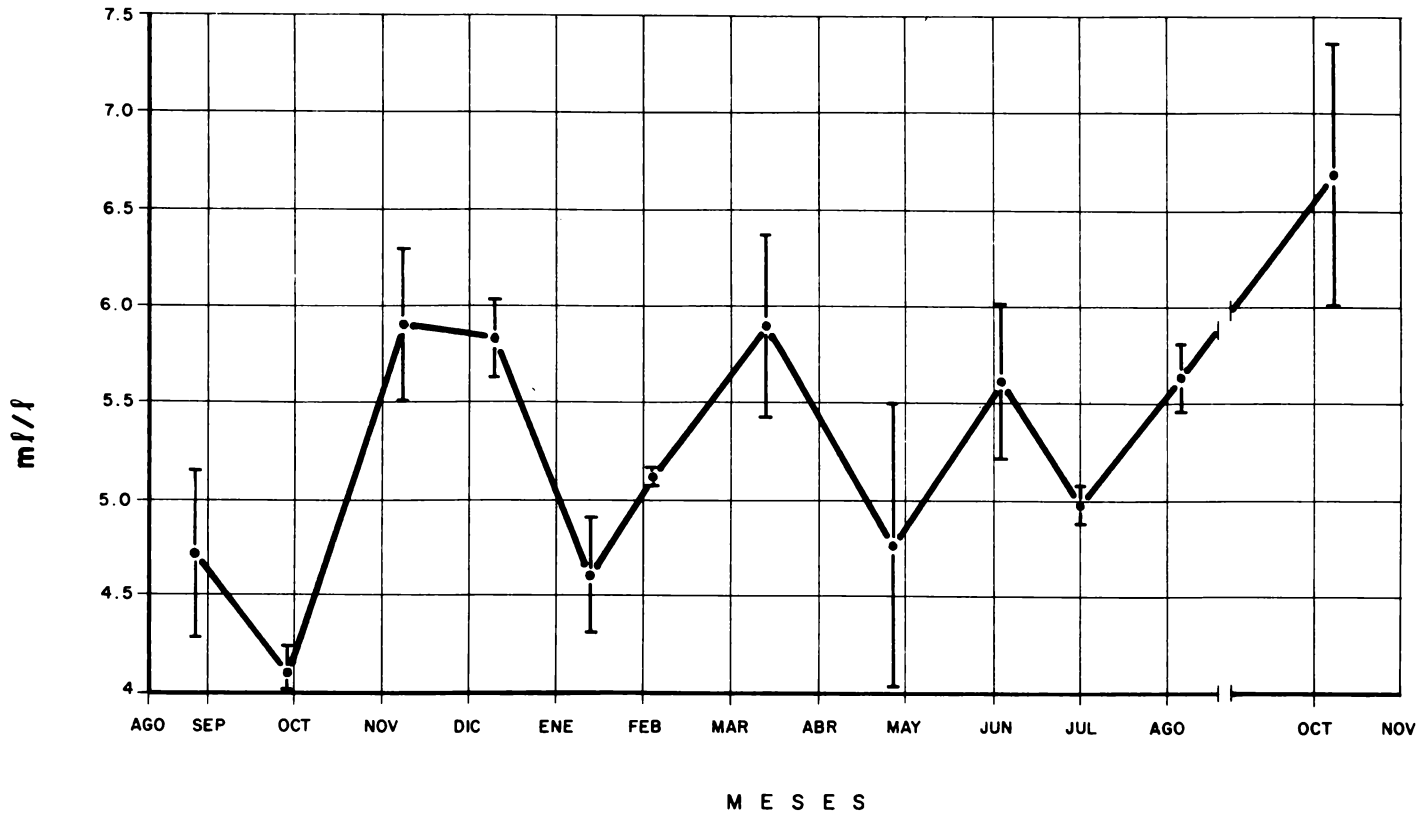


Fig. 5. Variación mensual del oxígeno disuelto en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

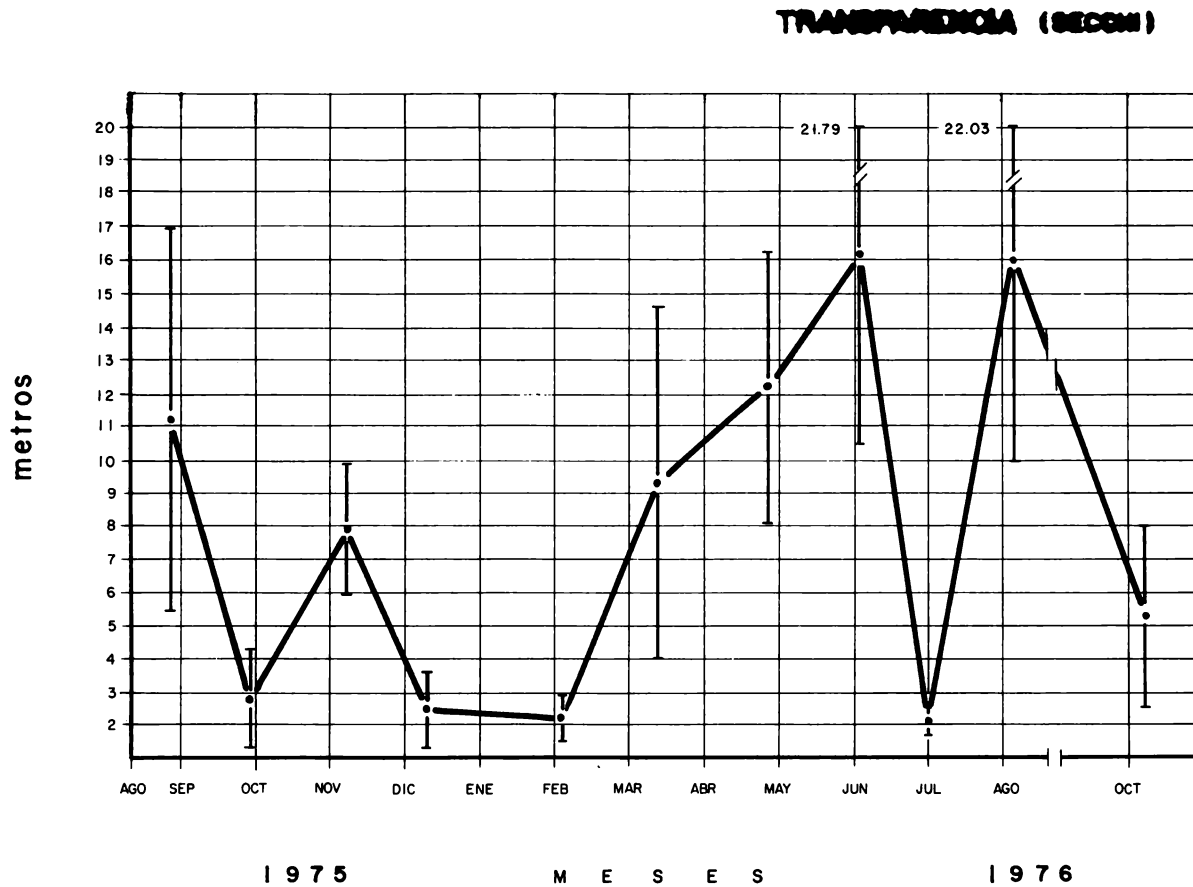


FIG. 6. Variación mensual de la transparencia del agua en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

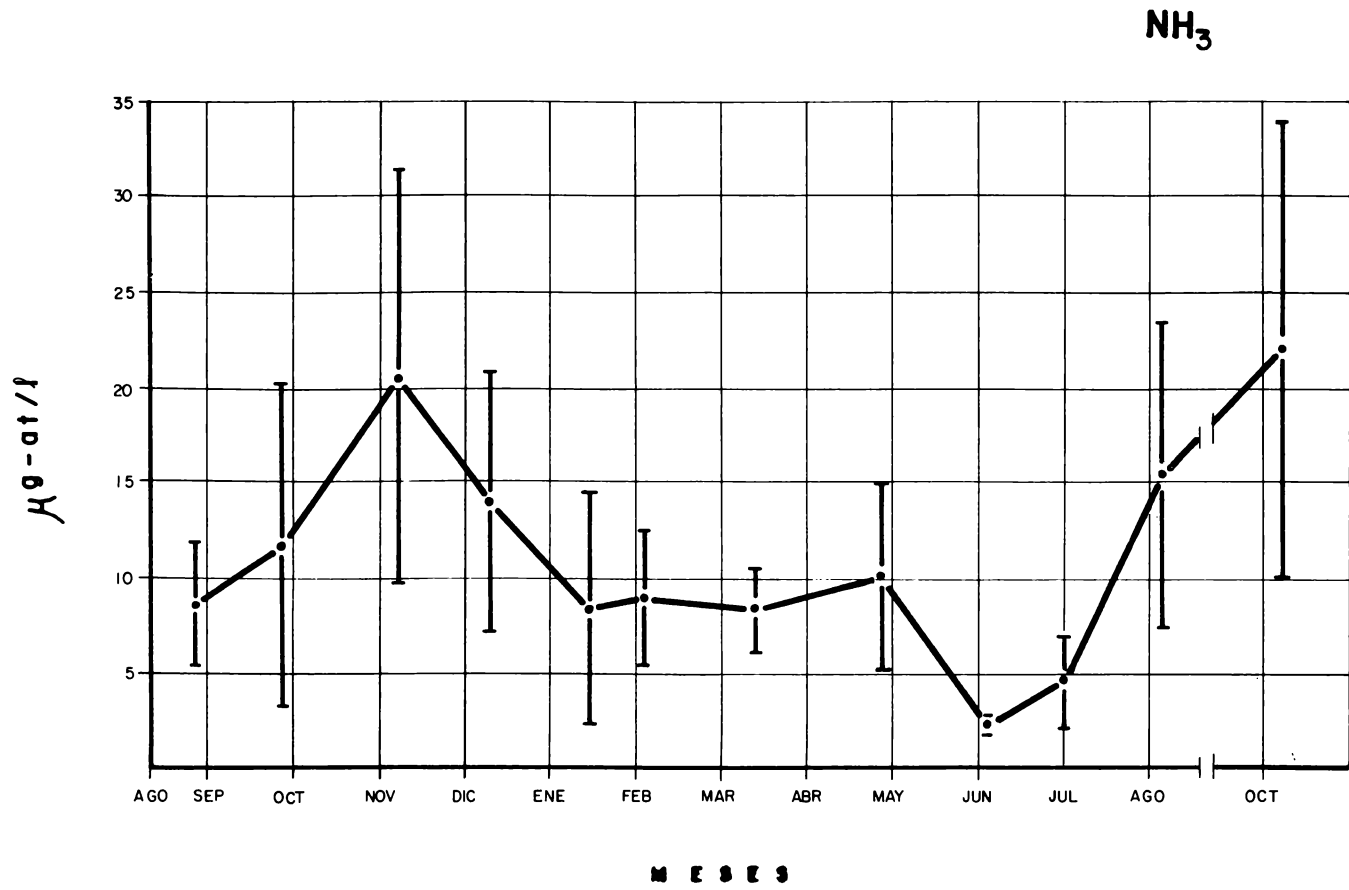


Fig. 7. Variación mensual del amonio en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

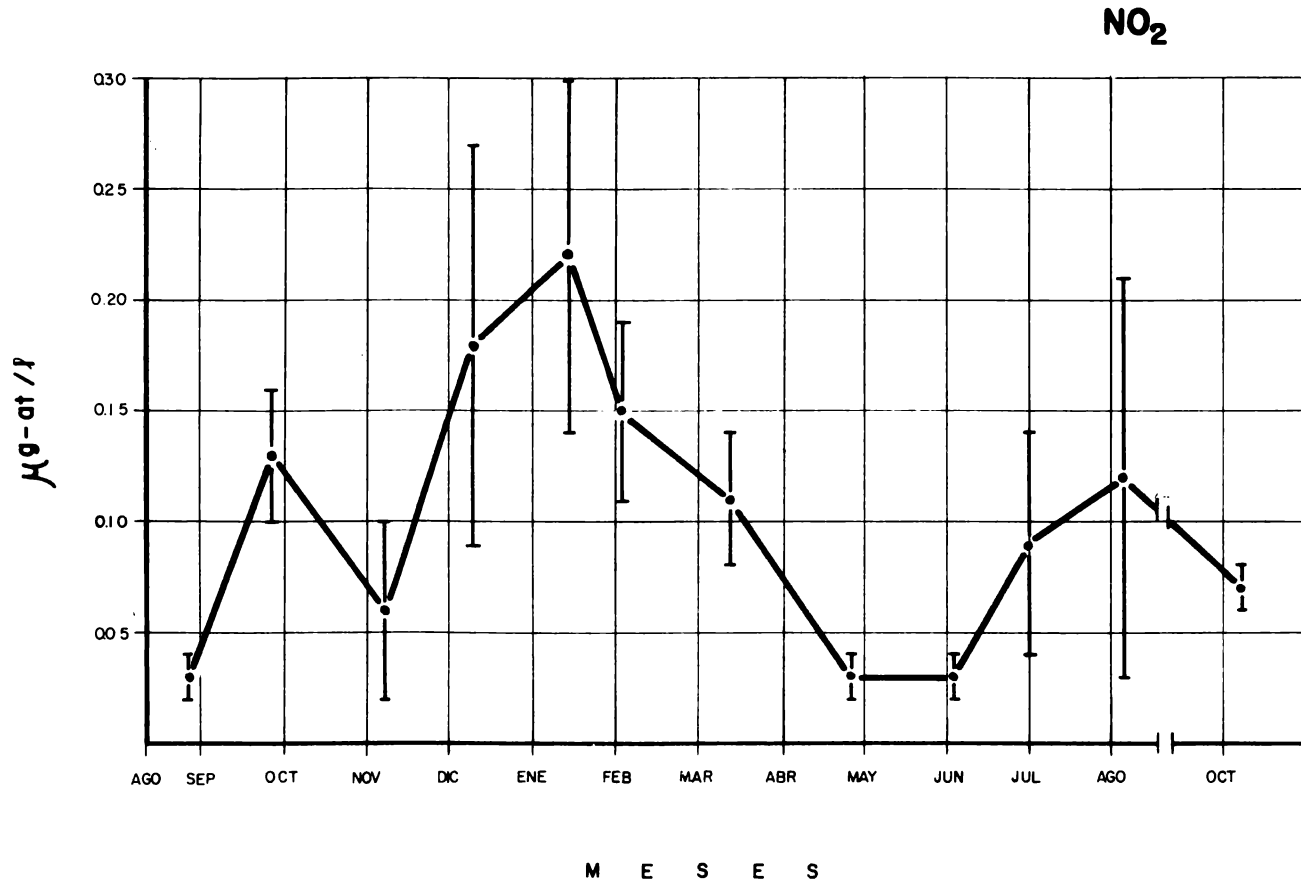


Fig. 8. Variación mensual de los nitritos en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

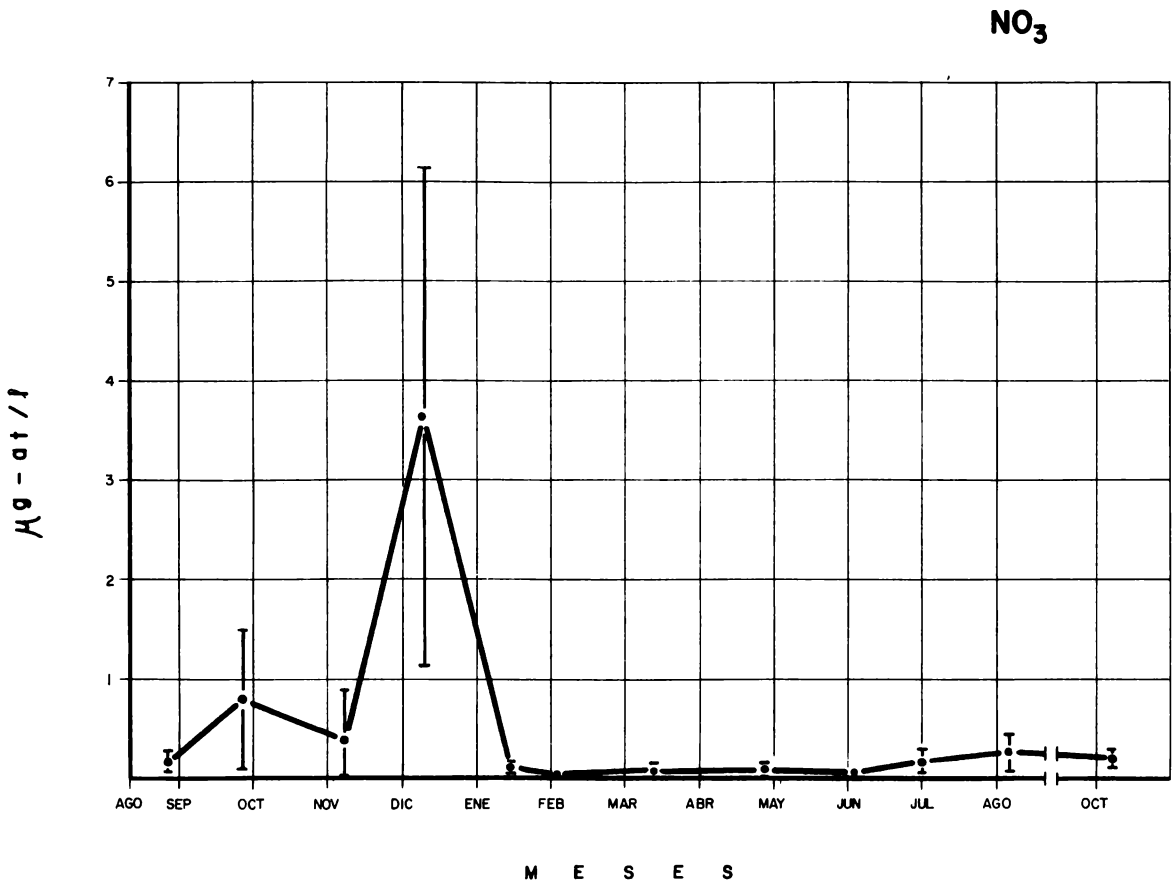


Fig. 9. Variación mensual de los nitratos en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

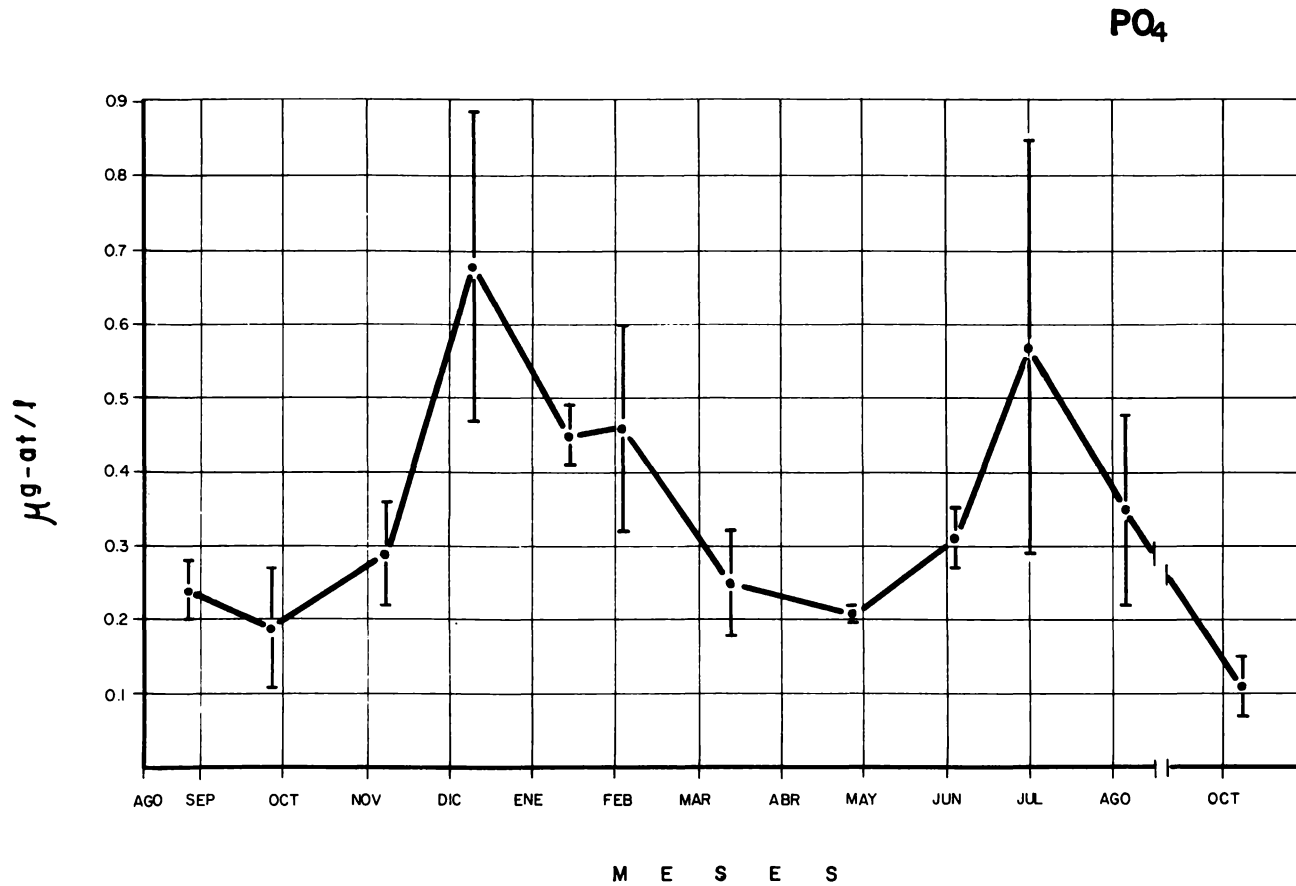


FIG. 10. Variación mensual de los fosfatos en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

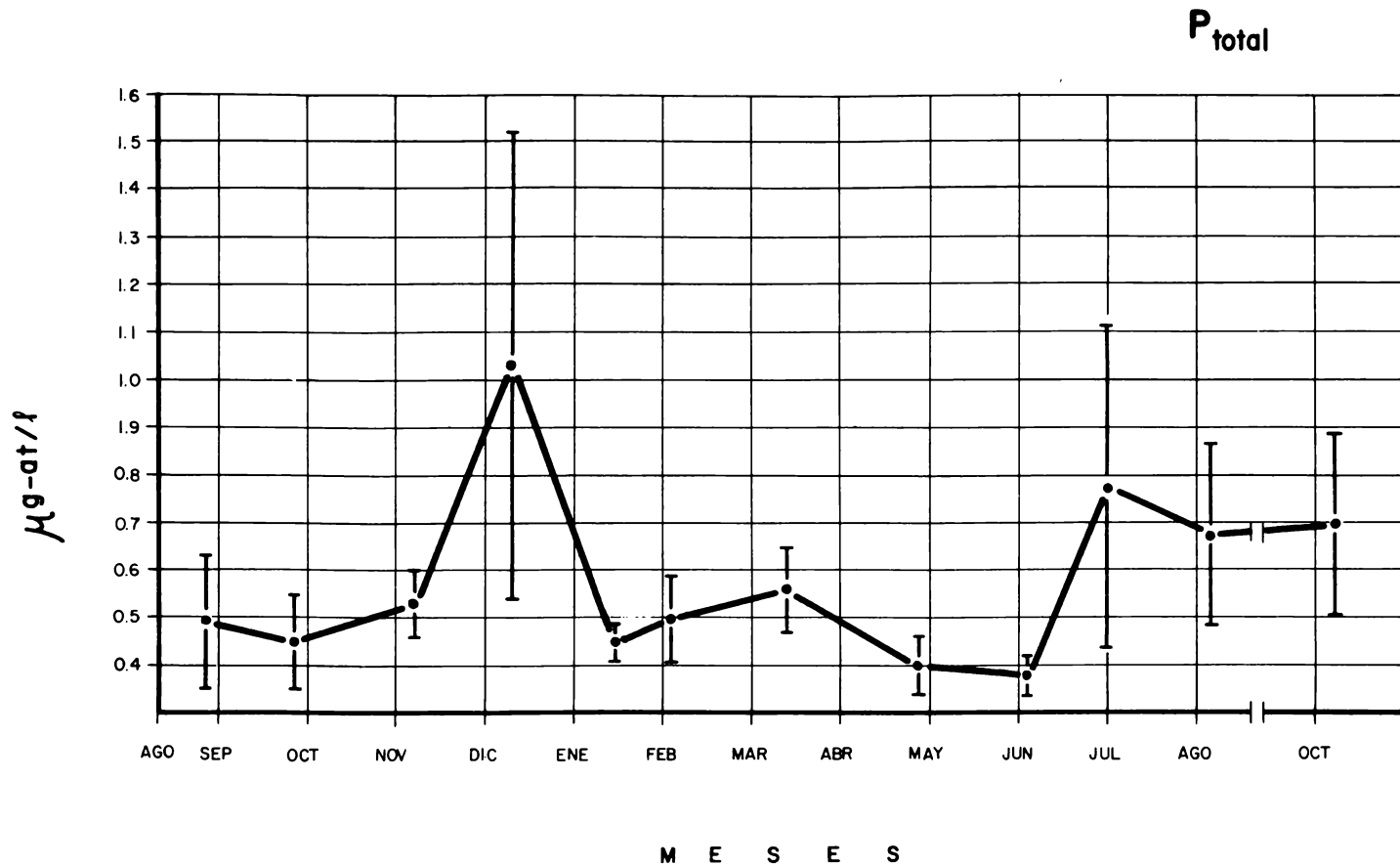


Fig. 11. Variación mensual del fósforo total en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

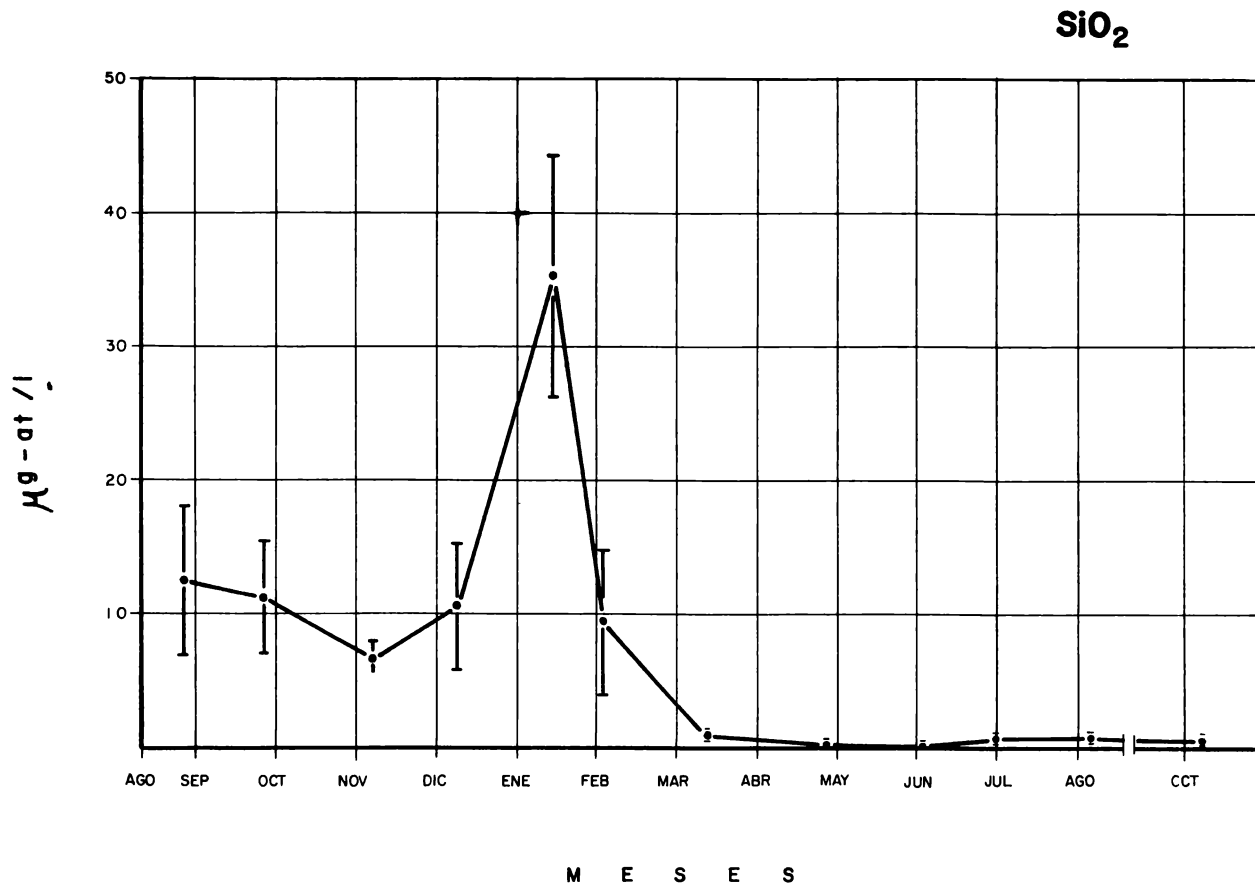


Fig. 12. Variación mensual de los silicatos en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

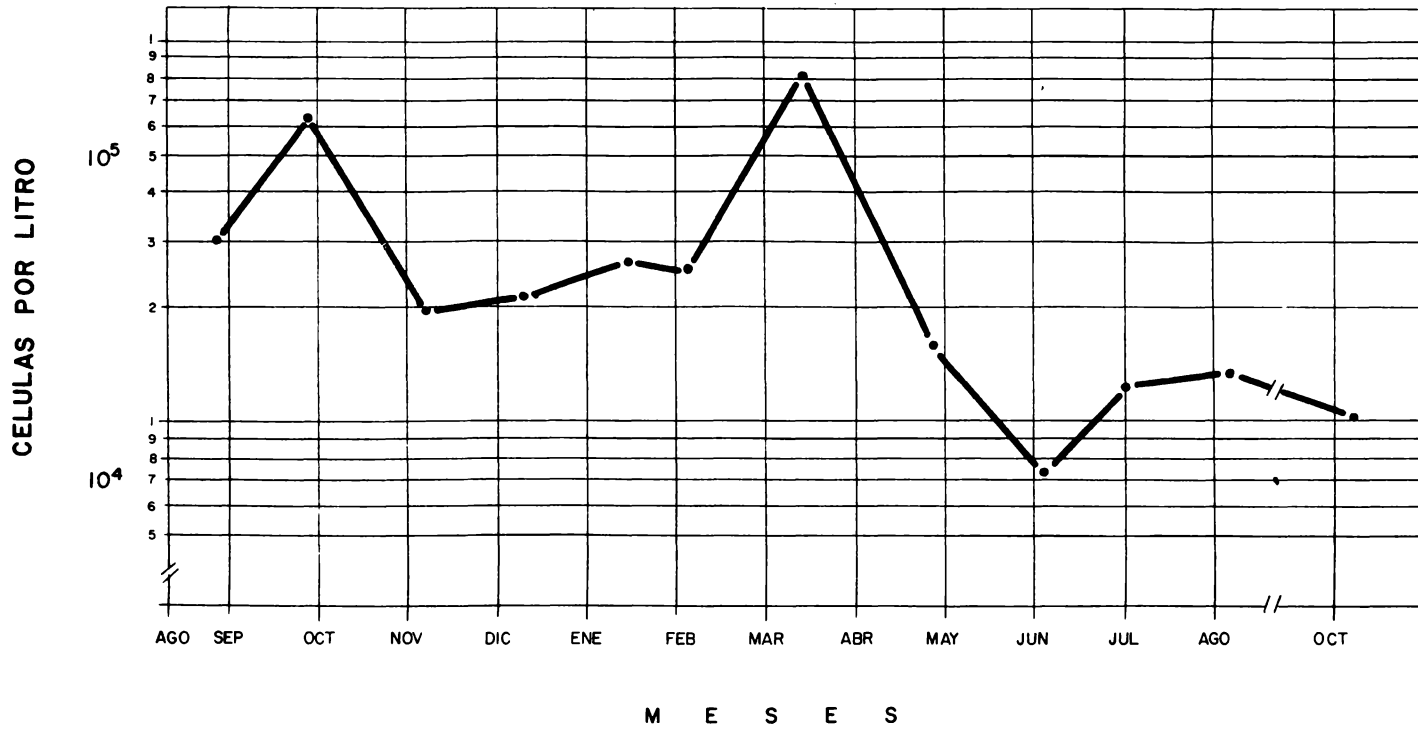


FIG. 13. Variación mensual de la densidad fitoplanctónica en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

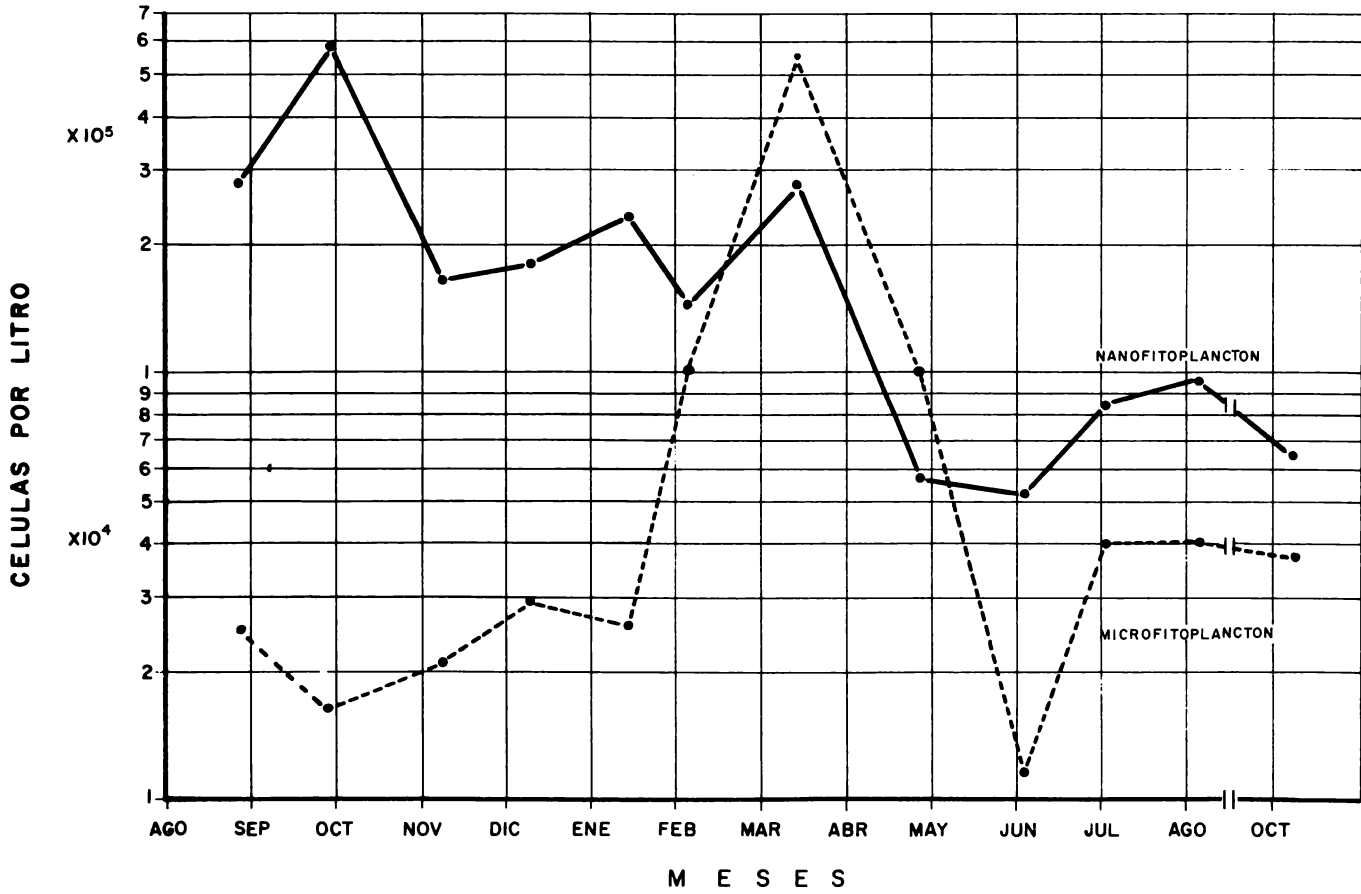


FIG. 14. Variación mensual del nanofitoplancton y del microfitoplancton en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

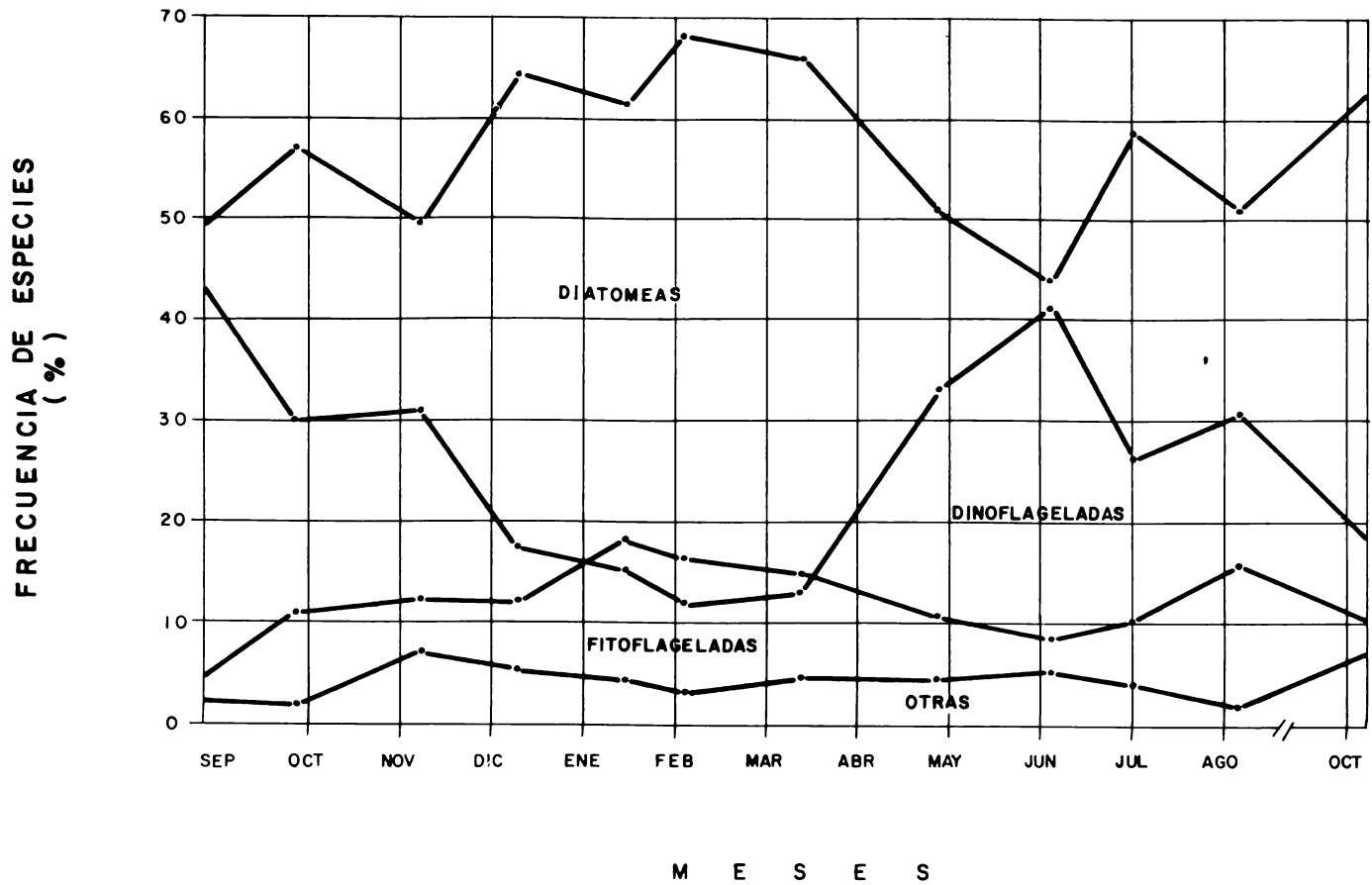


Fig. 15. Variación cualitativa de los grupos fitoplanctónicos en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

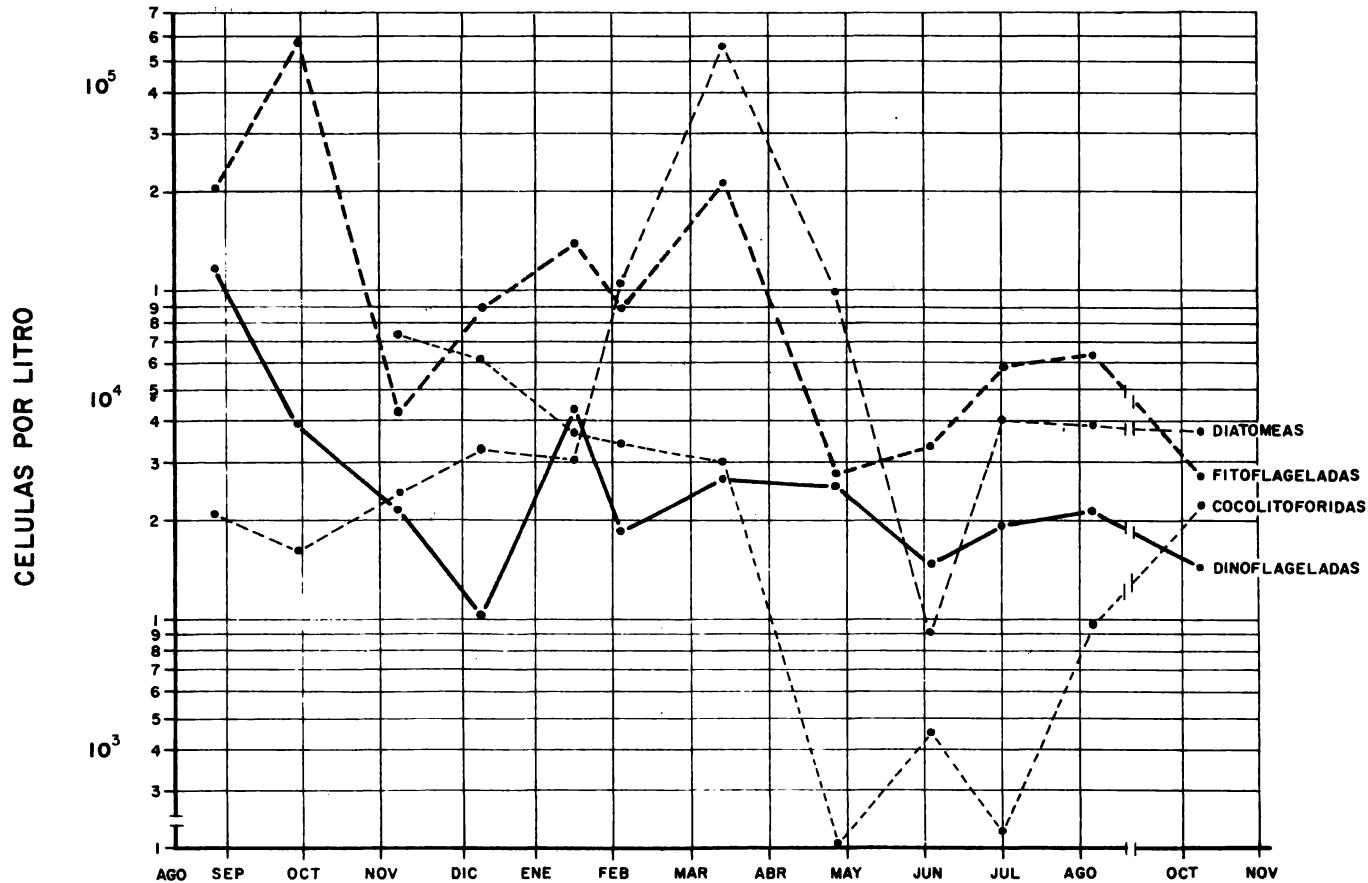


Fig. 16. Variación cuantitativa de los grupos fitoplanctónicos en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

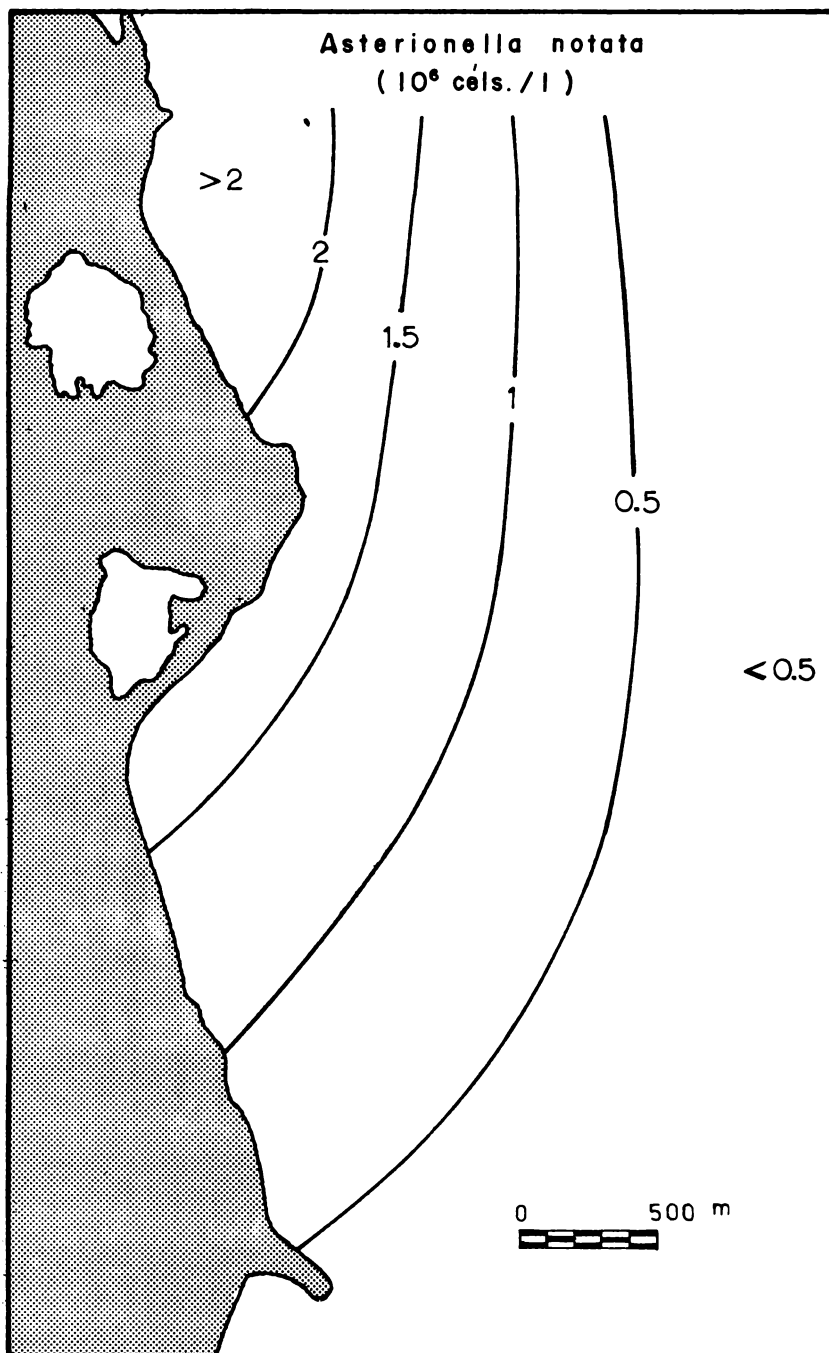


FIG. 17. Densidad y distribución del florecimiento de *Asterionella notata* en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

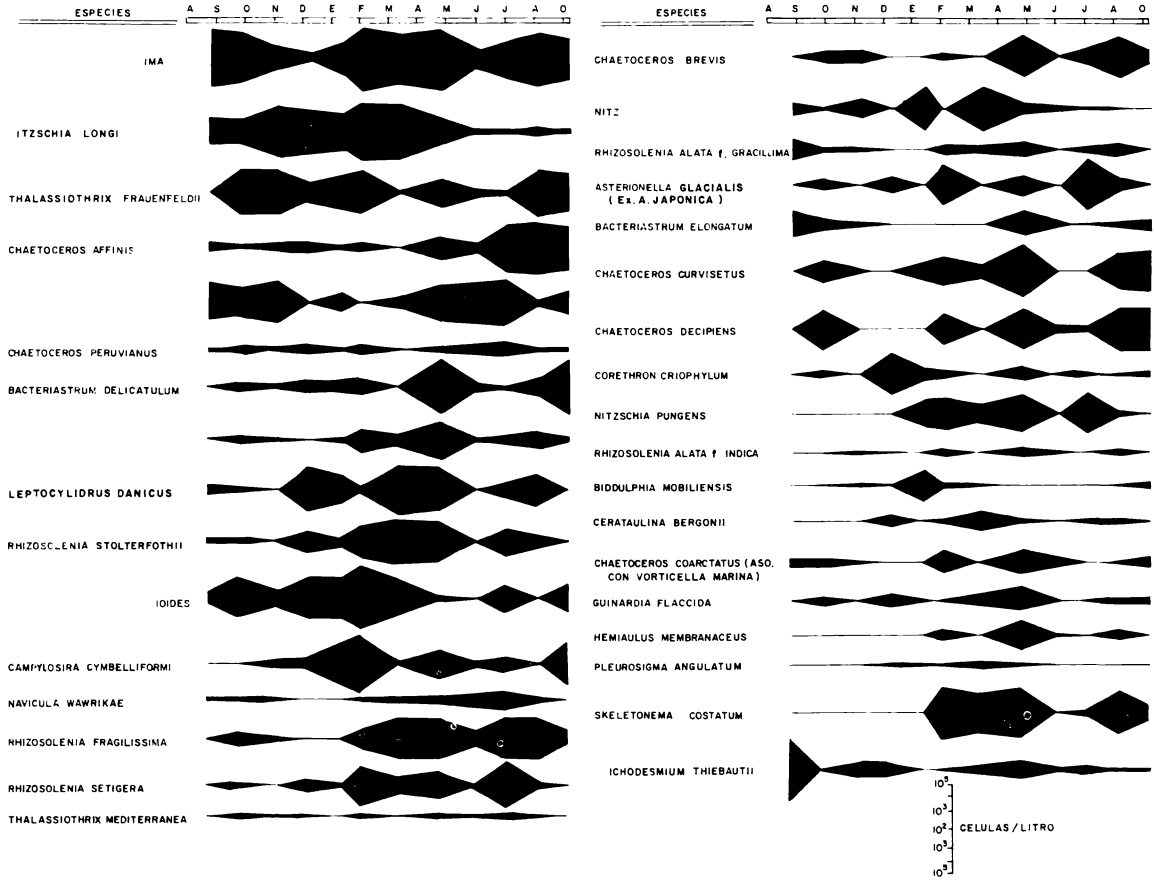


FIG. 18. Frecuencia y densidad de las especies más importantes del microfitoplancton en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

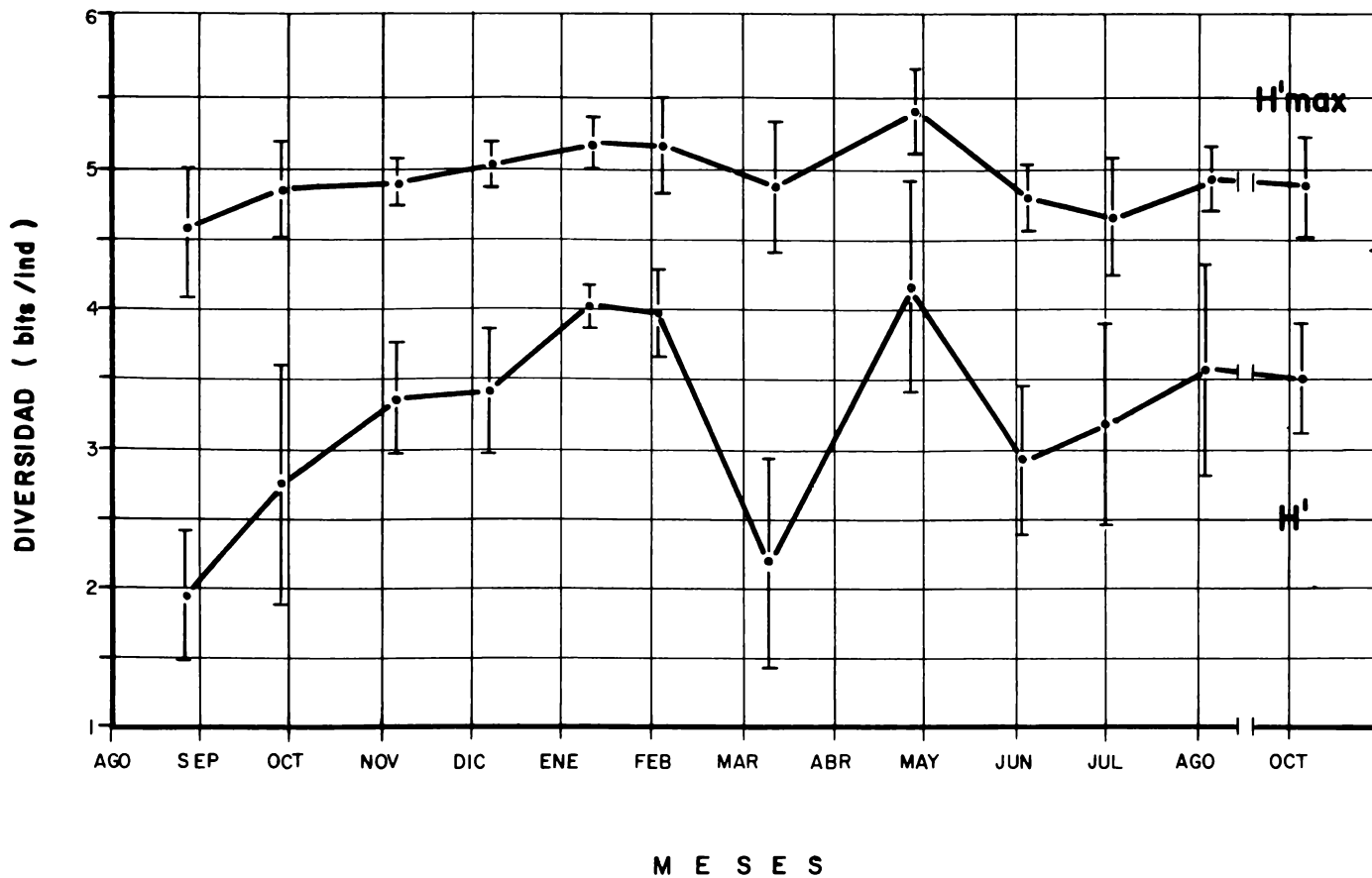


FIG. 19. Variación mensual de la diversidad del fitoplancton en la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.

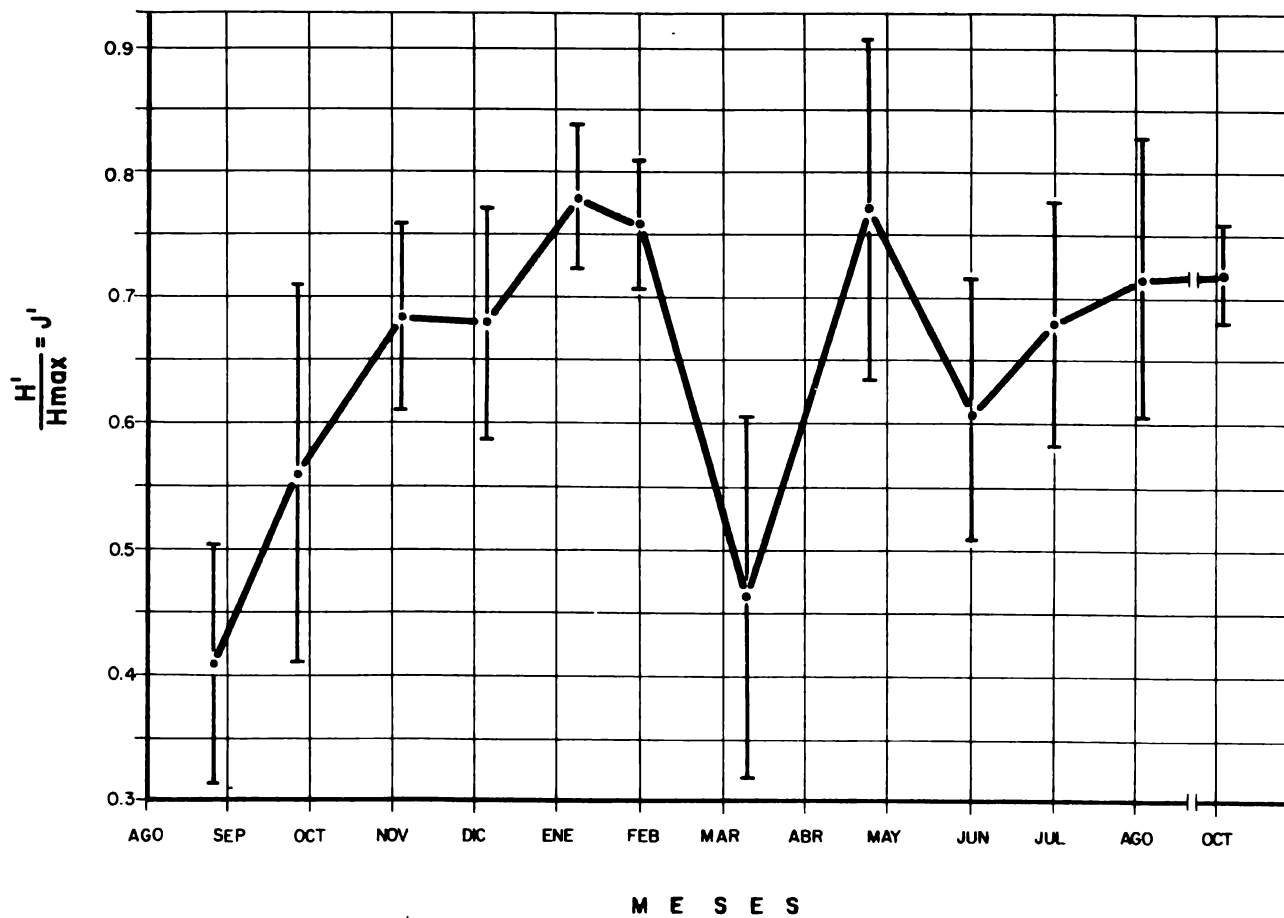


Fig. 20. Variación mensual de la "igualdad" para el fitoplancton de la región marina adyacente a Punta Limón, Ver.