

POBLACIONES BACTERIANAS EN EL GOLFO DE CARIACO, VENEZUELA

ESTHER FERNÁNDEZ ALVAREZ & TAIZO OKUDA

Instituto Oceanográfico, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

RESUMEN: Durante el período comprendido entre 1974 y 1975 se estudió la variación mensual de las poblaciones de bacterias heterótrofas en la columna de agua de 0-90 m del Golfo de Cariaco. Se analizaron las siguientes variables: nitrificación por bacterias marinas, numeración de bacterias heterótrofas, oxígeno disuelto, nitratos, amonio y nitrógeno orgánico. En 1974 la densidad poblacional de bacterias en el Golfo estuvo comprendida entre $0,2$ y $4,2 \times 10^3$ u.f.c./20 ml y en 1975 entre 1×10^2 y 1×10^4 u.f.c./20 ml. Como en 1975 las observaciones se hicieron a tres profundidades, se calculó además en este año, el número de colonias presentes en un metro cuadrado de la masa de agua, encontrándose dos épocas bien definidas, una con mayor densidad poblacional (enero-agosto) y la segunda (septiembre-diciembre) con una menor proporción de heterótrofas. En la columna de agua, se registraron cambios muy notables de los parámetros estudiados; en especial en las capas más profundas (60-90 m) entre las épocas de renovación y estancamiento. El proceso de nitrificación bacteriana o el equilibrio resultante de la misma se observó con mayor intensidad en el período de estancamiento del agua profunda en el Golfo (agosto-diciembre). Las poblaciones de bacterias heterótrofas en la columna de agua no guardaron relación con los otros parámetros estudiados y se mostraron como aerobias facultativas y/o microaerófilas.

ABSTRACT: Monthly variation in the populations of heterotrophic bacteria in the water column ranging from 0 to 90 m was studied during 1974-1975 in the Gulf of Cariaco. The following variables were analysed: Nitrification by marine bacteria, numbers of heterotrophs, dissolved oxygen nitrates, ammonia and organic nitrogen. In 1974, population density of bacteria was found to vary from $0.2 - 4.2 \times 10^3$ c.f.u./20 ml, while for 1975, it was greater ranging from $10^2 - 10^4$ c.f.u./20 ml. Since observations in 1975 were made in 3 different optical depths, the number of colonies present in one square meter of water column was also calculated for that year. Two well defined periods were noted: (i) January-August with greater population density and (ii) September-December with less number of heterotrophs. Notable changes were observed in the water column, especially in the deeper layer (60-90 m) between the periods of upwelling and stagnation. The process of bacterial nitrification or the resulting equilibrium the same was observed with great intensity during the period of water stagnation in the deeper waters of the gulf. The population of heterotrophs in the water column did not show relation with the other parameters studied and they were found to be facultative aerobes and/or microaerophiles.

INTRODUCCION

Si bien la distribución estacional y espacial de las bacterias marinas, dependen de una serie de factores como son: temperatura, penetración de luz, presión, salinidad, nutrientes orgánicos e inorgánicos, oxígeno disuelto, la topografía de los fondos marinos y las corrientes oceánicas (KRISS, 1963; KRISS *et al.* 1967); es igualmente evidente

que la actividad, multiplicación y distribución de los microorganismos marinos heterótrofos, están condicionadas principalmente por la disponibilidad de materia orgánica fácilmente accesible y asimilable, para desarrollar las acciones biológicas indispensables en el mantenimiento del equilibrio de los mares y océanos (VACCARO & JANNASCH, 1966). Todas las poblaciones bacterianas utilizan de manera efectiva ciertos

compuestos orgánicos e inorgánicos, ya sea asimilando moléculas o energía para incorporarlas como biomasa u oxidando totalmente materia orgánica para devolver al medio compuestos inorgánicos simples. Esto último es función primordial de las bacterias heterotrofas, por ser las principales responsables de la regeneración de los nutrientes y de su reingreso al medio, para permitir la supervivencia de los organismos en el mar (SEKI, 1965; SEGNINI *et al.*, 1975; CASTELLVI, 1981). No obstante WOOD (1967), afirma que la densidad bacteriana no indica necesariamente el contenido orgánico del agua del mar.

Son numerosas las investigaciones relacionadas con el fenómeno de la nitrificación, o sea, del mecanismo de oxidación de los compuestos del amonio, principalmente por acción química, fotoquímica, y bacteriana, provenientes de la descomposición del material biológico; en muchos sitios del mar, esta oxidación parece estar activada principalmente por las bacterias (HORNE, 1969; MARGALEF, 1974). Si bien los microorganismos autotrofos han sido más ampliamente estudiados y se consideran hasta el presente los de mayor importancia en este proceso de la nitrificación bacteriana, existen algunos autores que han estudiado la nitrificación por bacterias heterotrofas y sostienen que ellas representan un gran aporte al ciclo del nitrógeno en el mar. A pesar de ello, la nitrificación como fenómeno ecológico no ha sido tomada muy en consideración quizás debido a los resultados tan dispares, encontrados por los diferentes investigadores. Pero la función que desempeñan algunos microorganismos específicos tales como Nitrosomonas y Nitrobacter han contribuido al conocimiento de la bioquímica y los mecanismos de oxidación en los procesos de nitrificación (ALEEM & NASON, 1963).

Algunas bacterias marinas utilizan compuestos inorgánicos del nitrógeno con fines metabólicos, aunque los aminoácidos son aprovechados por estas poblaciones como la

mejor fuente de nitrógeno y carbono. El amonio generalmente es liberado cuando el contenido de nitrógeno de la materia orgánica disuelta es superior a los requerimientos bacterianos, encontrándose disponible posteriormente para los organismos fitoplanctónicos.

La presente investigación tiene como objetivo fundamental el estudio químico-bacteriológico del Golfo de Cariaco (Venezuela) para conocer: (a) la distribución horizontal cuantitativa de las poblaciones de las bacterias heterotrofas en el área y sus fluctuaciones mensuales y (b) la distribución vertical de algunos parámetros químicos y bacteriológicos relacionados con la densidad de heterotrofas, nitrificación bacteriana, oxígeno disuelto, nitrógeno orgánico, nitratos ($N-NO_3^-$) y amonio ($N-NH_4^+$) tomando como referencia para estas observaciones la parte centro-sur y más profunda del Golfo, donde se registran con mayor intensidad las características hidroquímicas en los períodos de renovación y estancamiento de la masa de agua. De esta manera se aportarían nuevos conocimientos sobre el potencial productivo del área por la gran importancia económica y de reservas que el Golfo representa, relacionándolo así con otras zonas adyacentes y de posible interrelación (CASTELLVI & FERNANDEZ 1978).

DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El Golfo de Cariaco, (Fig. 1) es una fosa tectónica alargada que ha sido suficientemente descrito por numerosos investigadores en diferentes años (RICHARD 1960, ROA & OTTMANN 1961; GADE, 1961; KATO, 1961; OKUDA, 1976; OKUDA *et al.*, 1978; CARABALLO, 1982).

El principal aporte de agua dulce lo constituye desde 1975, el Río Manzanares, época en la cual se construyó un canal de desagüe donde parte de la masa de agua de éste, en época de lluvia, se une al Golfo de Cariaco, en la parte más oriental de la ciudad de

Cumaná. Sin embargo la influencia del Río Manzanares sobre las condiciones hidrográficas del Golfo, aparentemente no es notable, debido a que los vientos soplan predominante del Noreste y del Este, provocando un transporte superficial hacia el Noroeste (al exterior del Golfo). Además, el área del Golfo de Cariaco posee una situación típica de las zonas áridas, donde casi todo el tiempo, la evaporación excede marcadamente a la precipitación. En consecuencia, el efecto pluvial y fluvial en las condiciones hidrográficas de esta zona no es muy apreciable.

MATERIALES Y METODOS

Las observaciones se hicieron mensualmente en 1974 y 1975 para el estudio de la distribución horizontal de las poblaciones bacterianas. Durante el primer año se seleccionaron diecinueve (19) estaciones a una profundidad óptica correspondiente al 50% de la luz incidente, nueve (9) en el segundo,

a diferentes porcentajes de intensidad lumínica (100%, 50%, 1%, Fig. 1) en base a las mediciones de la transparencia del agua con el disco de Secchi (FERRAZ DE REYES, 1977). Para ilustrar e interpretar más claramente esta distribución horizontal se expresaron las variaciones de la concentración bacteriana a través de los meses de estudio, utilizando formas de rayados diferentes.

Durante el mismo período y en una estación en la parte más profunda del Golfo (90 m aproximadamente Fig. 1) se estudiaron algunos parámetros químicos y bacteriológicos. También se determinó la distribución vertical de bacterias heterotrofas, utilizando al igual que para la horizontal la técnica de filtros de membrana en medio sólido; los medios de cultivo empleados fueron: agar marino 2216 (Difco) y agar nutriente (Merck) más harina de pescado. El período de incubación osciló entre 48 y 72 horas y la temperatura de crecimiento fue de $22 \pm 2^\circ\text{C}$. Los

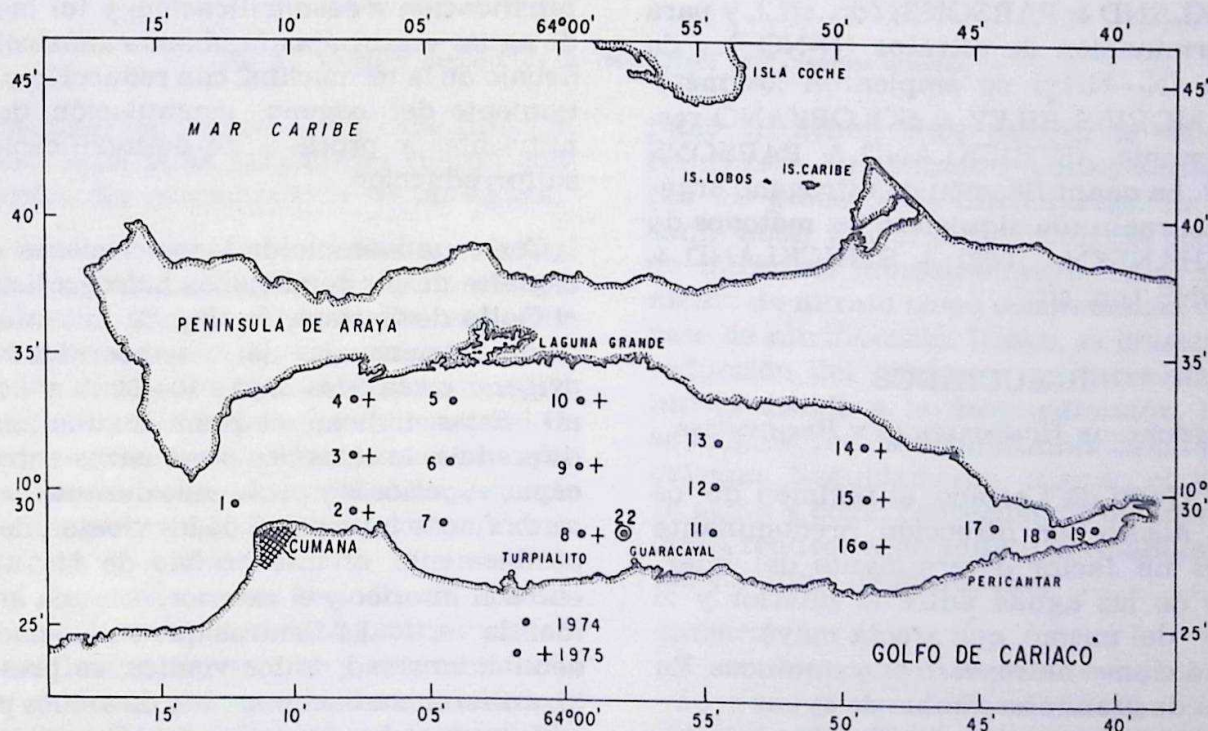


Fig. 1. Ubicación de las estaciones muestreadas en el Golfo de Cariaco.

contajes se realizaron con una lupa de cinco pulgadas de diámetro aproximadamente y un contador "Quevec"; los resultados se expresaron en unidades formadoras de colonias por 20 ml (u.f.c./20 ml) de muestra. Para determinar la nitrificación bacteriana se siguió una metodología similar a la descrita por YOSHIDA (1967), utilizando el siguiente medio de cultivo:

Sulfato de amonio	30 mg
Fosfato diácido de potasio	2 mg
E.D.T.A.	0,2 mg
Agua de mar envejecida y filtrada	1000 ml
pH final	8,4

Posteriormente se determinó la concentración de nitritos siguiendo la técnica descrita por STRICKLAND & PARSONS (1972). Este método presenta un gran inconveniente, debido a que la muestra que se estudia es completa y el tiempo de incubación muy prolongado para lograr cantidades de $N-NO_2^-$ detectables espectrofotométricamente. En la determinación del oxígeno disuelto, se utilizó el método de Winkler descrito por STRICKLAND & PARSONS, (*op. cit.*), y para la determinación de nitratos ($N-NO_3^-$) y de amonio ($N-NH_4^+$) se emplearon los métodos de MORRIS RILEY & SOLORZANO respectivamente, (STRICKLAND & PARSONS *op. cit.*). La cuantificación de nitrógeno orgánico, fue realizada siguiendo los métodos de HOLM-HANSEN (1968) & STRICKLAND & PARSONS (*op. cit.*).

RESULTADOS

CARACTERISTICAS HIDROGRAFICAS Y BIOQUIMICAS

En el Golfo de Cariaco, el régimen de los vientos alisios con dirección predominante E-NE es un factor determinante del intercambio de las aguas entre el interior y el exterior del mismo, que afecta mayormente sus condiciones hidrográficas y químicas. En la época de gran intercambio de aguas acompañadas de vientos de considerable intensidad (desde enero a abril o mayo) se presenta una homogeneidad vertical de los paráme-

tros hidroquímicos en la columna de agua, con baja temperatura y una relativa baja concentración del oxígeno. Además, el suministro continuo de los nutrientes desde el exterior provoca una elevada producción orgánica. En cambio en la época de débil intensidad de los vientos, (desde junio o julio a agosto) se presentan verticalmente tres zonas de características distintas debidas al desarrollo de la termoclina en la capa intermedia, es decir, (a) una zona de circulación libre (ambiente oxigenado) en las capas superiores de la termoclina donde se presenta menor intercambio de las masas de agua superficiales con el exterior, un aumento gradual de la temperatura de dichas aguas, un suministro limitado de los nutrientes desde el exterior, aumento de oxígeno, consumo de nutrientes por la actividad fotosintética y los procesos de nitrificación; (b) la zona de termoclina con un mayor desarrollo del gradiente vertical de los parámetros hidroquímicos, acumulación de los detritos orgánicos, reducción violenta del oxígeno, aumento brusco de los nutrientes, de los procesos de nitrificación y desnitrificación; y (c) la zona de aguas estancadas (ambiente anóxico) por debajo de la termoclina, con reducción y agotamiento del oxígeno, acumulación de los nutrientes y procesos de desnitrificación y sulforreducción.

Como un ejemplo de las variaciones estacionales de las condiciones hidrográficas en el Golfo de Cariaco, la Fig. 2 muestra los cambios mensuales de la temperatura y el oxígeno en las dos capas (0—50 m y 60—90 m). Estas indican claramente una menor diferencia de estos dos parámetros entre las capas superiores y profundas durante la época de fuerte intensidad de los vientos, debido posiblemente al intercambio de las aguas entre el interior y el exterior, con una activa mezcla vertical. Mientras que en la época de débil intensidad de los vientos, se presenta una diferencia bien marcada de ambos parámetros entre las dos capas debido a un incremento notable de la temperatura en la capa superior y una reducción brusca de las con-

Población bacteriana en el Golfo de Cariaco

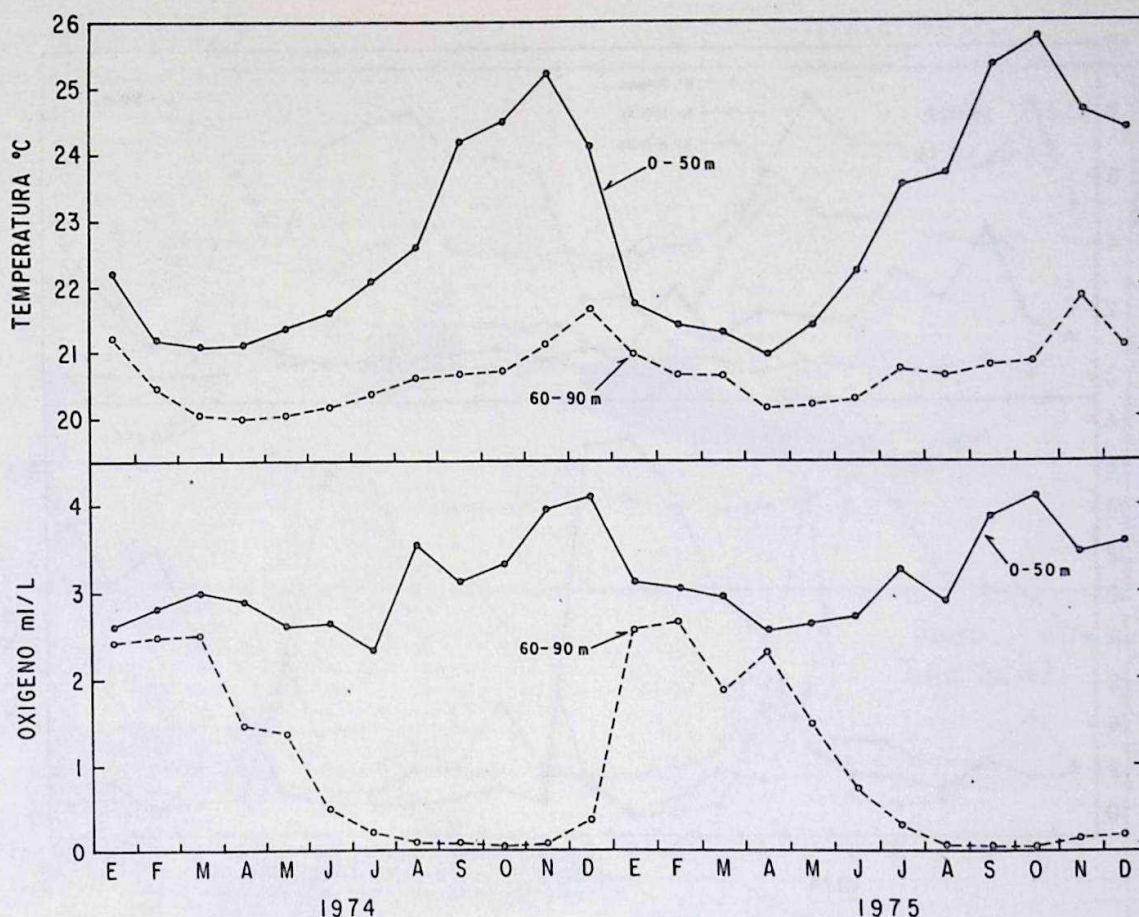


Fig. 2. Variación mensual de la temperatura y el oxígeno disuelto.

centraciones de oxígeno en la capa inferior, naturalmente estas variaciones fueron consecuencia del estancamiento de las aguas.

La Fig. 3 representa la variación mensual de las diversas formas de nitrógeno inorgánico en el Golfo; se observa una variación característica de los iones de amonio, nitrito y nitrato. Especialmente en la capa de 60-90 m de profundidad la variación mensual de estos tres iones reflejan los procesos bioquímicos que se están desarrollando en esta capa de agua, como son, nitrificación, desnitrificación y sulforreducción. De acuerdo con el desarrollo de los períodos de renovación y estancamiento de las aguas, se presenta una fluctuación mutua y compensatoria entre el nitrato y el amonio. En el inicio de la reducción de nitrógeno se encuentran elevadas concentraciones de nitrato, debido a que las aguas que entran de la Fosa de Ca-

riaco contienen altos valores de este ión y continúan aumentando subsiguientemente por los procesos de nitrificación. Es interesante notar que el incremento del contenido de nitrito es inmediatamente antes del aumento de nitrato como consecuencia del proceso de nitrificación. Luego, se presenta una reducción del nitrato y un incremento del nitrito debido a la desnitrificación, la cual se origina por la disminución cuantiosa del oxígeno. Seguidamente, cuando el oxígeno se agota y como consecuencia de esto, se inicia la reducción de sulfato, formándose amonio y sulfuro de hidrógeno.

DISTRIBUCION HORIZONTAL DE LAS BACTERIAS HETEROTROFAS:

La Fig. 4 muestra la distribución cuantitativa correspondiente a los meses de abril,

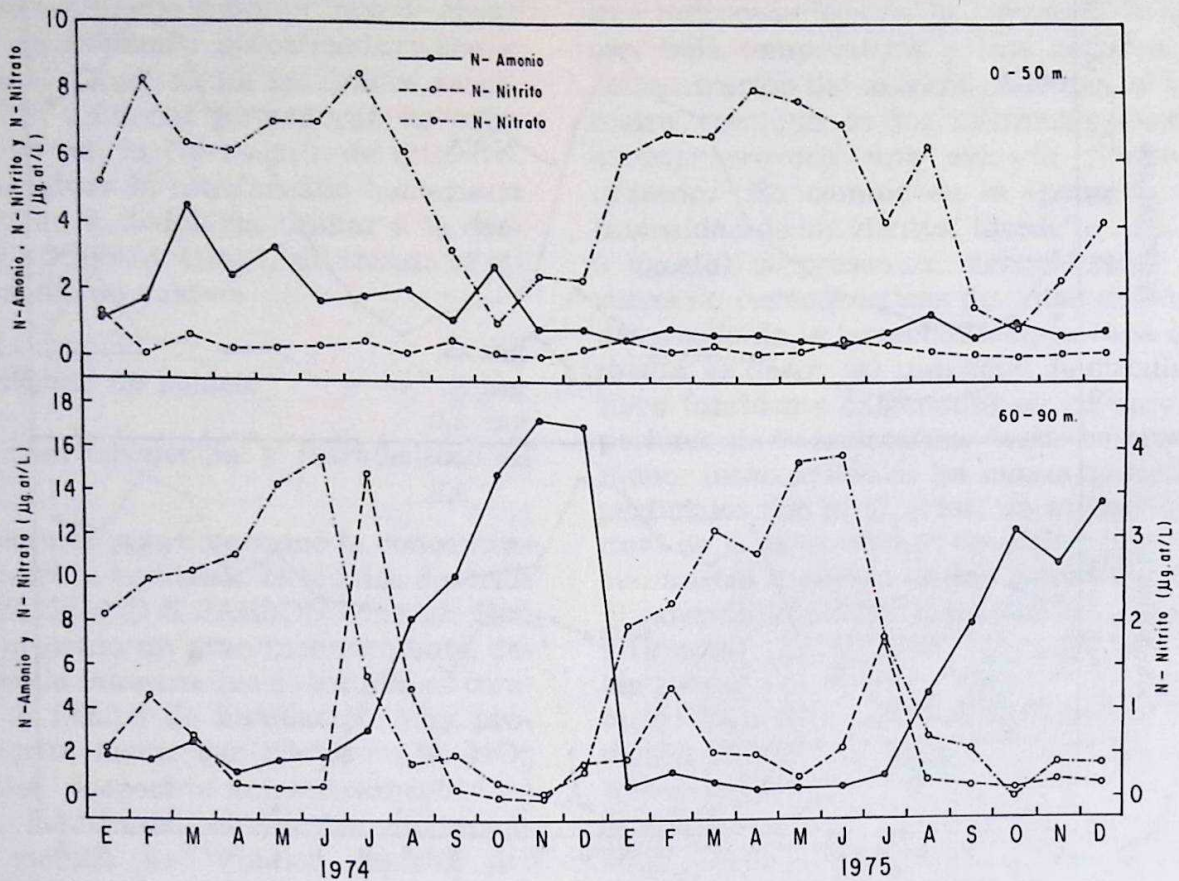


Fig. 3. Variación mensual del nitrógeno inorgánico.

mayo y junio de 1974. Durante el mes de abril una gran parte del Golfo presentó densidades poblacionales de heterotrofas relativamente bajas (menores que 1×10^3 u.f.c./20 ml) a excepción de la porción extrema oriental que mostró valores de $2,5 \times 10^3$ u.f.c./20 ml y el Noroeste del mismo con $1,5 \times 10^3$ u.f.c./20 ml.

En el mes de mayo hubo un leve aumento en casi toda el área (entre $0,9$ y $1,9 \times 10^3$ u.f.c./20 ml). Posteriormente en junio la densidad bacteriana se mantuvo relativamente elevada y casi homogénea en toda la región (entre $1,1$ y $1,7 \times 10^3$ u.f.c./20 ml) a excepción de la est. 2 que mostró una concentración de $0,9 \times 10^3$ u.f.c./20 ml. En el mes de julio (Fig. 5) estas poblaciones mantuvieron la misma homogeneidad que la observada en el mes anterior aunque con valores relativamente altos hacia los extremos oriental ($2,5$

$\times 10^3$ u.f.c./20 ml) y occidental ($2,2 \times 10^3$ u.f.c./20 ml). Luego, en agosto (Fig. 5), comenzaron a descender en las est. 4, 10, 11, 12, 13 y 16; en el resto del área persistió la homogeneidad en la distribución. En el mes de septiembre (Fig. 5) la zona de menor densidad bacteriana se hizo más amplia, con un valor promedio de $0,8 \times 10^3$ u.f.c./ml, sólo en la est. 6 se presentó una densidad poblacional elevada ($2,7 \times 10^3$ u.f.c./20 ml) y se mantuvo la misma concentración hacia el extremo más oriental (est. 19).

En el lapso de los tres últimos meses de este mismo año se observaron las mayores densidades de las poblaciones bacterianas en la región (Fig. 6). En octubre se presentó un aumento brusco hacia el Este del Golfo ($2,8$ a $3,5 \times 10^3$ u.f.c./20 ml). En el resto del área las concentraciones de heterotrofas fueron menores ($0,2$ a $0,6 \times 10^3$ u.f.c./20 ml)

Población bacteriana en el Golfo de Cariaco

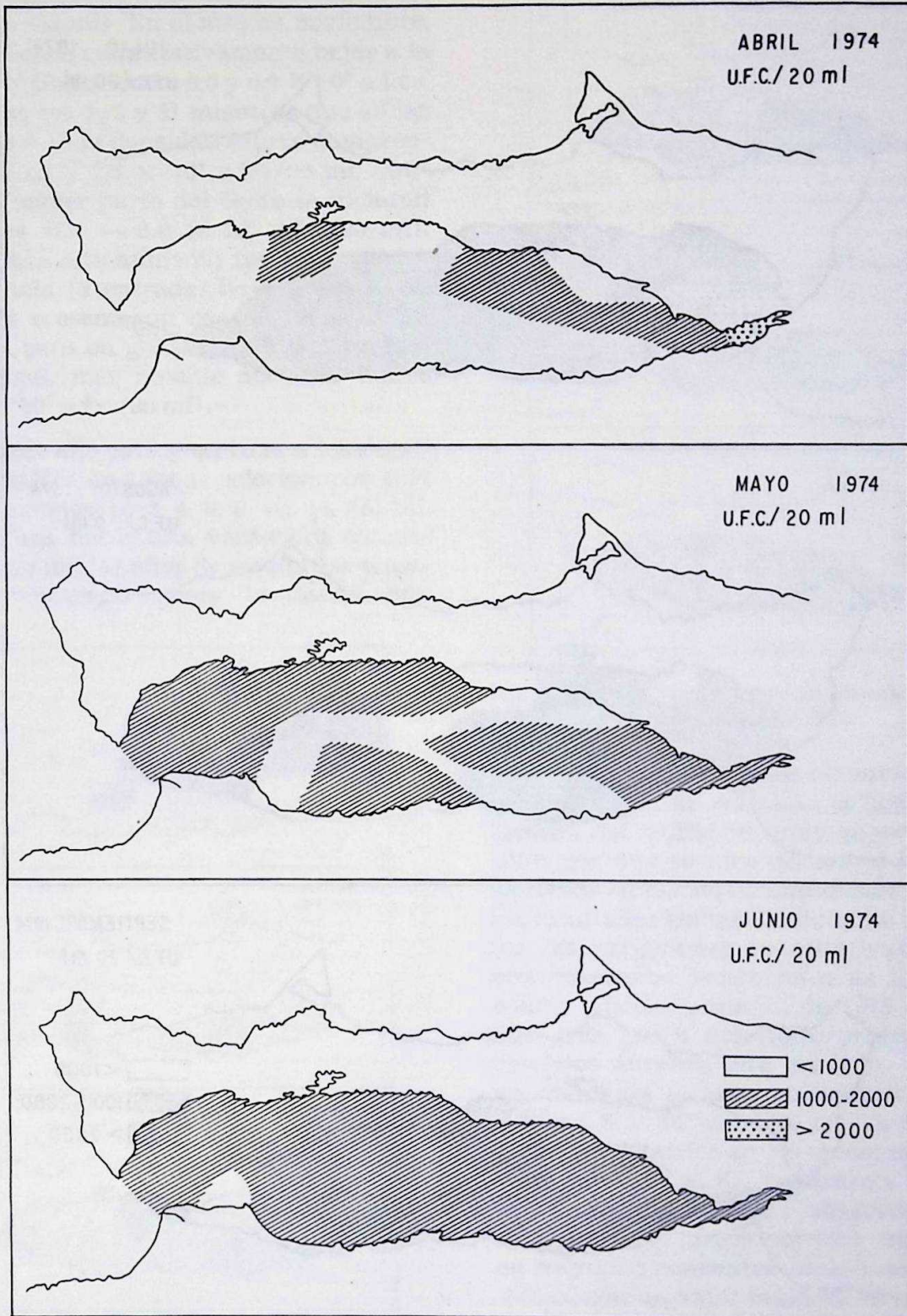


Fig. 4. Distribución cuantitativa de las bacterias heterotrofas en abril, mayo y junio de 1974.

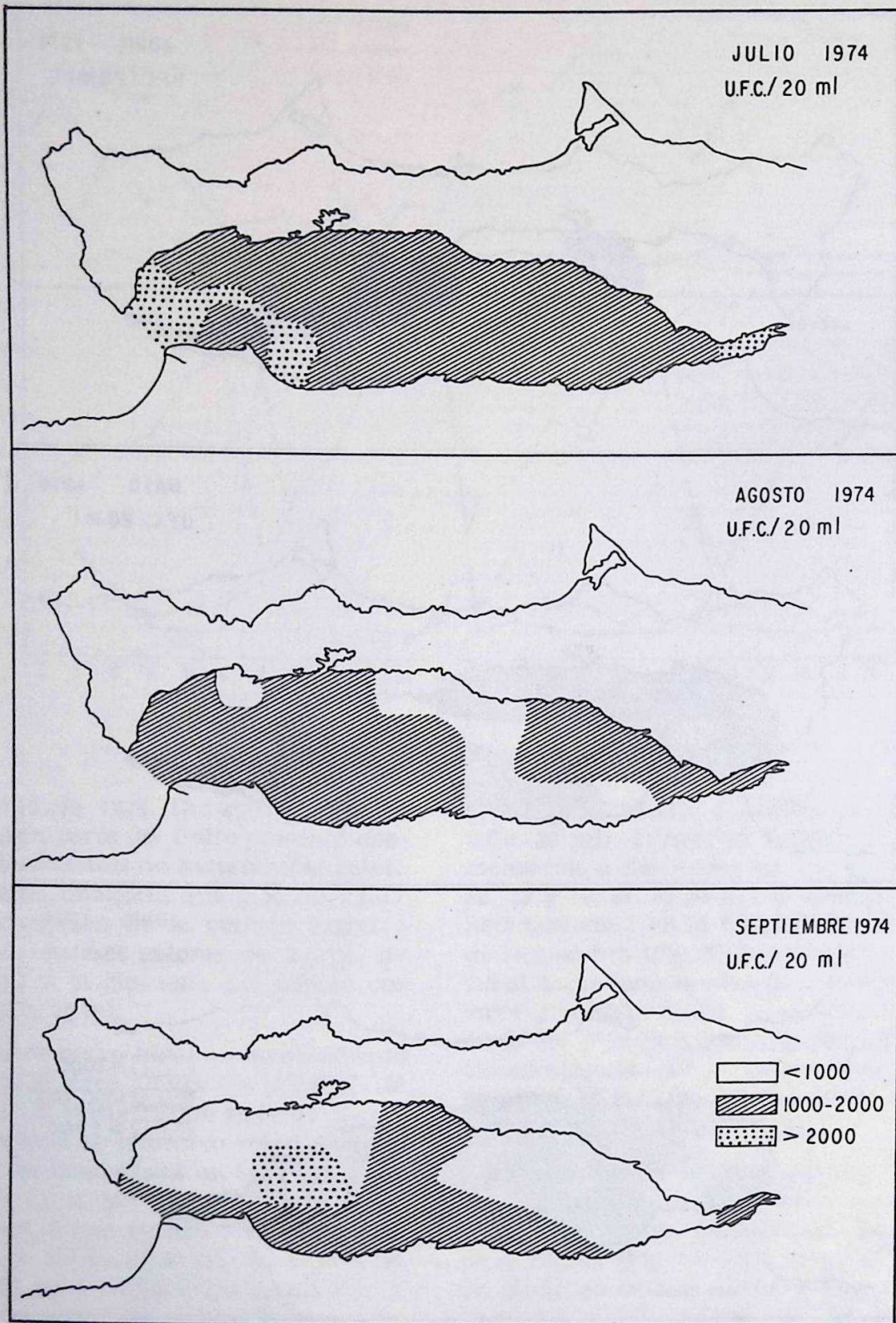


Fig. 5. Distribución cuantitativa de las bacterias heterotrofas en julio, agosto y septiembre de 1974.

a excepción de una pequeña porción central, (est. 9) que mostró densidades medias ($1,5 \times 10^3$ u.f.c./20 ml). En el mes de noviembre, se mantuvieron cuantitativamente bajas a la entrada del Golfo (entre $0,5$ y $0,9 \times 10^3$ u.f.c./20 ml en las est. 1, 2 y 3) mientras que en las est. 6, 7, 15 y 16 la densidad estuvo comprendida entre $1,1$ y $1,5 \times 10^3$ u.f.c./20 ml, aunque en la mayor parte del Golfo se hicieron más densas ($2,4 - 3,9 \times 10^3$ u.f.c./20 ml). En diciembre este aumento también se hizo notable hacia la entrada. En las est. 9, 10, 15 y 16, se presentaron concentraciones intermedias, pero en general este mes mostró el incremento más notable del área (entre $1,7$ a $4,0 \times 10^3$ u.f.c./20 ml).

Durante el año 1975 y en base a los resultados obtenidos en 1974 se seleccionaron sólo nueve estaciones (2, 3, 4, 8, 9, 10, 14, 15, 16) (Fig. 1). Para hacer una verdadera comparación entre los dos años de estudio, se tomaron en consideración, para la distribución

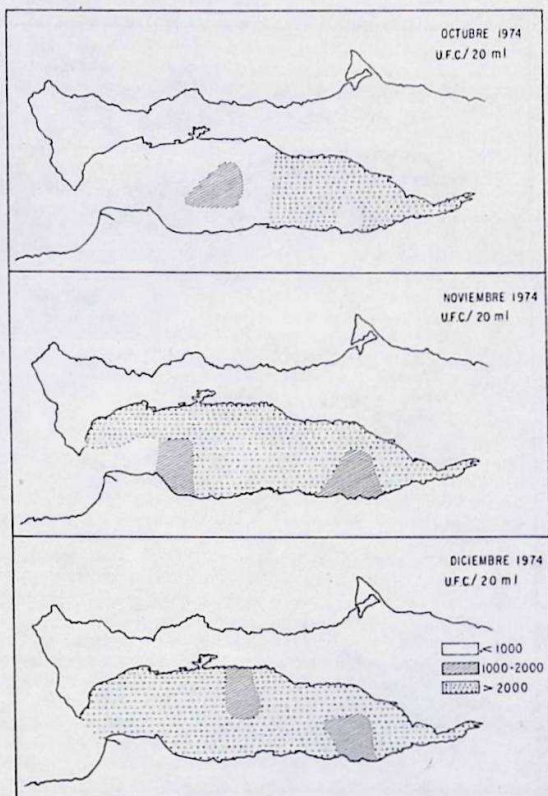


Fig. 6. Distribución cuantitativa de las bacterias heterotrofas en octubre, noviembre y diciembre de 1974.

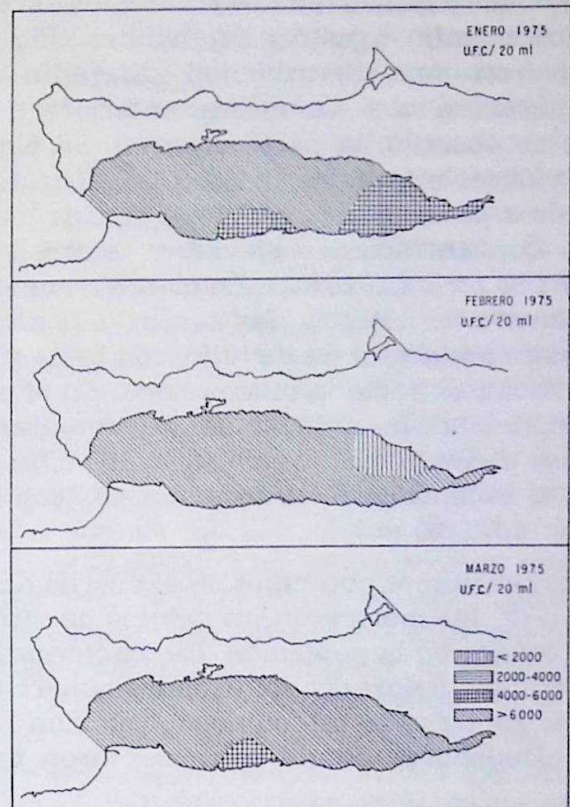


Fig. 7. Variación cuantitativa de las bacterias heterotrofas en enero, febrero y marzo de 1975.

horizontal, los resultados obtenidos a 50% de luz incidente. En este año la población bacteriana del Golfo fue muy superior a la de 1974, por ello se hizo necesario cambiar los símbolos en las representaciones gráficas de los resultados bacteriológicos. La Fig. 7 muestra las variaciones cuantitativas de los microorganismos heterotrofos en los meses de enero, febrero y marzo de 1975. Se observó que gran parte del Golfo presentó valores elevados durante este período, alcanzando en casi toda el área concentraciones superiores a 6×10^3 u.f.c./20 ml. La distribución de las poblaciones en los meses de abril, mayo y junio (Fig. 8), mostraron las mismas características que las observadas en los tres primeros meses del año. Sin embargo, en mayo, las concentraciones fueron más elevadas, con un valor máximo en la estación 2 de $8,9 \times 10^3$ u.f.c./20 ml. En junio en la est. 14 hubo un descenso poblacional que alcanzó

a $2,9 \times 10^3$ u.f.c./20 ml. Los resultados encontrados en julio, agosto y septiembre (Fig. 9) mostraron una distribución diferente en comparación con los meses anteriores. En julio se observó, la parte oriental del Golfo con valores más bajos ($2,8$ a $3,6 \times 10^3$ u.f.c./20 ml) a pesar de que casi toda el área mantuvo concentraciones elevadas (entre 5×10^3 y 1×10^4 u.f.c./20 ml). En el mes de agosto el número de heterotofas conservó características similares a las de julio, con bajas concentraciones hacia la misma zona. En el mes de septiembre las poblaciones se presentaron menos densas en el área ($0,3 \times 10^3$ u.f.c./20 ml), a excepción de la estación 16 (con $1,1 \times 10^3$ u.f.c./20 ml).

Los resultados obtenidos en el mes de octubre (Fig. 10) mostraron un cambio cuantitativo brusco en la población. Las bacterias heterotofas alcanzaron densidades superiores a 5×10^3 u.f.c./20 ml; menos la estación 15 y sus alrededores donde se presentaron con-

centraciones de $2,2 \times 10^3$ u.f.c./20 ml y a la entrada del Golfo (est. 2 y 3) en las cuales las densidades poblacionales continuaron bajas, entre $0,2$ y 1×10^3 u.f.c./20 ml. En noviembre (Fig. 10), la zona con densidades medias se volvió más pequeña (4 a 6×10^3 u.f.c./20 ml) ocupando la parte nor-central del Golfo. Hacia la porción sur-oriental del mismo las concentraciones bacterianas se presentaron un poco más bajas (est. 2, 3, 8 y 16 con $2,5 \times 10^3$ u.f.c./20 ml) y hacia el Este se encontraron las poblaciones menos densas (est. 14 y 15).

En diciembre (Fig. 10) hubo gran incremento de heterotofas hacia el Norte del Golfo, la mayor densidad se observó en la est. 10 con 9×10^3 u.f.c./20 ml. El sector con menores concentraciones fue más amplio y abarcó las est. 3, 8, 9 y 14. En las partes sur-oriental y suroccidental se presentaron densidades medias (mayores que 4×10^3 u.f.c./20 ml).

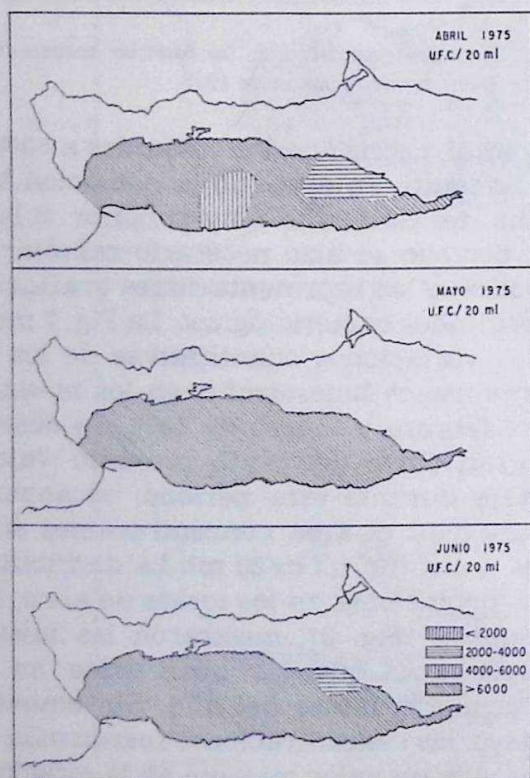


Fig. 8. Variación cuantitativa de las bacterias heterotofas en abril, mayo y junio de 1975.

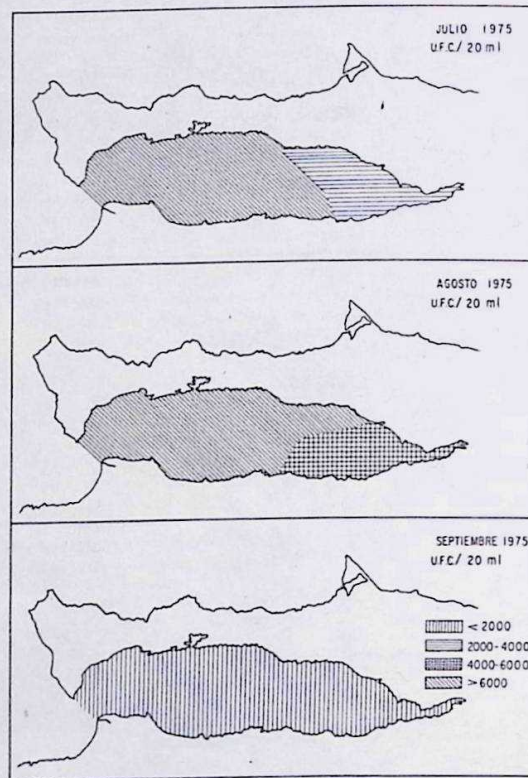


Fig. 9. Distribución cuantitativa de las bacterias heterotofas en julio, agosto y septiembre de 1975.

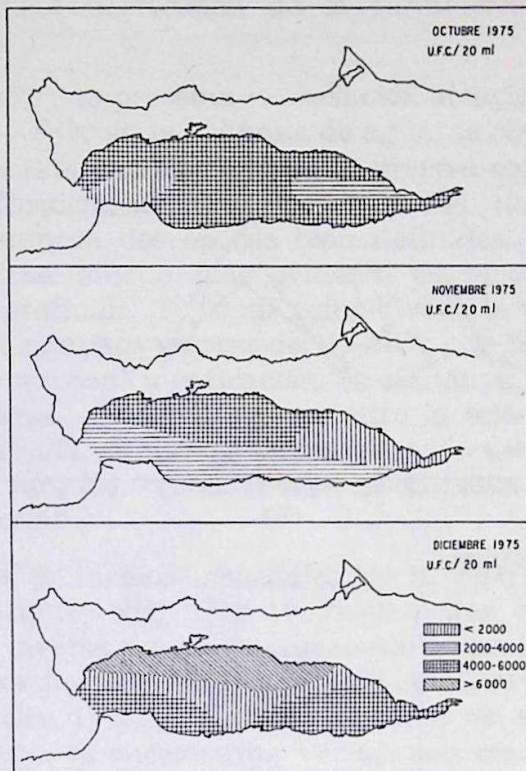


Fig. 10. Variación cuantitativa de las bacterias heterotrofas en octubre, noviembre y diciembre de 1975.

Debido a que durante el año 1975 las observaciones mensuales se realizaron a tres profundidades diferentes (en base a distintos porcentajes de la luz incidente), se integró la columna de agua y posteriormente se calculó la concentración de las bacterias heterotrofas presentes en un metro cuadrado de esa columna (Fig. 11). Se distinguieron dos épocas muy bien definidas en 1975; una que abarcó desde enero hasta agosto inclusive, con una mayor densidad bacteriana y la segunda de septiembre a diciembre del mismo año, con una población cuantitativamente baja en comparación con la primera.

Durante el mismo período (1974-1975) en la est. 22 (Fig. 1) se estudió la distribución vertical de poblaciones bacterianas específicas y otros parámetros, cubriendo así la segunda parte de nuestros resultados.

Debido a la situación topográfica del Golfo de Cariaco, se presenta una marcada diferencia en las condiciones hidroquímicas entre las capas superiores e inferiores separadas por la zona de la termoclina que se desarrolla en la capa de 40-60 m de profundidad durante la época de estancamiento de la masa de agua. Como consecuencia de esta situación, separamos la columna de agua (0-90 m) en dos capas, una de 0-50 m, con la presencia permanente de oxígeno disuelto y la otra de 60-90 m en la cual existen ciertas condiciones de preanoxia y anoxia durante algunos meses del año. En la (Fig. 12) se muestran los resultados de la nitrificación bacteriana en las dos capas. Durante 1974, en la capa de 60-90 m, se observaron dos períodos bien delimitados: el primero que comprendió los meses de enero a junio con valores bastante bajos en relación al segundo, el cual presentó valores elevados (julio-noviembre) especialmente en el mes de julio con $2,10 \mu\text{g at N-NO}_2^-/1$. En la capa de 0-50 m no se observaron bien demarcados como en la anterior los dos períodos, pero sin embargo existió la misma tendencia; al parecer la segunda mitad del año mostró ser más activa que la primera.

En 1975 no se encontró el mismo patrón y los promedios no mostraron una variación mensual muy marcada como en el año anterior; aunque en el mes de julio se presentaron los valores más elevados en las dos capas ($0,96 \mu\text{g at N-NO}_2^-/1$ en la capa de 0-50 m y $1,6 \mu\text{g at N-NO}_2^-/1$ en la de 60-90 m). Es conveniente señalar que en esta oportunidad no se estudiaron las poblaciones de bac-

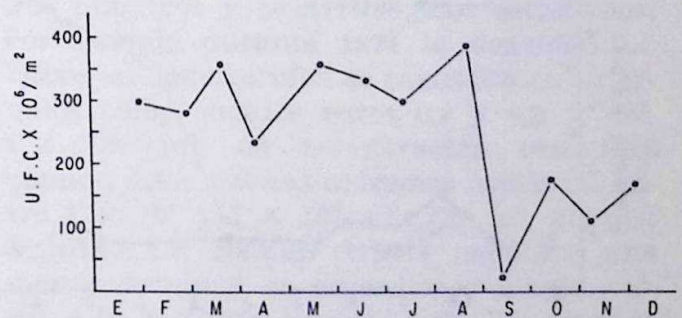


Fig. 11. Bacterias heterotrofas por m² de la masa de agua en 1975.

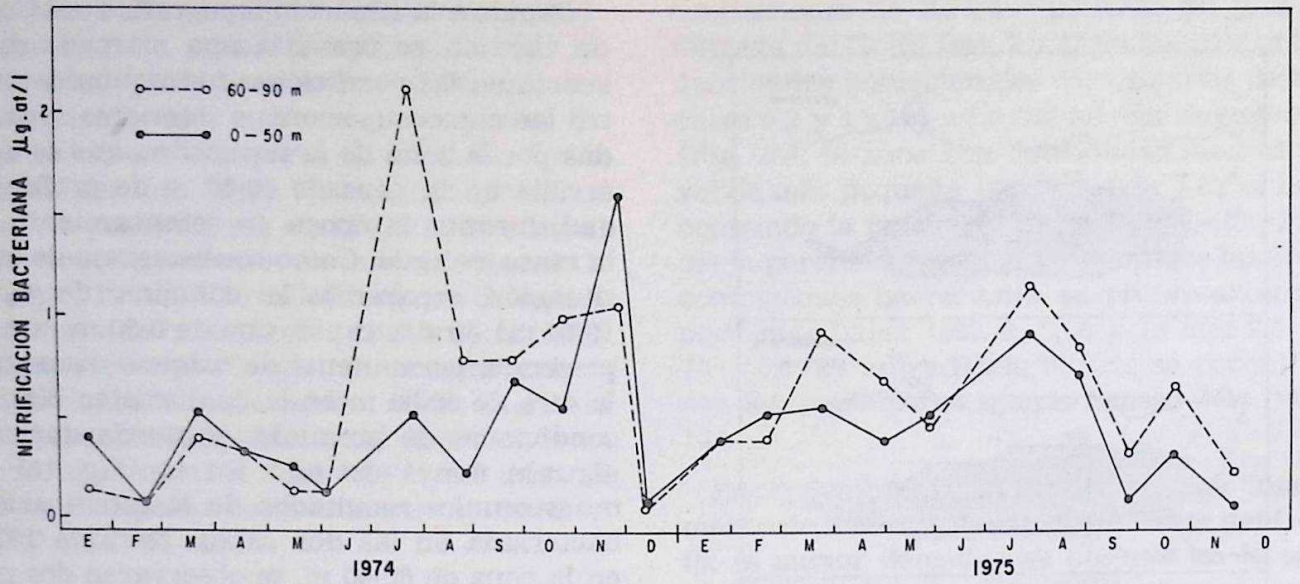


Fig. 12. Nitrificación bacteriana.

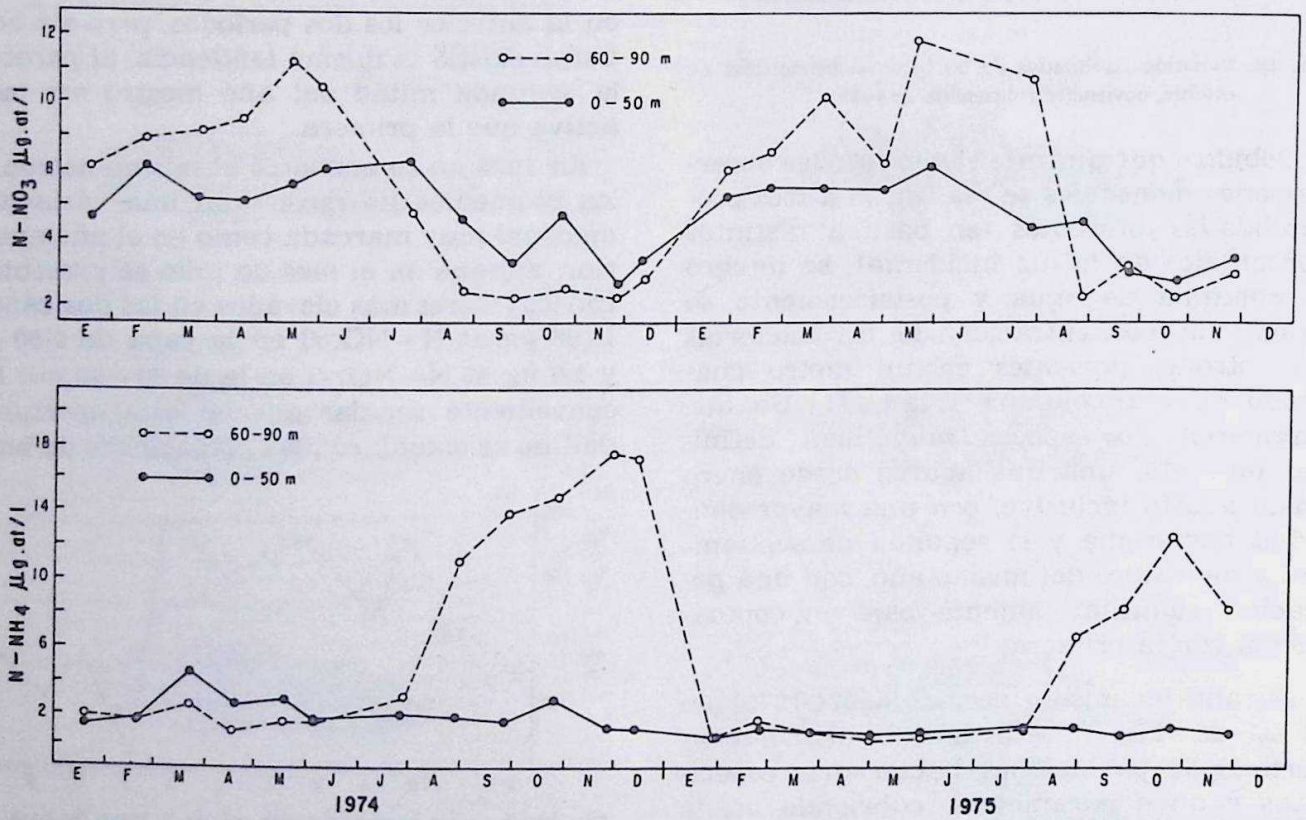


Fig. 13. Distribución vertical de nitrato (N-NO₃⁻) y amonio (N-NH₄⁺).

terias nitrificantes sino que se evidenció su actividad en función de la formación de NO_2^-

La Fig. 13 presenta la variación estacional de $\text{N}-\text{NO}_3^-$ en la columna de agua; se observó en 1974 una cierta relación inversa con la nitrificación; al igual que en la Fig. 12, se presentaron dos épocas bien definidas, haciéndose mucho más evidente en la capa más profunda (60-90 m) coincidiendo la época de mínimos valores de $\text{N}-\text{NO}_3^-$ con la de máximos en nitrificación bacteriana. Sin embargo, en 1975 no se encontró la relación observada en 1974, ya que no se presentó una variación apreciable de la nitrificación bacteriana.

Los promedios mensuales de la distribución de $\text{N}-\text{NH}_4^+$ (Fig. 13) revelan una relación inversa con las fluctuaciones en las concentraciones de $\text{N}-\text{NO}_3^-$. Como una característica de la zona, en los dos años de estudio sólo se encontraron variaciones marcadas en la capa más profunda (60-90 m); las concentraciones más bajas en 1974 se observaron durante los primeros meses (enero a junio) y las más elevadas de agosto a diciembre. En la capa de 0-50 m prácticamente no hubo variaciones apreciables.

En 1975 la variación en la capa de 60-90 m fue similar al año anterior, pero con menores concentraciones y un descenso considerable en el mes de noviembre. La capa de 0-50 m no presentó variaciones apreciable y como se puede ver, fueron menos notables que en 1974.

Para continuar con la misma uniformidad en la presentación de los resultados, se dividió en dos capas la distribución vertical de las bacterias heterótrofas (Fig. 14) a pesar de que el desarrollo de estos microorganismos, como se puede observar, no mostró ninguna relación aparente con los parámetros químicos estudiados. En 1974 la variación estacional de la población fue muy similar en las dos capas. En 1975 se notó igualmente una cierta semejanza en los valores prome-

dios de las dos capas, pero con fluctuaciones mensuales muy marcadas y una densidad poblacional mucho mayor en toda la columna de agua, en relación al año anterior; este mismo fenómeno se observó en la distribución horizontal de las poblaciones bacterianas en todo el Golfo.

Las variaciones mensuales del nitrógeno orgánico sólo se obtuvieron para el año 1974 (Fig. 15); este parámetro en sus dos formas (disuelto y particulado) mostró valores relativamente altos o en ascenso de enero a julio y comenzó a disminuir a partir del mes de agosto hasta diciembre. Estas variaciones se observaron principalmente en la forma disuelta y en la capa de 0-50 m (donde se encuentran las mayores concentraciones) influenciados en gran parte por la excreción del plancton en la zona eufótica. En la segunda capa (60-90 m) los promedios mensuales se presentaron más irregulares, observándose coincidencias entre el mínimo de abril (en su forma disuelta) y un descenso visible de la población de heterótrofas en el mismo mes; además, un valor elevado en septiembre, donde se relacionan los dos parámetros (población bacteriana—nitrógeno orgánico disuelto).

DISCUSION

Las distribuciones horizontal y vertical de las poblaciones de microorganismos heterótrofos que se encuentran en el Golfo presentaron una diferencia notable entre los años 1974 y 1975, al igual que los otros parámetros químicos y bacteriológicos estudiados. Por ejemplo, durante 1974 la densidad de bacterias heterótrofas se mantuvo en intervalos comprendidos entre $0,2$ y $4,2 \times 10^3$ u.f.c./20 ml, en comparación con 1975 cuando estos valores extremos oscilaron entre 1×10^2 y 1×10^4 u.f.c./20 ml, aunque FERRAZ DE REYES (1977) encontró una menor densidad de organismos fitoplanctónicos en el Golfo durante 1975. De acuerdo con WILLIAMS & YENTSCH (1976) la excreción de materia orgánica disuelta es tanto

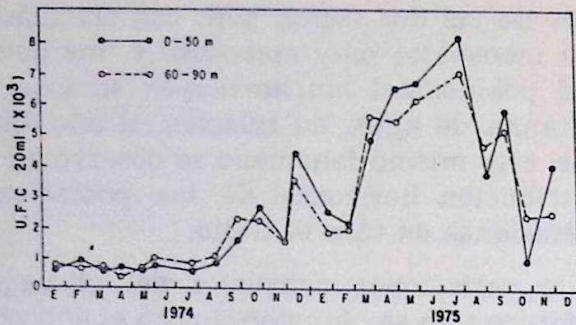


Fig. 14. Distribución vertical de las bacterias heterotrofas.

mayor cuanto menor es la tasa de fotosíntesis, lo cual podría ser una de las causas de la mayor densidad poblacional de heterotrofas durante el año 1975 en el área estudiada.

En trabajos anteriores (ZOBELL, 1946; SEKI, 1970; SOROKIN, 1971; CASTELLVI, 1975; SMITH *et al.*, 1977) establecen que las bacterias heterotrofas marinas son responsables de la degradación y mineralización de la materia orgánica, tomando parte activa

por tanto en los ciclos biogeoquímicos en el mar. Parece ser que en el transcurso de 1975 la efectividad bacteriana en la transformación del material orgánico, principalmente en las aguas superficiales del Golfo fue superior a las del año anterior. Los resultados del nitrógeno inorgánico total obtenidos durante ese mismo año lo demuestran, al encontrarse las mayores concentraciones (FERRAZ DE REYES *op. cit.*). Por otro lado, SEKI (*op. cit.*) expresa que en su gran mayoría los microorganismos marinos heterotrofos proliferan en el agua de mar con sustancias nitrogenadas inorgánicas como fuente de nitrógeno y sustancias orgánicas no nitrogenadas. En este caso se les podría considerar desempeñando un doble papel, mineralizando materia orgánica y desarrollándose a expensas de los compuestos inorgánicos como fuentes nutricionales. También pudo haber ocurrido que el aporte orgánico al Golfo fuese menor en 1975 (OKUDA, 1982, estimó que el intercambio de agua entre el

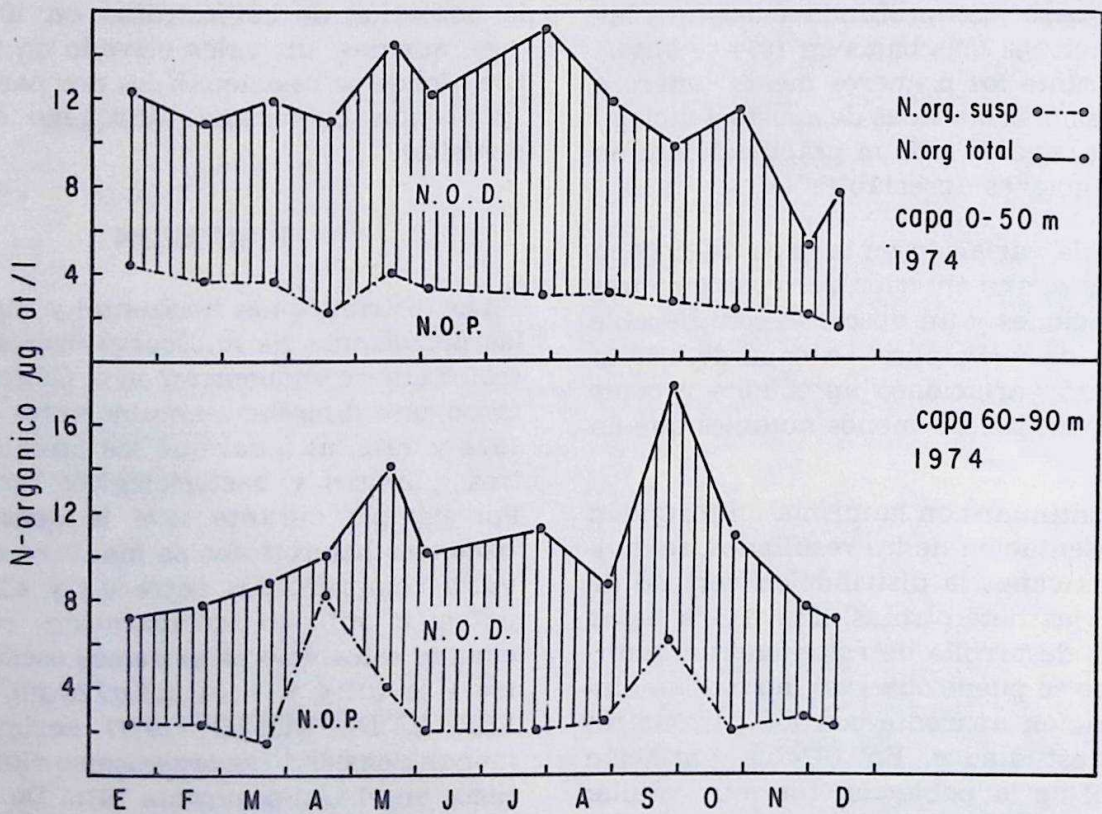


Fig. 15. Distribución vertical de nitrógeno orgánico en 1974.

interior y el exterior en 1975 fue inferior que el de 1974) y las poblaciones heterotrofas se encontraron sometidas a un régimen restringido pero de máxima eficiencia.

Tomando en consideración, que la primera parte de nuestra investigación se realizó solamente en la zona eufótica, donde se encuentra la materia orgánica disuelta proveniente principalmente de los productos de excreción de los organismos fitoplanctónicos y que prácticamente son las bacterias los únicos microorganismos capaces de incorporar esta materia orgánica disuelta como biomasa para restituir estos compuestos al sistema, se puede entender el porqué de la gran abundancia de heterotrofas en esta zona del Golfo de Cariaco. También, los meses de bajas concentraciones bacterianas coincidieron con las menores densidades de las poblaciones fitoplanctónicas en el área (FERRAZ DE REYES, 1977) especialmente notable en el mes de septiembre de 1975)

Los regímenes de los vientos influyen grandemente sobre las poblaciones bacterianas en el Golfo; además, con los fenómenos de surgencias hay renovación de las aguas en el mismo, siendo reemplazadas por las capas subsuperficiales de la Fosa de Cariaco, ricas en nutrientes orgánicos e inorgánicos. Principalmente los compuestos orgánicos van a contribuir al aumento de la productividad en la zona (RICHARDS 1960; KARL, *et. al.*, 1977), permitiendo un nuevo florecimiento de las poblaciones bacterianas en el área después de una época de agotamiento de tales nutrientes. Por ejemplo, se encontraron en los meses de calma (septiembre, octubre y en parte noviembre) las densidades poblacionales más bajas en las observaciones realizadas.

En la zona más profunda del Golfo, la distribución vertical de los parámetros químicos y bacteriológicos estudiados presentan cambios muy marcados, los cuales van a depender principalmente de la intensidad en la renovación del agua. Tales cambios se hacen

más notables hacia las capas más profundas de la columna de agua (OKUDA, *et-al.*, 1978). En la capa comprendida entre 0-50 m no se observaron estos cambios tan marcados, así que discutiremos principalmente las características tan particulares que se presentaron en la capa más profunda (60-90 m). Clásicamente se considera la nitrificación bacteriana como un proceso exclusivamente aerobio, sin embargo CARLUCCI & McNALLY (1969), comprueban experimentalmente nitrificación por bacterias marinas sometidas a bajas concentraciones de oxígeno. Asimismo en el estudio del proceso nitrificante en el Lago di Faro, (GENOVESE, *et-al.*, 1971) observaron que la acción nitrificante de las bacterias se puede presentar en aerobiosis y anaerobiosis. Bajo estas condiciones la nitrificación se manifiesta de manera más rápida que la nitratación; además expresan que en presencia de abundante materia orgánica, junto con la nitrificación autotrofa puede existir una nitrificación heterotrofa. En apariencia, esto es lo que pudo haber ocurrido en la parte sur central del Golfo de Cariaco, en la cual se observó una elevada nitrificación en la capa de 60-90 m durante el período de estancamiento. Las más elevadas concentraciones de nitrito, producto de la acción bacteriana observada en el mes de julio de 1974 fueron tal vez debidas a un proceso de reducción de nitrato como se ha observado en la Fig. 3. Aunque, efectivamente, lo que se obtiene al final del experimento, es el equilibrio resultante entre nitrificación y reducción de nitrato.

Por otro lado, con incubaciones tan prolongadas (15 días) no se puede afirmar que sea realmente esto lo que ocurre en la naturaleza. Pudo suceder también, que la actividad nitrificante de tales bacterias fuese mayor en el período de enero a junio y que durante la segunda etapa de 1974, (julio a noviembre) las altas concentraciones hayan sido ocasionadas especialmente por la reducción de los nitratos. En líneas generales, la variación del nitrato durante el proceso de desnitrificación en el Golfo de Cariaco fue

mayor que en el de la nitrificación, como se nota en la Fig. 3.

A pesar de que las determinaciones de nitrógeno orgánico solo se realizaron en el año 1974, podemos observar que las mayores concentraciones se encuentran en la capa de 0-50 m. Lógicamente por ser esta la zona eufótica, donde se realizan todos los procesos de fotosíntesis, así como también la excreción y muerte de los organismos del plancton constituyendo el nitrógeno orgánico en su forma disuelta la mayor proporción. En la capa de 60-90 m, se encuentra gran parte de la materia orgánica que no fue utilizada en los niveles superiores. La baja concentración del nitrógeno orgánico disuelto en el mes de abril coincidió con un descenso de las poblaciones heterotrofas, ya que esa materia orgánica disuelta es la que utilizan principalmente tales poblaciones para incorporarla como biomasa. Esta presencia permanente y abundante de materia orgánica hacia la capa más profunda, explica en parte porque la distribución vertical de las bacterias heterotrofas prácticamente no sufrió ninguna variación. Las concentraciones de oxígeno disuelto no tuvieron gran influencia ya que probablemente estas poblaciones se comportaron como microaerófilas o aeróbicas facultativas, modificando temporalmente sus requerimientos de oxígeno en las diferentes épocas. ZOBELL en 1940 explicó que la oxidación de la materia orgánica en el agua de mar no es influida por las concentraciones de oxígeno disuelto sino por la cantidad de materia orgánica oxidable; algo similar se observó en las capas de agua más profundas del Golfo, durante la época de estancamiento de las mismas.

La mayor densidad bacteriana en la distribución vertical, se encontró a los 60 m de profundidad, y realmente fue a este nivel donde se registraron cambios bruscos en los parámetros estudiados (correspondientes a la zona de termoclinas), por ser esta la capa divisoria entre ausencia y presencia de oxígeno disuelto.

En el año de 1975 se presentaron prácticamente las mismas variaciones observadas en 1974, pero menos pronunciadas, a excepción de las poblaciones de bacterias heterotrofas, las cuales mostraron una densidad mucho mayor que la del año anterior, variación anual que fue similar a la distribución horizontal de estos microorganismos en toda el área durante la misma época, indicando la abundancia de bacterias heterotrofas tan notables que se presentó en el Golfo. Esto concuerda con los trabajos de KRISS (1976), quien al estudiar las poblaciones bacterianas en diferentes áreas geográficas, encuentra las mayores concentraciones en las zonas tropicales en una magnitud de cinco a siete veces superior a las zonas polares.

AGRADECIMIENTOS

A los Drs. RAJAGOPALA IYER, MOLLA FAZLUL HUQ, GREGORIO REYES VASQUEZ, JOSEFINA CASTELLVI y a los profesores ELVIRA DE REYES, JOSE BENITEZ, JESUS NORIEGA y JAIME BONILLA por la gran colaboración brindada a los autores. A WILFREDO PATIÑO por su valiosísima cooperación en el campo y el laboratorio. A todo el personal auxiliar, técnico del Departamento de Oceanografía. A EPIFANIO HERNANDEZ, dibujante; LOURDES DE RIVERO y CARMEN AVILA, por el trabajo mecanográfico e igualmente a todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron posible la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- ALLEM, M. I. H. & A. NASON. 1963. Metabolic Pathways of bacterial nitrification. En "*Marine Microbiology*" C. H. Oppenheimer, (Ed.) Charles Thomas Publishers Chap. 37: 392-409. Springfield. Illinois USA.
- CARABALLO, L. F. 1982. El Golfo de Cariaco. Parte 1: Morfología y Batimetría submarina. Estructuras y Tectonismos recientes. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*. 21 (1-2): (en prensa).
- CARLUCCI, A. F. & P. M. MAC NALLY. 1969. Nitrification by marine bacteria in low concentration of substrate and oxygen. *Limnol. Oceanogr.* 14 (5): 736-739.

Población bacteriana en el Golfo de Cariaco

- CASTELLVI, J. 1975. Procesos autótrofos y heterótrofos debidos a la actividad de bacterias marinas. *Inv. Pesq.* 39 (1): 119-144.
- . 1981. Aspectos microbiológicos del estudio oceanográfico de la plataforma continental I. Planteamiento general. *Inv. Pesq.* 45 (2): 345-357.
- & E. FERNÁNDEZ 1978. Estudio microbiológico de la Fosa de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*, 17 (1-2): 9-29.
- FERRAZ DE REYES, E. 1977. Estudio sinóptico de la reproducción en aguas del Golfo de Cariaco. Tesis presentada para optar al Grado de Magister Scientiarum en Ciencias Marinas. *Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*, 58 pp.
- GADE, H. G. 1961. On the hydrographic condition in the Gulf of Cariaco during the months from May to November 1960. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*, 1 (1): 2-46.
- GENOVESE, S., V. BRUNI, M. DE FRANCESCO & A. ALOSIO. 1971. Nuovo dati sul processo nitrificante nel Lago di Faro. *Atti Soc. Peloritana S. Fis. Mat. E. Natur.*, XVII (III IV): 215-226.
- HOLM-HANSEN, O. 1968. Determination of particulate organic nitrogen. *Limnol. Oceanogr.* 13 (1): 175-178.
- HORNE R. A. 1969. Biochemistry of the oceans. En *Marine Chemistry. The structure of water and the chemistry of the hydrosphere*". Wiley Interscience. Chap. 9: 239-291. New York.
- KARL, D. M., P. A. LA ROCK & D. J. SHULTZ. 1977. Adenosine triphosphate and organic carbon in the Cariaco Trench. *Deep Sea Res.* 24 (2): 105-114.
- KATO, K. 1961. Oceanchemical studies on the Gulf of Cariaco. I Chemical and hydrographical observations in January, 1961. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*, 1 (1): 49-72.
- KRISS, A. E. 1963. *Marine Microbiology (Deep Sea)*. Traducción de Shewan J. M. y Z. Kabata Interscience Publishers. New York. 536 pp.
- . 1976. The vertical distribution patterns of heterotrophic bacteria in the depths of the world ocean and the importance of their regularity to oceanography. *Int. Revue. Ges. Hydrobiol.* 61 (4): 417-438.
- , J. E. MISHUSTINA, N. MITSKEVICH & E. V. ZEMTZOVA. 1967. *Microbial populations of Oceans and Seas*. Edward Arnold, London. 287. pp.
- MARGALEF, R. 1974. *Ecología*. Ed. Oméga. Barcelona. España, 951 pp.
- OKUDA, T., J. BENÍTEZ A., J. BONILLA & G. CEDEÑO 1978. Características Hidrográficas del Golfo de Cariaco. Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*, 17 (1-2): 69-88.
- OKUDA, T., A. GARCÍA, B. GAMBOA & E. FERNÁNDEZ, 1978. Variación estacional de fósforo y nitrógeno inorgánico en el Golfo de Cariaco, *Ibid.* 17 (1-2): 89-104.
- RICHARDS, F. A. 1960. Some chemical and hydrographic observations along the North Coast South America I. Cabo Tres Puntas to Curacao, including the Cariaco Trench and the Gulf of Cariaco. *Deep Sea Res.* 7 (3): 163-182.
- ROA, P. & F. OTTMANN, 1961. Primer estudio topográfico y geológico del Golfo de Cariaco. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente* 1 (1): 5-20.
- SEGNINI, S., K. GOCK & F. H. WEIBEZAHN. 1975. Estudio Limnológico del Embalse de Lagartijo. Estado Miranda, Venezuela. Distribución espacial y variación estacional de las bacterias heterótrofas del Embalse de Lagartijo. Informe presentado al Inst. Nac. Obras Sanit., Univ. Cent. Venez. 39 pp.
- SEKI, H. 1965. Studies on Microbial participation to food cycle in the sea. II. Carbohydrates as the only organic source in the microcosm *Oceanogr. soc. Japan* 20 (6): 278-285.
- . 1970. Microbial biomass on particulate organic matter in sea water of the euphotic zone. *App. Micro.* 19 (6): 960-962.
- SMITH, W., R. BARBER & HUNTSMAN. 1977. Primary Production of the coast northwest Africa excretion of dissolved organic matter and its heterotrophic uptake. *Deep Sea Res.* 24 (1): 35-48.
- SOROKIN, Y. I. 1971. En "A Manual on methods for measuring primary Production in Aquatic Environments". Richards A. Vollenweider ed. I.B.P. Handbook Nº 12 Blackwell Scientific Publications. Chap. 4: 128-146 Oxford.
- STRICKLAND, J. D. H. & T. R. PARSONS. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull.* 167, *Fish. Res. Bd. Can.* Ottawa.
- VACCARO, R. F. & H. W. JANNASCH. 1966. Studies on heterotrophic activity in sea water based on glucose assimilation, *Limnol. Oceanogr.* 11 (4): 596-607.
- WILLIAMS, P. J. & S. YENTSCH. 1976. An examination of photosynthetic production, excretion of photosynthetic products and heterotrophic utilization of dissolved organic compounds With reference to results from coastal subtropical sea. *Mar. Biol.* 35: 31-40.
- WOOD, E. J. F. 1967. *Microbiology of Oceans and Estuaries*. Elsevier Oceanography Series. Amsterdam, London, New York 3: 319 p.
- YOSHIDA, Y. 1967. Studies on the marine nitrifying bacteria: with especial reference to characteristics and nitrite formation of marine nitrite formers. *Bull. Misaki Mar. Biol. Inst. Kyoto University*. 11: 1-58.
- ZOBELL, C. E. 1940. The effect of oxygen tension on the rate of oxidation of organic matter in sea water by bacteria. *Mar. Res.* 3: 211-223.
- . 1946. *Marine Microbiology*. Chronica Botanica Waltham Mass. 240 pp.

(Manuscrito recibido el 14 de noviembre de 1985).