

LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA DEEL FITOPLANCTON E HIDROGRAFIA DEL GOLFO DE PARIÁ, VENEZUELA, DURANTE LA ESTACION DE LLUVIAS

A. G. MOIGIS & J. BONILLA R.

Instituto Oceanográfico, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela

RESUMEN: En el presente trabajo se publican los resultados de mediciones de productividad primaria del fitoplancton hechas en relación con las condiciones hidrográficas según datos obtenidos en el Golfo de Paria durante la estación de lluvias, en el mes de octubre de 1984. Los resultados señalan para esa época del año una gran productividad, con tendencia al incremento hacia la desembocadura de los tributarios fluviales. La producción primaria mostraba valores entre 0.2 y 5.7 gC.m⁻². d⁻¹ y las concentraciones de clorofila, igualmente integradas hasta la profundidad de compensación oscilaban entre 5.9 y 62.8 mgC.m⁻². d⁻¹. Con dichos datos se calculó tasas de crecimiento, las cuales oscilaban entre 0.5 y 1.7 d⁻¹. El nivel trófico primario solamente mostraba una relación significativa con el nitrógeno inorgánico, y se observó también una correlación muy significativa entre la relación N/P de los nutrientes y la salinidad. La evaluación de los datos de temperatura y salinidad señalan la presencia de tres masas de agua, una superficial (de origen limnica), una intermedia y una profunda (ambas de origen marino). La masa intermedia, que se interpone entre las otras dos, se evidencian principalmente en las dos Bocas —Serpientes y Dragón— y desaparece gradualmente en el mismo Golfo de Paria, en la dirección de los tributarios. Por medio de cálculos indirectos se mostró, que los tributarios eran las principales fuentes de aporte de nutrientes a la capa eufótica, indicando así, la gran influencia limnica existente sobre la productividad primaria del fitoplancton del Golfo de Paria para la época de lluvias.

ABSTRACT: The present work deals with results of primary production measurements of the phytoplankton in the Gulf of Paria in relation to hydrographic factors based on data obtained during the rainy season in October 1984. The results showed great productivity in this season, with a tendency to increase towards river mouths. Primary production values ranged between 0.2 and 5.7 gC.m⁻². d⁻¹, and the corresponding integrate chlorophyll concentration values were between 5.9 and 62.8 mg.m⁻². Form these data, growth rates of phytoplankton were calculated, which oscillated between 0.5 and 1.7 d⁻¹. The primary trophic layer showed a significant relation with the inorganic nitrogen, and a high significant correlation was observed between the N/P ratios of the dissolved nutrients and the salinity. The evaluation of the temperature-salinity data showed the evidence of 3 water masses in the area, a surface mass (on limnic origin), an intermediate and a deep water mass (both of marine origin). The intermediate water mass, that was located between the other two water masses, was very evident in the areas of the both mouths —Serpientes and Dragon—, and it had a tendency to gradually disappear towards the tributaries in the proper Gulf of Paria. By indirect calculation, it could be shown, that the major nutrient source to the eufotic layer in the Gulf Paria was the river discharge, indicating this on the limnic influence of the phytoplankton productivity during the rainy season.

INTRODUCCION

Hasta el presente poco se ha estudiado acerca de la productividad primaria del fitoplancton e hidrografía del Golfo de Paria, entre Trinidad, Venezuela y sus entradas en las Bocas de Serpientes y Dragón. Con relación a la productividad primaria sólo fue publicado hasta el presente dos mediciones hechas en noviembre 1964 (150 mgC.m⁻².

d⁻¹) y en mayo 1965 (396 mgC.m⁻².d⁻¹) por BALLESTER & MARGALEF (1965). Investigaciones, que describen la hidrografía del Golfo de Paria fueron realizados por VAN ANDEL & POSTMA (1954), GADE (1961), OKUDA (1971) ha señalado las características hidrográficas del Golfo para el período de transición durante el mes de diciembre 1968. OKUDA (1974) compara los datos obtenidos por los autores antes men-

cionados. El trabajo más reciente fue publicado por BONILLA (1977) ,e incluye las características químicas del sedimento en el Golfo.

El presente trabajo muestra los resultados de determinación de la producción primaria e hidrográfica realizadas durante el crucero /GII 8402 a bordo del buque oceanográfico "Guaiquerie II" en el Golfo de Paria durante el mes de octubre de 1984, correspondiente la estación de lluvias.

MATERIAL Y METODOS

La producción primaria del fitoplancton natural del Golfo de Paria se midió con el método de incorporación del radiocarbono de STEEMANN NIELSEN (1952). En el presente estudio fue inyectado en cada botella de incubación de aproximadamente 100 ml 4 uCi bicarbonato marcado (C^{14} , obtenidas de la Agencia Danesa). En el cálculo de la producción primaria se promedió los valores de dpm obtenidos en dos botellas claras y se le restó el valor dpm obtenido en una botella oscura.

La incubación de las muestras se realizó a bordo del buque con el método de in-situ simulado (Fig. 1). Este método simula las intensidades de la luz natural de las profundidades originales de donde se tomaron anteriormente las muestras con botellas opacas de Niskin. Para esta finalidad se usa-



Fig. 1. Incubación *in situ* simulado a bordo del barco durante el presente crucero.

ron mallas de definida transmisión de luz, que envolvían las dos botellas claras. La transmisión de luz de las mallas que fue determinadas anteriormente en el laboratorio, y se obtuvo las siguientes combinaciones: 100% (sin malla), 59%, 35%, 20%, y 1%. Las correspondientes profundidades ópticas fueron calculadas a partir de la profundidad de SECCHI, usando para ello las fórmulas de POOLE & ATKINS (1929):

$$(1) 1.7 = k \times D_s \quad k = \text{Extinción total de la luz en el agua.}$$

D_s = Profundidad de Secchi en metros.

y la fórmula (2):

$$(2) I_z = I_0 \times \exp. (-k \times z) \quad I_z = \text{Intensidad de luz en la profundidad } z)$$

I_0 = Intensidad de luz en la superficie.

Se usó en la incubación descrita un sistema de flujo continuo de agua superficial para poder mantener aproximadamente la temperatura in-situ. La fuente de luz era natural. El tiempo de incubación fue limitado en la mayoría de los casos a 3,5 horas. El radioisotopo incorporado fue medido con un contador de centelleo (marca Packard). La producción primaria fue calculada usando la fórmula de GARGAS (1975). De las mismas profundidades ópticas antes mencionadas se determinó además las concentraciones de clorofila por el método de LORENZEN (1967).

La figura 2 señala el área de muestreo y las posiciones de las estaciones 1, 9, 11, 18, 24, 27 y 29, donde se determinó la producción primaria e hidrografía, además de las estaciones 26 y 30, donde sólo se describió lo último.

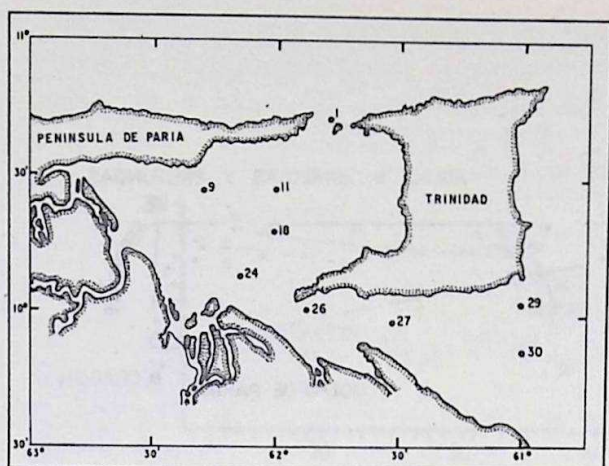


Fig. 2. Mapa del área de muestreo con la ubicación de las estaciones.

Los datos hidrográficos (temperatura, salinidad y sales nutrientes) fueron determinados en profundidades diferentes a las anteriores, que fueron definidas de estación a estación. La temperatura se midió con termómetros de inversión, la salinidad se determinó con un salinómetro inductivo y las sales nutrientes (amoníaco, nitrito, nitrato y fosfato disuelto) fueron determinados por los métodos descritos por STRICKLAND & PARSONS (1968). En la evaluación de los datos obtenidos se calculó la densidad de agua a partir de la temperatura y salinidad, usando para ello la fórmula empírica del International Oceanographic Tables (1973) (vol. 2).

RESULTADOS

HIDROGRAFIA

La figura 3 muestra en un diagrama general t-s (temperatura - salinidad) la distribución de los datos obtenidos de todas las profundidades de las estaciones antes mencionadas. En el diagrama se distingue 3 masas de agua con los siguientes rangos de temperatura y salinidad:

	Superficial	Intermedia	Profunda
t / °C	28 — 30	27 — 39	23 — 25
s x 10 ⁻³	10 — 16	34 — 37	34 — 37

La figura 4 muestra el diagrama t-s para cada estación. Se puede observar a todo lo largo de la Boca de Serpientes y en la Boca de Dragón la masa de agua intermedia, mientras la masa profunda se evidencia en toda el área de muestreo.

En la entrada de la Boca de Serpientes (estación 29 y 30) se puede apreciar nítidamente las tres masas de agua antes mencionadas, una superficial (0—10 m), una intermedia a los 10—20 m y la profunda a los 30—50 m (fig. 4). Se puede deducir observando dichos diagramas que el proceso de mezcla turbulenta entre tres masas de agua se encuentra en una etapa inicial, lo que sugiere que el origen de la masa intermedia debería encontrarse cerca de dichas estaciones. El cruce de las tangentes por ambos flancos de la curva t-s, que indica la temperatura y salinidad de origen de la masa intermedia, marca una temperatura de 28°C y una salinidad de 36.1×10^{-3} . Dicho cruce en la figura 3 indica una temperatura ligeramente mayor de 29.0°C y una salinidad de 36.3×10^{-3} .

A medida que se avanza por la Boca de Serpientes hacia el propio Golfo de Paria, se observa que la masa intermedia se hace menos apreciable. De esto se deduce, que la antes mencionada mezcla turbulenta haya experimentado un incremento. Dicha masa es solamente apreciable en el propio Golfo en la estación 18 (fig. 4). En la estación 1 (Boca de Dragón) se evidencia también dicha masa intermedia, pero ya desaparece en la estación 11 más al sur. En las demás estaciones del propio Golfo de Paria, los diagramas t-s muestran una típica recta de mezcla de dos masas de agua (fig. 4). OKUDA (1974) había hecho la misma observación, de que la masa intermedia no se evidenciaba en el Golfo de Paria para la época de lluvias.

La masa de agua profunda posiblemente se pueda relacionar con la contracorriente de origen marino, que siempre es observado

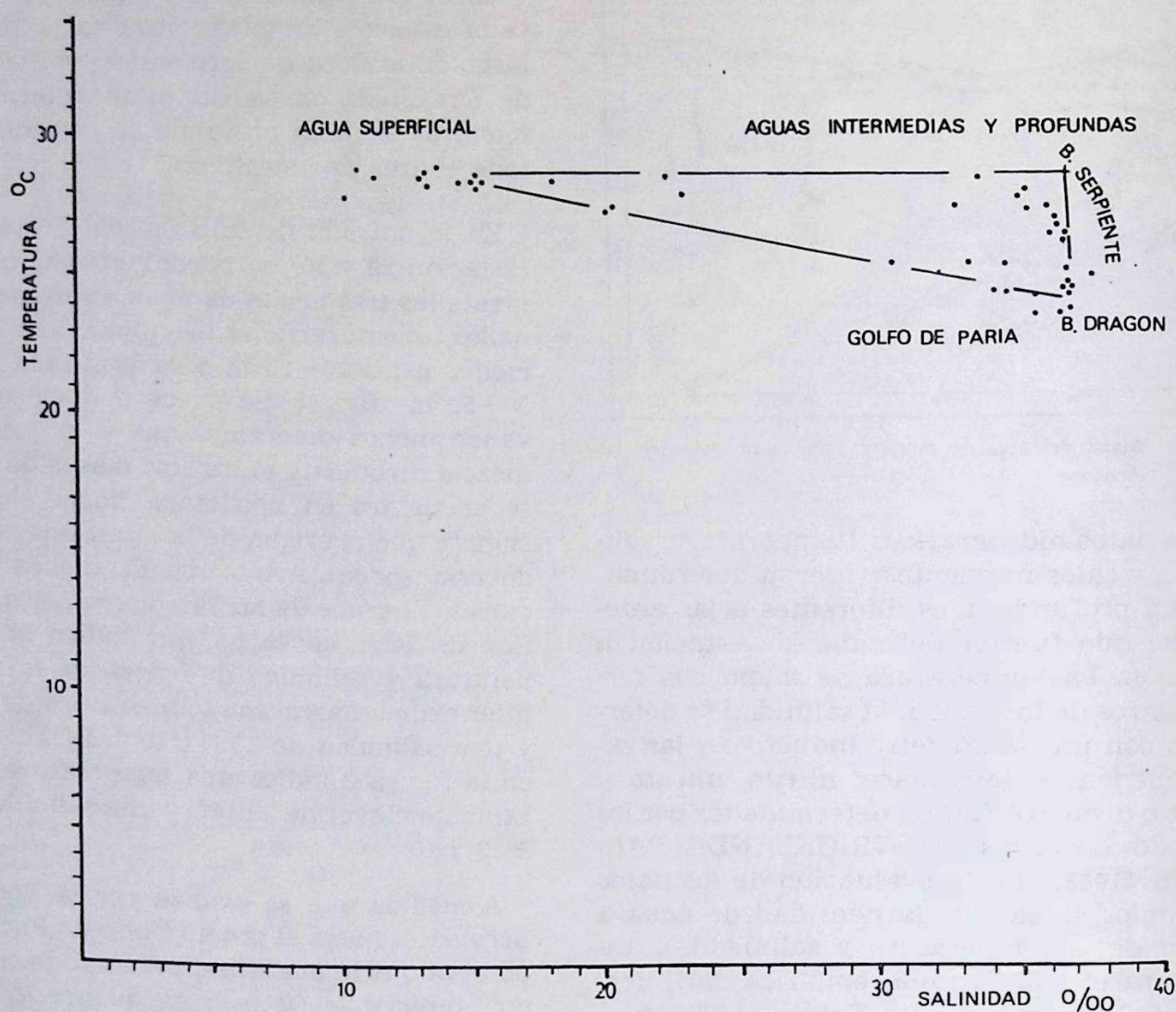


Fig. 3. Diagrama de temperatura-salinidad (t-S) para todas las estaciones.

en los estuarios (e.g. REID 1961; BOWDEN 1967). La figura 5 muestra la distribución de las isohalinas en un transecto norte sur, desde la estación 1 (Boca de Dragón) hasta la estación 24 (frente al caño Manamo). En ella se observa una masa salina de origen marino que se introduce hacia la desembocadura del caño por las capas inferiores, indicando ésto un transporte o circulación de agua de origen marino en esa dirección (flecha inferior), que es contraria a la dirección del transporte fluvial y superficial mar afuera (flecha superior). De las distribuciones verticales de la salinidad para cada estación, se puede observar en los diagramas t-s, que

al Golfo de Paria se le puede clasificar según BOWDEN (1967) como un estuario del tipo 2 ("two layer flow with entrainment"). Dichas contracorrientes se relacionan con un aporte de sales nutrientes de origen marino a los estuarios.

ELEMENTOS NUTRITIVOS

Se calculó el promedio de las concentraciones de las sales nutrientes de dos capas de agua definidas de la manera siguiente:

Capa superior, desde la superficie hasta el máximo de gradiente de densidad del agua.

La productividad primaria del fitoplancton e hidrografía del Golfo de Paria

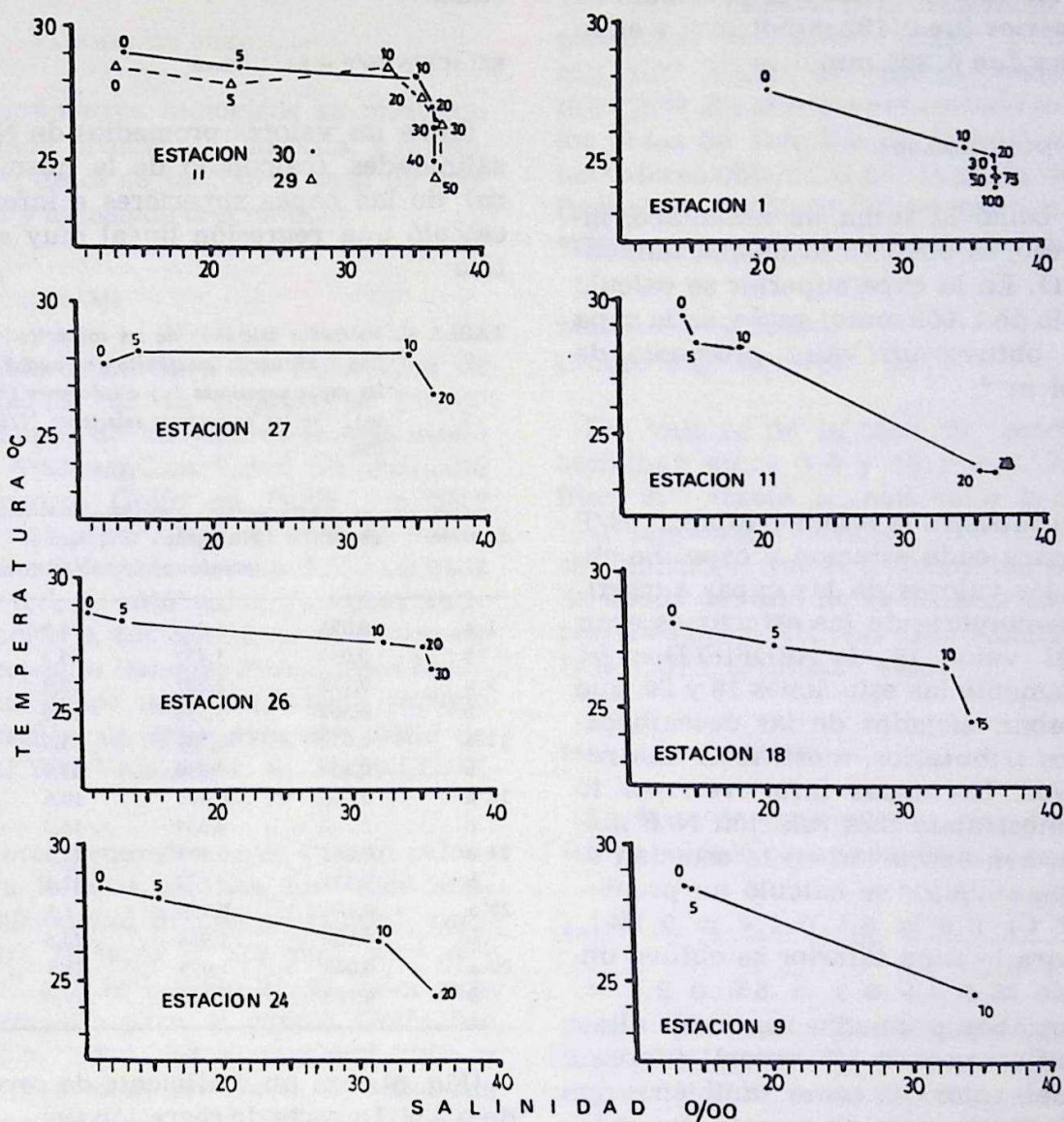


Fig. 4. Diagrama de temperatura-salinidad (t-S) para cada estación. Los números indican las profundidades.

Capa inferior, desde el máximo de gradiente de densidad del agua hasta la máxima profundidad de dicha estación.

El gradiente de densidad del agua fue calculado de la manera siguiente:

$$(3) \text{ gradiente} = [\sigma_t(z + \Delta Z) - \sigma_t(z)] / \Delta z$$

donde $\sigma_t(z)$ es la densidad en la profundidad z y Δz es incremento de la profundidad z .

El promedio de las concentraciones fue calculado dividiendo el valor integrado (calculado para cada capa) por el intervalo de dicha capa.

FOSFATO DISUELTO

Se observa una mayor concentración de fosfato disuelto en la capa inferior que en la capa superior (tabla 1). El valor promedio en la capa superior fue $0.132 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-3}$ y en la capa inferior fue $0.205 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-3}$.

COMPUESTOS NITROGENADOS

Definido como la suma de amoníaco, nitrato y nitrito, se observa la misma tendencia (tabla 1). En la capa superior se calculó un promedio de $1.009 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-3}$ y en la capa inferior se obtuvo un valor promedio de $4.199 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-3}$.

RELACION N/P

La tabla 1 muestra la relación atómica N/P calculado para cada estación y capa. Se observa que los valores de las capas superficiales en la mayoría de las estaciones eran menores al valor 16 de REDFIELD *et al.* (1963). Solamente las estaciones 18 y 29, que se encontraban alejadas de las desembocaduras de los tributarios, mostraban una relación mayor. Las capas inferiores, por lo contrario, mostraban una relación N/P menor que 16, con excepción en la estación 9. Para la capa superior se calculó un promedio de 12,7 (+ 0.6 = 5% ó 1.4 = 0.1%), mientras para la capa inferior se obtuvo un promedio de 25.0 (+ 0.9 = 5% o 2.2 = 0.1%). Ambos promedios son muy altamente significativos (0.1% error) diferentes tanto del valor 16 como también uno del otro. Tomando esto en cuenta, se concluye que, para las capas superiores los compuestos nitrogenados son considerados las sales nutrientes limitantes para el fitoplancton, mientras para las capas inferiores es el fosfato. De la relación N/P tal vez sea posible diferenciar las aguas con influencia marina de las aguas con influencia límnic. De esto se podría llegar a la conclusión de que, en las estaciones 18 (centro del Golfo de Paria) y 28 (sureste de Trinidad) la influencia

límnic en las capas superiores se encuentra reducida, mientras en la estación 9 la capa inferior se encuentra muy "diluida" por el aporte fluvial de los tributarios cercanos.

RELACION N/P - SALINIDAD

Entre los valores promedios de N/P y las salinidades (calculado de la misma manera) de las capas superiores e inferiores se calculó una regresión lineal muy significativa

TABLA 1. Promedio calculado de las concentraciones de fosfato y nitrógeno inorgánico (en $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-3}$) para las capas superiores (a) e inferiores (b) (ver texto), con las respectivas relaciones N/P y salinidades.

Estación	Fosfato	Nitrógeno inorgánico	relación N/P	s x 10 ³
1 a	0,073	1,056	14,5	20,45
b	0,095	3,457	35,5	36,48
9 a	0,171	2,207	12,9	15,38
b	0,502	5,534	11,0	34,04
11 a	0,052	0,709	13,6	16,13
b	0,154	5,530	35,9	35,97
18 a	0,040	0,425	10,6	17,63
b	0,290	4,837	16,7	37,75
24 a	0,062	0,835	13,5	13,31
b	0,151	4,863	32,1	33,48
27 a	0,484	0,759	1,5	13,54
b	0,080	1,968	24,6	35,32
29 a	0,048	1,073	22,3	18,28
b	0,163	3,195	19,6	35,96

(Fig. 6), con un coeficiente de correlación de 0.686. La recta de regresión fue:

$$\text{N/P} = 0.739 + (0.706 \times \text{salinidad}) (1\%)$$

Con esta regresión se pudo calcular las relaciones N/P para las masas de agua antes descritas, a partir de los rangos de salinidad obtenidos:

$$\begin{aligned} \text{N/P superficial } (10-16 \times 10^{-3}) &= 7.8-12.0 \\ \text{N/P profundidad } (27-37 \times 10^{-3}) &= 19.8-26.8 \end{aligned}$$

De esta relación establecida se puede llegar a la conclusión de que la relación N/P de los tributarios deberían tener valores muy bajos.

PARAMETROS BIOLÓGICOS

Como parámetros biológicos se midieron la producción primaria y clorofila, y a partir de estos datos se calculó la tasa de productividad y la tasa de crecimiento.

PRODUCCION PRIMARIA

La tabla 2 muestra los resultados de las mediciones de la producción primaria. Los rangos de los valores fueron desde 262 hasta 5720 mgC.m⁻².d⁻¹. El promedio para el propio Golfo de Paria fue 2288 mgC.m⁻².d⁻¹ y para todo el área de muestreo el valor obtenido fue similar, con 1932 mgC.m⁻².d⁻¹. El alto valor, fue observado en la estación 9, fue debido a un bloom de un dinoflagelado llamado *Pyrodinium bahamense*, que ocupó para el presente período de observación un gran área del Golfo de Paria (REYES-VASQUEZ & TRONCONE, 1985).

Los valores promedios, que fueron calculados para la zona eufótica (= valor integrado/profundidad de compensación), oscilaban entre 77 (6.4) y 715 mgC.m⁻³.d⁻¹ (59.6 mgC.m⁻³.h⁻¹, tabla 2). El valor promedio calculado para el propio Golfo fue 301 mgC.m⁻³.d⁻¹ (24.1 mgC.m⁻³.h⁻¹) y para todo el área de muestreo, el valor fue similar con 270 mgC.m⁻³.d⁻¹ (22.5 mgC.m⁻³.h⁻¹).

CLOROFILA

Los valores integrados hasta la profundidad de compensación (o sea, zona con producción positiva) oscilaban entre 7.3 y 62.8 mg.m⁻² (tabla 2). El último valor correspondía a la estación donde se observó el bloom del dinoflagelado *Pyrodinium baha-*

mense, anteriormente mencionado. El promedio calculado para todo el área de muestreo fue 17.4 mg.m⁻². Los valores promedios calculados para la zona eufótica (= Valor integrado/profundidad de compensación oscilaban entre 0.6 y 7.8 mg.m⁻³ (tabla 2), con promedio de 2.5 mg.m⁻³. En el presente trabajo se sustituyó los datos de clorofila de la estación 18 por los valores obtenidos por la profesora Ferraz-Reyes, del Instituto Oceanográfico, por considerarse los propios de carácter dudoso.

TASA DE PRODUCTIVIDAD

c(mgC.mg Clorofila⁻¹.h⁻¹)

Los valores de la tasa de productividad oscilaban entre 3.0 y 19.1 mgC.mg Clorofila⁻¹.h⁻¹ (tabla 2), con valor promedio de 10.1 mgC.mg Clorofila⁻¹.h⁻¹. Dichos valores indicaban que el fitoplancton para aquella época del año no se encontraba limitado por las sales nutritivas (Mc ALLISTER *et al.* 1964; CURL & SMALL 1965).

TASA DE CRECIMIENTO (d⁻¹)

La tasa de crecimiento del fitoplancton (u) se calculó por medio de la fórmula:

$$(4) \quad u = \frac{1}{t} \times \ln \frac{[P + (\text{Chl} \times 50)]}{(\text{Chl} \times 50)}$$

donde Chl representa la concentración promedio de la clorofila de la zona eufótica (en mg.m⁻³), Chl × 50 representa la biomasa del fitoplancton (en el mgC.m⁻³) y P la producción primordial en el tiempo t (1 día). Los valores calculados oscilaban entre 0.5 (0.7) y 1.1 d⁻¹ (2.4 divisiones por día, tabla 2), con un promedio de 1.1 d⁻¹ (1.6 divisiones por día).

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

El poco volumen de los datos (n=7) en el presente trabajo hacía difícil hacer un tra-

tamiento estadístico con ellos. La tabla 3 muestra los coeficientes de correlación lineal calculados entre los indicados parámetros. Dicha tabla muestra solamente una relación significativa entre la clorofila (tanto por metro cúbico como cuadrado) y la concentración del nitrógeno inorgánico. El poco volumen de los datos ($n=7$) hace difícil llegar a una conclusión definitiva, especialmente si se toma la opinión de DARNELL (1967), quien considera que en los estuarios se encuentran las comunidades más complicadas existentes en un bioecosistema.

DISCUSION

Los valores de producción primaria medidos en el presente trabajo eran en promedio una magnitud mayor que los valores determinados por BALLESTER & MARGALEF (1965). Ellos determinaron en una estación equivalente a la estación 11 del presente trabajo una producción primaria de $150 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ para el mes de noviembre de 1964 y $396 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ para el mes de mayo de 1965. El valor en la estación 11 del presente trabajo era $1005 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (tabla 2). La diferencia de los valores indicados se explica por los variados aportes de nutrientes en las diferentes estaciones del año, cuando fueron determinados los valores.

¿De dónde provenía el mayor aporte de las sales nutrientes hacia la zona productiva del Golfo de Paria? El aporte fluvial de dichos nutrientes se puede relacionar con el aporte marino (contracorriente) de la siguiente manera:

El aporte fluvial de las *masas de agua* en una determinada estación se puede calcular a partir de las salinidades usando la relación de KETCHUM (1967):

- (5) $F = (1-s/d)$ F = Fracción fluvial
 s = salinidad de mezcla (superficie)
 d = salinidad de la fuente marina

En el presente trabajo se tomó como valores promedios de s y de d 13×10^{-3} y 36×10^{-3} respectivamente (tomados de la figura 3), y el valor calculado de F fue aproximadamente 64%.

KETCHUM (1967) también, señaló que el fosfato de las aguas estuarinas tiene propiedades conservativas, por lo cual se puede usar este parámetro como trazadores para poder investigar el origen de masas de aguas en dichos estuarios. Como en el presente trabajo no se determinó el fosfato total (= fosfato inorgánico disuelto + orgánico disuelto + orgánico particulado), se aproximó este parámetro con la suma del fosfato inorgánico disuelto de la superficie y del fosfato particulado presente en el fitoplancton de la siguiente manera:

$$(6) \quad C_t = C_d + C_b$$

C_t = concentración del fósforo "total"

C_d = concentración del fósforo inorgánico disuelto.

C_b = concentración del fósforo orgánico particulado presente en el fitoplancton.

Se consideró en el presente trabajo, que la variación del fosfato disuelto como nutriente en el agua fue debido primordialmente a la incorporación de este por el fitoplancton, gracias a la acción fotosintética, cuando entonces pasa a convertirse en fósforo orgánico particulado. Un error en la presente suposición es que parte del fósforo incorporado es luego desasimilado como materia orgánica disuelta, lo que hace que la suma arriba no incluya la parte orgánica disuelta, lo que hace que dicha suma sólo sea aproximada. Otro posible error en la suma (6) pudiera ser la observación hecha por investigadores como por ejemplo BURNS & SALOMON (1969), BUTLER & TIBBITS (1972), SHOLKOVITZ (1976) de que en los estuarios el fósforo inorgánico disuelto pudiera ser removido por procesos no biológicos, tales como, adhesión o floculación. A

pesar de ésto, se omitió dichas observaciones en la presente evaluación, puesto que dichos procesos de remoción fueron solamente observados por MORRIS *et al.*, (1981) en un bajo rango de salinidad (entre 0 y 10×10^{-3}), que estaba por debajo de las salinidades observadas en el presente trabajo. Ct es además también igual a:

$$(7) Ct = Cf \cdot F + Cm \cdot (1 - F)$$

F = Fracción fluvial

Ct = Concentración de fósforo "total"

Cf = Concentración del fosfato de origen fluvial

Cm = Concentración del fosfato de origen marino.

Cb fue a su vez calculado:

$$(8) Cb = \frac{Chl \times 50}{12 \times 106}$$

donde Chl es el valor promedio de clorofila de la zona eufótica ($mg \cdot m^{-3}$), $Chl \times 50$ es igual a la biomasa del fitoplancton (en $mgC \cdot m^{-3}$), 12 es el peso atómico del carbono y 106 la relación: C:P de REDFIELD.

Combinando (5), (6), (7) y (8) fue entonces posible calcular el aporte fluvial del fósforo del total según:

$$(9) \text{Aporte fluvial} = \frac{[Cf \times F]}{[Cf \times F] + [Cm \times (1 - F)]}$$

Para el Golfo de Paria se usaron los siguientes datos:

$Cm = 0.11 \text{ mmol} \cdot m^{-3}$ promedio de las concentraciones de las capas inferiores de las estaciones 1,29 y 30 (= entrada del estuario)

$Chl = 2.5 \text{ mg} \cdot m^{-3}$ promedio de todas las estaciones del área de muestreo

$Cd = 0.13 \text{ mmol} \cdot m^{-3}$ promedio de las concentraciones de las capas superiores de todas las estaciones del área de muestreo

$Cb = 0.10 \text{ mmol} \cdot m^{-3}$ calculado según (8)

$Ct = 0.23 \text{ mmol} \cdot m^{-3}$ (= $Cb + Cd$)

$F = 0.64$ calculado según (5)

$Cf = 0.23 \text{ mmol} \cdot m^{-3}$ calculado según (7)

TABLA: 2. Producción primaria ($mgC \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$), valor promedio de la zona eufótica ($mgC \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$), valor promedio de la tasa de productividad ($mgC \cdot mgChl^{-1} \cdot h^{-1}$), tiempo de incubación (h), tasa de crecimiento (h^{-1} , tomando una relación C/Chl de 50), clorofila integrada hasta la profundidad de compensación ($mg \cdot m^{-2}$), valor promedio de clorofila de la zona eufótica ($mg \cdot m^{-3}$) y la profundidad de compensación (m).

Estación (fecha)	1 (24.10)	9 (25.10)	11 (24.10)	18 (26.10)	24 (26.10)	27 (27.10)	29 (27.10)
Producción primaria integrada	1348	5720	1005	2948	423	1820	262
Valor promedio zona eufótica	135	715	77	368	211	364	20
Tiempo de incubación	3,5	3,5	3,5	2,5	3,6	5,0	3,0
Tasa de productividad	12,2	7,6	7,0	17,7	4,1	19,1	3,0
Tasa de crecimiento	1,4	1,0	1,0	1,6	0,7	1,7	0,5
Clorofila integrada	9,2	62,8	11,9	13,9	8,7	7,9	7,3
Valor promedio zona eufótica	0,9	7,8	0,9	1,7	4,3	1,6	0,6
Profundidad de compensación	10	8	13	8	2	5	13

El aporte fluvial calculado según (9) fue 0.824, ó sea que, 82.4% del fósforo aportado al Golfo de Paria provenía en promedio de los tributarios y ríos.

El mismo cálculo fue hecho para el nitrógeno, solamente con la diferencia que se sustituyó en (8) el factor 106 por el factor 6.6 ($106:16=C:N$, de REDFIELD), y tomando las mismas consideraciones hechas para el fósforo. Se calculó un aporte fluvial del nitrógeno inorgánico del 0.599.

Resumiendo, en 64% el aporte de masa de agua al Golfo de Paria, que tiene un origen fluvial, había un aporte en promedio del 59.9% del nitrógeno inorgánico y 82.4% del fosfato total.

Dichos cálculos fueron hechos también para cada estación y nutriente, cuyos resultados son mostrados en las tablas 4 (fósforo) y 5 (nitrógeno). Para ello se tomó el mismo valor de Cm antes calculado, por lo demás se tomó los respectivos valores para cada estación. En el caso del fosfato (tabla 3) se observa que el aporte fluvial oscilaba entre 40.7 y 93.0%, y que dicho porcentaje aumentaba mientras más se acercaba la estación a una desembocadura. En el caso del nitrógeno, el aporte oscilaba entre 0 y 81.0%, con la misma tendencia de aumento hacia las desembocaduras. Se observa también para cada estación, que el aporte relativo del fósforo era en cada caso mayor que el del nitrógeno.

Con la aproximación del nutriente total con la suma del nutriente disuelto inorgánico y el nutriente particulado orgánico presente en el fitoplancton se subestimaba el valor real del total, lo que traía como consecuencia, de que el cálculo hecho para el aporte fluvial de los nutrientes era a su vez subestimado. Esto implica, que los valores "reales" deberían ser aún mayores que los presentes calculados, lo que llama la atención la gran influencia fluvial existente en el estuario para la estación de lluvias.

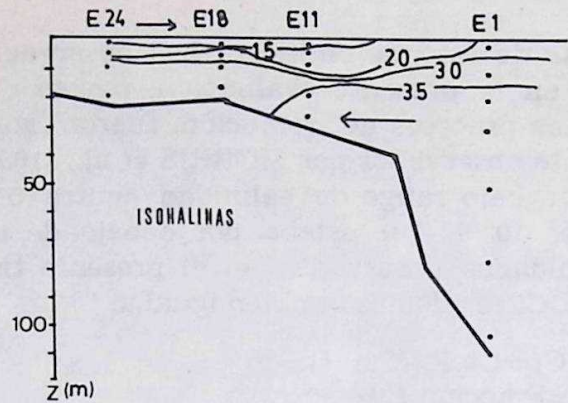


Fig. 5. Distribución vertical de la salinidad en un transecto desde la estación 1 al 24.

Esos altos porcentajes calculados implican una gran influencia de los ríos y tributarios a la productividad primaria del Golfo de Paria para esta época del año, que correspondía al de las lluvias. Los altos valores de las tasas de productividad y crecimiento calculados en el presente trabajo implican que el fitoplancton se encontraba en un óptimo estado nutricional. Aún tomando factores de C/Chl más altos que aquel usado en el presente trabajo para poder calcular la biomasa de fitoplancton (50), se obtuvieron valores de la tasa de crecimi-

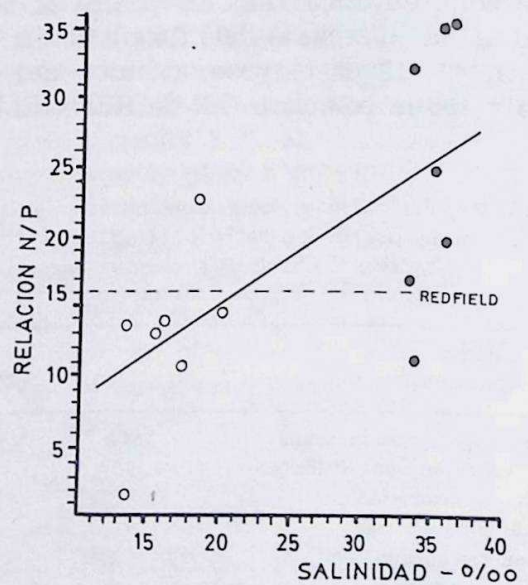


Fig. 6. Relación entre la salinidad y la tasa atómica N/P de nutrientes.

miento aún relativamente altos. Esos altos valores a su vez son reflejados por factores C/Chl bajos (GOLDMAN, 1980). Esto justifica la elección del valor 50 en el presente trabajo, si se toma además la observación de CULLEN (1982, Fig. 1), donde existe una relación inversa entre dicha relación C/Chl y la tasa de crecimiento, que fue basada en un modelo matemático.

En el presente trabajo era casi imposible hacer una evaluación estadística con los pocos datos obtenidos (n=7). Además los compuestos nitrogenados (amoníaco, nitrito y nitrato) que fueron sumados, tal vez complicaban establecer una relación estadística, si se toma en cuenta que el fitoplancton pueda tener la facultad selectiva de no asimilar nitrato en presencia del amoníaco (Mc

TABLA 3. Coeficiente de correlación lineal entre la tasa de productividad (TP), tasa de crecimiento (u), Producción primaria (PP) por m^{-3} y m^{-2} , clorofila (Chl) por m^{-3} y m^{-2} con el fosfato disuelto (PO_4) y el nitrógeno inorgánico (N), $R_{(5\%, n=7)} = 0.810$.

	TP	u	PP(m^{-3})	PP(m^{-2})	Chl (m^{-3})	Chl (m^{-2})
PO_4	+0.568	+0.524	+0.392	+0.201	+0.114	+0.058
N	-0.367	-0.312	+0.610	+0.670	+0.813	+0.880

TABLA 4. Cálculo del aporte del fosfato de procedencia terrestre, según el procedimiento explicado en el texto (nomenclatura ver texto, $C_m = 0.11 \text{ mmol} \cdot m^{-3}$, $d = 36.6 \times 10^{-3}$, Cd ver tabla 1).

Estación	Salinidad $\times 10^3$ (superficie)	F	Cd	Cb	Ct	Cf ($\text{mmol} \cdot m^{-3}$)	Aporte fluvial
1	20.45	0.442	0.07	0.04	0.11	0.10	0.426
9	15.63	0.574	0.18	0.30	0.48	0.75	0.900
11	14.91	0.593	0.05	0.03	0.08	0.07	0.480
18	13.44	0.633	0.04	0.07	0.11	0.10	0.618
24	11.45	0.677	0.06	0.17	0.23	0.29	0.844
27	12.42	0.661	0.48	0.06	0.54	0.77	0.930
29	13.52	0.631	0.05	0.02	0.07	0.05	0.407

TABLA 5. Cálculo del aporte de nitrógeno de procedencia terrestre, según el procedimiento explicado en el texto (nomenclatura ver texto, $C_m = 2.87 \text{ mmol} \cdot m^{-3}$, $d = 36.6 \times 10^{-3}$, Cd ver tabla 1).

Estación	F (ver tabla 3)	Cd	Cb ($\text{mmol} \cdot m^{-3}$)	Ct	Cf	Aporte fluvial
1	0.442	1.05	0.56	1.61	0.02	0.005
9	0.574	2.21	4.95	7.16	10.34	0.829
11	0.593	0.71	0.57	1.28	0.19	0.088
18	0.633	0.42	0.46	0.88	0.00	0.000
24	0.677	0.83	2.74	3.57	3.90	0.740
27	0.661	0.76	0.99	1.75	1.17	0.443
29	0.631	1.07	0.35	1.42	0.30	0.152

ISSAC & DUDGALE 1972), aunque hay otros autores que afirman lo contrario (HARRISON 1973; MAESTRINI *et al.* 1982).

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la profesora ELVIRA FERRAZ DE REYES, por su valiosa cooperación y apoyo en lo referente a la producción primaria; al Dr. GREGORIO REYES V. y al Dr. TAIZO OKUDA por su lectura crítica y sugerencias del manuscrito, al Dr. CARLOS SEVCIK y a la Dra. PROVIDENCIA RODRIGUEZ, del Centro de Biofísica y Bioquímica del IVIC por su cooperación en el uso del contador de centelleo; al personal técnico del Departamento de Oceanografía del Instituto Oceanográfico de Venezuela, por su colaboración en la toma de muestras y análisis químicos de las mismas, para la obtención de los datos hidrográficos; a la tripulación del barco "Guaiquerí II" por su contribución en la ejecución del presente crucero; a EPIFANIO HERNANDEZ, por la elaboración de las gráficas; a ROSAURA SILVA, mecanógrafa, a RAMON VARGAS, fotógrafo y a todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron en la ejecución de esta investigación. Este trabajo fue financiado por el Consejo de Investigaciones de la Universidad de Oriente.

REFERENCIAS

- BALLESTER, A. & R. MARGALEF. 1965. Producción primaria. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 26 (70,72): 207-222.
- BONILLA, 1977. Condiciones hidroquímicas del agua y características químicas de los sedimentos del Golfo de Paria durante la expedición LS-7302. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*, 16 (1-2): 99-114.
- BOWDEN, R. F. 1967. Circulation and diffusion. En: *Estuaries* (Ed. Lauff, G. H.). *Am. Ass. Adv. Sci. Publ.* 83: 15-36.
- BURNS, P. A. & M. SALMON, 1969. Phosphate absorption by Kaolin in saline environment. *Proc. Nat. Shellfish Assoc.* 59: 12-125.
- BUTLER, E. I. & S. TIBBITS. 1972. Chemical survey of the Tamar Estuary I. Properties of the waters. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, 52: 681-699.
- CULLEN, H. 1982. The deep chlorophyll maximum; Comparing vertical profiles of chlorophyll a. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39: 791-803.
- CURI, H. & L. SMALL. 1965. Variation in photosynthetic assimilation ratios in natural, marine phytoplankton communities. *Limnol. Oceanogr.*, 10: 67-73.
- DARNELL, M. D. 1967. Organic detritus in relation to the estuarine ecosystem. En: *Estuaries* (Ed. Lauff, G. H.). *Am. Ass. Adv. Sci. Publ.*, 83: 376-382.
- GADE, H. G. 1961. On some oceanographic observation in the South Eastren Caribbean Sea and the adjacent Atlantic Ocean with special reference to the Orinoco River. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*, 1(2): 287-345.
- GARGAS, E. 1975. *A manual for phytoplankton primary production studies in the Baltic*. The Baltic Marine Biologist. The Danish Agency of Environmental Protection, Copenhagen, 88 pp.
- GOLDMAN, J. H. 1980. Physiological processes, nutrient availability, and the concept of relative growth rate in marine phytoplankton ecology. En: *Primary Production in the Sea* (Ed. Falkowsky, P. G.). Plenum Press, New York: 179-193.
- HARRISON, W. G. 1973. Nitrate reductase activity during a dinoflagellate bloom. *Limnol Oceanogr.*, 18: 457-465.
- INTERNATIONAL OCEANOGRAPHY TABLES 1973. Vol. 2. Editado por Unesco y National Institute of Oceanography (Gran Bretaña).
- KETCHUM, B. H. 1967. Phytoplankton nutrients in estuaries. En: *Estuaries* (Ed. Lauff, G. H.). *Am. Ass. Adv. Sci. Publ.*, 83: 329-335.
- LORENZEN, C. J. 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: Baja California. *Deep Sea Res.* 14: 735-745.
- MAC ISSAC, J. J. & R. C. DUDGALE. 1972. Interactions of light and inorganic nitrogen in controlling nitrogen uptake in the sea. *Deep Sea Res.*, 19: 209-232.
- MAESTRINI, S. Y., J. M. ROBERT & I. TRUET. 1982. Simultaneous uptake of ammonia and nitrate by oyster-pond algae. *Marine Biol. Letters*, 3: 143-153.
- MC ALLISTER, C. P., N. SHA & J. D. H. STRICKLAND. 1964. Marine phytoplankton photosynthesis as a function of light intensity: A comparison of methods. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 21: 159-181.

La productividad primaria del fitoplancton e hidrografía del Golfo de Paria

- MORRIS, A. W. A. J. BALE & J. M. HOWLAND. 1981. Nutrient distribution in an estuary: Evidence of chemical precipitation of dissolved silicate and phosphate. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 12: 205-216.
- OKUDA, T. 1971. Algunas condiciones hidroquímicas del Golfo de Paria. Trabajo presentado en la Novena Reunión de la Asociación de Laboratorios Marinos Insulares del Caribe. Cumaná, Venezuela.
- , 1974. Golfo de Paria: En: *Revisión de los datos oceanográficos en el Mar Nororiental, especialmente el margen continental de Venezuela* (eds. Okuda T., J. Benítez, J. M. Sellier de Cirvrioux, J., Fuguoka & B. Gamboa). Cuadernos Azules, 15: 125-140.
- POOLE, H. H. & W. R. G. ATKINS. 1929. Photo-electric measurement of submarine illumination throughout the year. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, 16: 297-324.
- REDFIELD, A. C., B. A. KETCHUM & F. A. RICHARDS. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. En: *The Sea*, Vol. 2 (ed. M. N. Hill). Interscience Publishers, Nueva York: pp. 26-77.
- REID, G. K. 1961. *Ecology of inland water and estuaries*. Reinhold Publishing Corporation, New York, 375 p.
- REYES-VÁSQUEZ, G. & F. TRONCONE. 1985. Presencia del dinoflagelado *Pyrodinium bahamense* en el Golfo de Paria, Estado Sucre, Venezuela xxxv Convención Nacional de AsoVAC, 17 al 22 de noviembre de 1985, Mérida, Ponencia N° 850194.
- SHOLOVITZ, E. R. 1976. Flocculation of dissolved organic and inorganic matter during the mixing of river water and seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40: 831-845.
- STEEMANN-NIELSEN, E. 1952. The use of radioactive carbon (C^{14}) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, 18: 117-140.
- STRICKLAND, J. D. H. & T. R. PARSONS. 1968. *A practical handbook of seawater analysis*. Bull. Fish, Res. Bd. Can., 167: 311 p.
- VAN ANDEL, T. J. & H. POSTMA. 1954. *Recent sediments of the Gulf of Paria. Reports of the Orinoco Shelf Expedition*, Vol. 1. Noord. Hollandsche Uitgevers Mij, 20 (5), 245 p.

(Manuscrito recibido el 14 de noviembre de 1985).