

EVALUACION ESTEQUIOMETRICA DE LA DESCOMPOSICION DE MATERIA ORGANICA EN AGUAS DEL GOLFO DE CARIACO, VENEZUELA

TAIZO OKUDA

Instituto Oceanográfico, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela

RESUMEN: Las condiciones hidrográficas del Golfo de Cariaco muestran una marcada diferencia entre dos épocas (renovación y estancamiento) y caracterizadas por el régimen de los Vientos Alisios. En la época de estancamiento, se desarrolla una termoclina muy marcada entre 40 y 60 m de profundidad. En esa zona y por debajo de ella, se presentan varios procesos bioquímicos, como nitrificación, desnitrificación y sulfatorreducción. Los últimos dos procesos se efectúan debido al consumo y agotamiento del oxígeno disuelto por descomposición de la materia orgánica. En este trabajo, se han examinado los procesos de descomposición orgánica en aguas del Golfo de Cariaco, a través de una comparación de las razones de elementos liberados y consumidos por la descomposición de la materia orgánica con las razones del modelo estequiométrico propuesto por RICHARDS (1965). En aguas oxigenadas, se observó que las razones elementales (O:P = 273:1 y N:P = 14:1) son aproximadas al modelo RICHARDS (O:P = 276:1 y N:P = 16:1). Sin embargo, las razones elementales en las aguas profundas estancadas muestran una diferencia marcada en relación al modelo de RICHARDS, es decir, O:N:P = 225:19:1 en el período de nitrificación, O:P = 47:1 durante la desnitrificación y O:S:N:P = 75:15:8:1 durante la sulfatorreducción, mientras que el modelo de RICHARDS indica 276:16:1, 254:1 y 212:53:16:1 respectivamente. Esta discrepancia señala probablemente que en las aguas profundas estancadas en el Golfo de Cariaco no se forma un sistema completamente cerrado y se puede presentar un suministro de oxígeno, por difusión y mezcla parcial con aguas oxigenadas de la capa inmediatamente superior.

ABSTRACT: The hydrographical conditions of the Gulf of Cariaco showed a marked difference between two well defined periods (renewal and stagnation) characterized by the Trade Winds regime. In the period of stagnation, a pronounced thermocline is formed in the layer between 40 and 60 m deep. In this and below the thermocline zone, various biochemical processes such as nitrification, denitrification and sulfate reduction are taking place. The last two processes were carried out due to consumption and depletion of dissolved oxygen by the decomposition of organic matter. This paper deals with an evaluation of the processes of organic decomposition in the waters of the Gulf of Cariaco, through a comparison of the ratios of liberated and consumed elements by the decomposition of organic matter with the ratios of the stoichiometric model proposed by RICHARDS (1965). In the oxygenated waters, there is a good approximation of the atomic ratios of elements (O:P = 273 and N:P = 14:1) to the ratios of the model of RICHARDS (O:P = 276 and N:P = 16:1). However, the atomic ratios of elements in the stagnated deep waters presented a great difference from those of the model of RICHARDS, i.e., these gulf waters showed O:N:P = 225:19:1 in the nitrification process, O:P = 47:1 during the denitrification and O:S:N:P = 75:15:8:1 during the reduction of sulfate, while the model of RICHARDS indicates O:N:P = 276:16:1, O:P = 254:1 and O:S:N:P = 212:53:16:1 respectively. This discrepancy is probably due to the fact that the stagnated deep waters in the Gulf of Cariaco do not form a completely closed system, being brought about supply of oxygen by diffusion and by partial mixing with the oxygenated waters in the immediately upper layer.

INTRODUCCION

Se ha llamado mucho la atención sobre la posible presencia de una razón constante entre los contenidos de N-nitrato y P-fosfato en el agua de mar, indiferente a las concentraciones absolutas. Esto es debido a la supo-

sición de que en los procesos fotosintéticos estos elementos son extraídos del agua por organismos fitoplanctónicos en las mismas proporciones que se encuentran y retornan al agua en las mismas razones entre ambos elementos durante los procesos de descomposición de los organismos. Basado en aná-

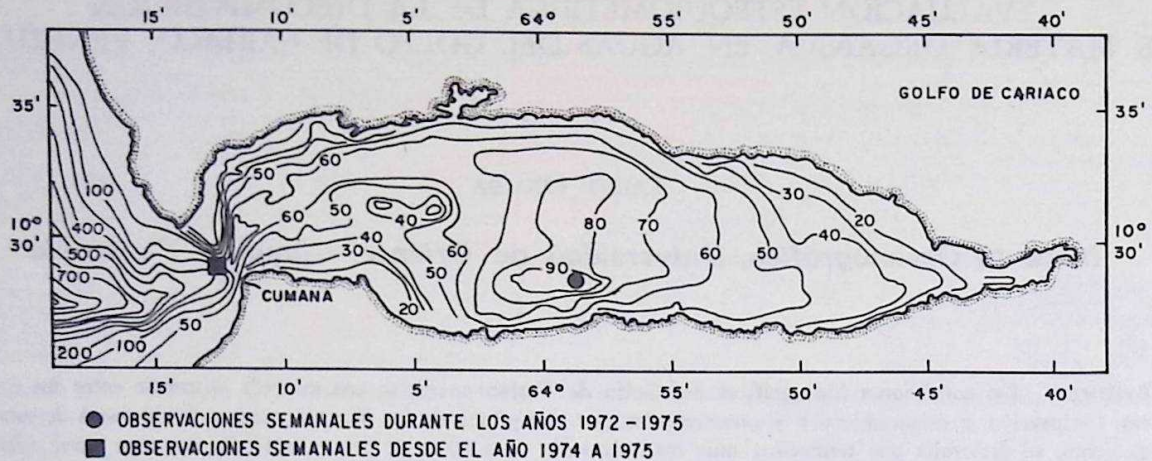


Fig. 1. Ubicación de las estaciones hidroquímicas y el mapa batimétrico del Golfo de Cariaco.

lisis de aguas del Mar Mediterráneo y del Océano Atlántico, COOPER (1937 y 1938) encontró una razón N:P de 15:1, por átomo. También, una razón similar de estos elementos fue observada en el plancton por COOPER (1937) y FLEMING (1940). El último autor mostró las razones de C:N:P, por peso, en el plancton; 42:7:1 para fitoplancton y 40:7,4:1 para zooplancton. Estas razones quedan 41:7,2:1 por peso, y 106: 16:1 por átomo, como promedio del plancton (SVERDRUP, *et al.* 1942).

REDFIELD, *et al.* (1963) consideraron una razón oxidativa, por átomo, entre oxígeno, carbono, nitrógeno, y fósforo, como de 276: 106: 16:1 en el agua de mar RICHARDS (1965) propuso un modelo de la oxidación bioquímica de la materia orgánica en el medio ambiente marino. A través de las investigaciones de las masas de agua (PYTKOWICZ 1971), la estimación de nutrientes preformados (PARK, 1967; STEFASON, 1968; KIDO & NISHIMURA, 1973) y el movimiento de las masas de agua en la zona profunda (PYTKOWICZ & KESTER, 1966), varios investigadores aceptaron las relaciones estequiométricas propuestas por REDFIELD, *et al.* (1963) y el modelo de descomposición orgánica de RICHARDS (1965).

El Golfo de Cariaco (Fig. 1) se caracteriza por la presencia intermitente de las aguas

óxicas y anóxicas en las capas profundas, desarrollándose cíclicamente diversos procesos bioquímicos, tales como nitrificación, desnitrificación y sulforreducción (Fig. 2). Esta situación del Golfo de Cariaco puede mostrar probablemente una condición distinta sobre la descomposición orgánica en comparación con la de las aguas anóxicas permanentes. Por consecuencia, en este trabajo, se analizan estequiométricamente los procesos de oxidación bioquímica en las aguas del Golfo de Cariaco, comparando el modelo propuesto por RICHARDS (1965) para las razones de cambio de los productos por la descomposición orgánica.

Los datos utilizados en este trabajo fueron obtenidos a través de las observaciones semanales realizadas sobre las condiciones hidrográficas y químicas en la entrada y cuenca central del Golfo de Cariaco, entre los años 1972 y 1975, por el Departamento de Oceanografía Química del Instituto Oceanográfico de la Universidad de Oriente.

CARACTERISTICAS HIDROGRAFICAS Y BIOQUIMICAS

Los estudios hidrográficos y químicos en el Golfo de Cariaco han sido realizados por varios investigadores (RICHARDS, 1960; GADE, 1961a y 1961b GRIFFITHS & SIM-

Evaluación estequiométrica de la descomposición de materia orgánica en aguas del Golfo de Cariaco

TABLA 1 ASPECTOS HIDROGRÁFICOS Y BIOQUÍMICOS EN EL GOLFO DE CARIACO

Aspectos Hidrográficos	Epoca de Renovación		Epoca de Estancamiento	
	Toda la Columna del agua	Zona de Circulación Libre	Zona de Termoclina	Zona de Aguas Estancadas
6) Desnitrificación	Con mayor intensidad	Con menor intensidad	No se presenta	No se presenta
7) Sulfato-reducción	Homogeneidad vertical	Estratificación con altibajos notables	Mayor gradiente vertical	Homogeneidad vertical
Aspectos Bioquímicos	Relativamente menor	Relativamente mayor	Reducción brusca	Agotamiento
1) Intercambio de las aguas	Suministro continuo desde el exterior	Suministro limitado desde el exterior	Aumento brusco	Acumulación marcada
2) Parámetros hidrográficos	Se presenta	Se presenta	Se presenta	No se presenta
3) Oxígeno	No se presenta	No se presenta	Se presenta	Se presenta
4) Nutrientes	No se presenta	No se presenta	No se presenta	Se presenta con aumento de azufre
5) Nitrificación				

PERSON 1967). Recientemente, OKUDA, *et al* (1978a y 1978b) y OKUDA (1981) analizaron las condiciones hidroquímicas y la variación estacional de los nutrientes en la misma área. De acuerdo con los trabajos de estos últimos, podemos ilustrar a continuación un resumen de las características oceanográficas y químicas del Golfo de Cariaco. Debido al régimen de los Vientos Alisios y de la surgencia en la región, la distribución vertical de los nutrientes y el oxígeno disuelto muestran una marcada diferencia entre dos épocas, es decir, la de renovación, correspondiente a la época de fuerte intensidad de los vientos desde enero a marzo, ocasionalmente hasta mayo; y la época de estancamiento de las aguas, correspondientes a la débil intensidad de los vientos y la surgencia a partir del mes de septiembre hasta noviembre. La tabla 1 muestra los aspectos hidrográficos y bioquímicos en la columna de agua en el Golfo de Cariaco en estas dos épocas.

En la época de renovación de las aguas, cuando se inician los vientos fuertes con dirección favorable para la surgencia, las aguas profundas del golfo se desplazan hacia su extremo oriental a lo largo del fondo, seguido por la penetración de las aguas subsuperficiales del exterior (Fosa de Cariaco). Luego, estas aguas profundas surgen alcanzando la superficie, subsiguientemente, las mismas son transportadas por los vientos del E-NE hacia el oeste haciéndolas salir del golfo. En tal forma, puede ocurrir una renovación de toda la columna de agua del golfo, rompiendo una picnoclina bien desarrollada

en la época de estancamiento y mostrando una homogeneidad vertical de los parámetros hidrográficos y de los nutrientes. Después de la renovación de las aguas, aumenta el contenido de nitrato y fosfato ya que las aguas subsuperficiales del exterior que penetran al Golfo de Cariaco en la época de renovación se ubican en la zona de la picnoclina (en la Fosa de Cariaco), donde se encuentran las concentraciones relativamente altas de nutrientes y acumulaciones de detritos orgánicos.

En la época de estancamiento, se presentan verticalmente tres zonas con distintos aspectos hidroquímicos por el desarrollo de una termoclina bien marcada entre 40 y 60 m de profundidad. Estas son: (i) zona de circulación libre que se ubica por encima de la termoclina y se forma una zona amplia con alta temperatura (mayor de 24°C), relativamente alto contenido de oxígeno (superior a 3 ml/l) y un agotamiento de nutrientes, (ii) zona de latermoclina que muestra un mayor gradiente vertical de los parámetros hidrográficos y químicos desarrollándose intensos procesos de nitrificación y desnitrificación y (iii) zona de aguas estancadas por debajo de la termoclina caracterizada por un casi o completo agotamiento del oxígeno, acumulación de fosfato y amonio, y presencia de los procesos de desnitrificación y sulfo-reducción.

Tal cambio de las condiciones bioquímicas en las aguas profundas del Golfo de Cariaco, se ilustra claramente en la figura 2, en relación con el cambio periódico de la renovación y el estancamiento del agua.

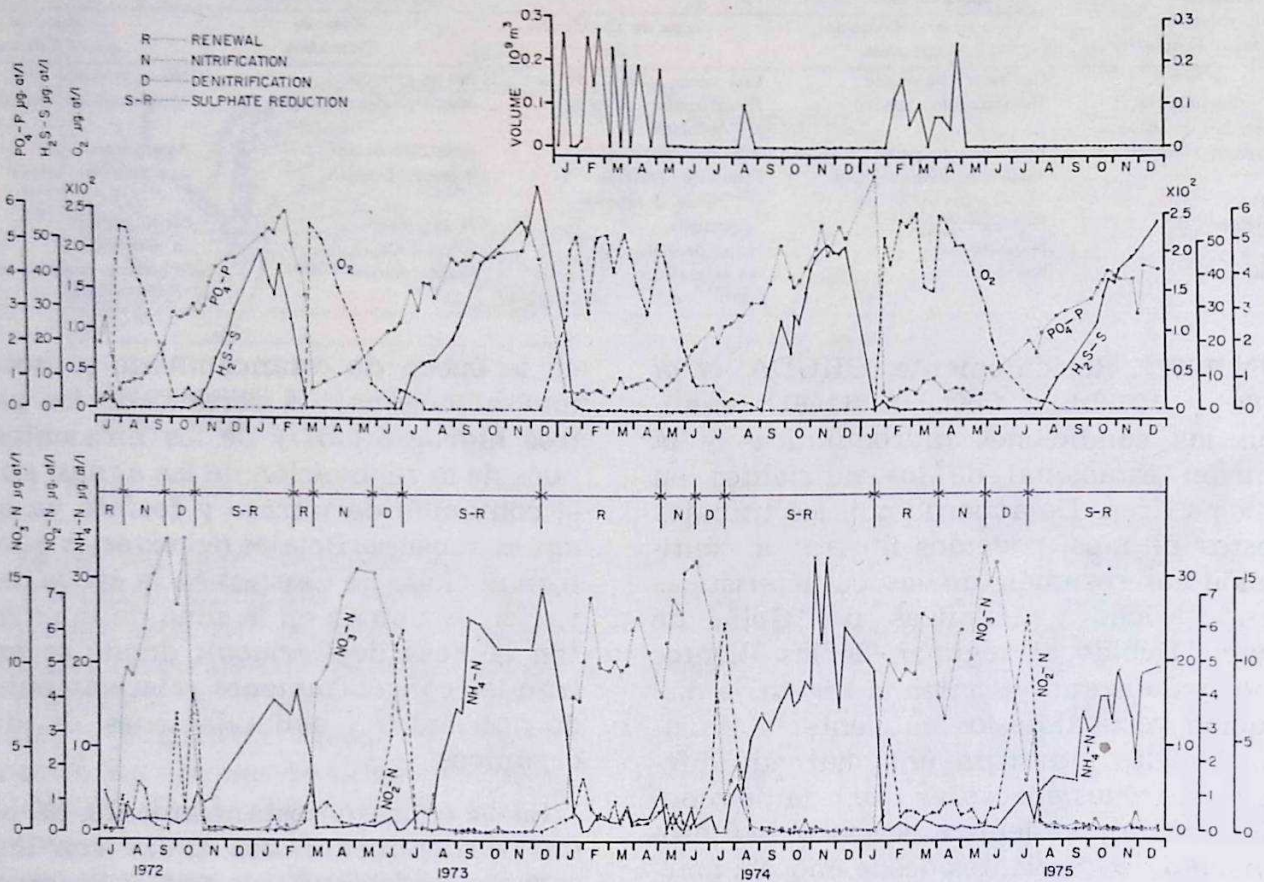


Fig. 2. Variaciones estacionales del oxígeno, nutrientes, azufre y el volumen del agua renovada en las capas profundas (80-90 m).

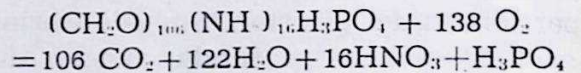
MODELO ESTEQUIOMETRICO PARA LA OXIDACION ORGANICA PROPUESTO POR RICHARDS

En un ambiente óxico marino, los organismos respiran y la materia orgánica se descompone a expensas del oxígeno como el aceptor del ión hidrógeno, con la liberación de productos de los diversos elementos inorgánicos al agua. Cuando el oxígeno disuelto se ha consumido casi totalmente, los iones de nitrato constituyen la próxima fuente abundante de energía libre para la oxidación de materia orgánica. En consecuencia, bajo esta circunstancia, la materia orgánica se oxida por acción de las bacterias desnitrificantes, reduciéndose los iones de nitrato para el amonio y/o nitrógeno molecular. Cuando la totalidad o casi todo el oxígeno, los iones nitrato y nitrito han sido consu-

midos, se puede iniciar la reducción de sulfatos. Basándose en estas consideraciones, RICHARDS (1965) propuso un modelo estequiométrico para la oxidación de la materia orgánica (formulado como $(CH_2O)_{106}(NH_3)_{16}(H_3PO_4)$) en diversos procesos en el ambiente acuático como sigue:

EN AMBIENTE OXIGENADO:

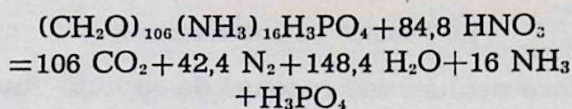
NITRIFICACION:



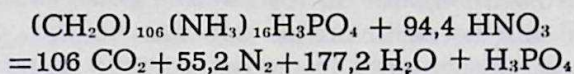
$$C:O:N:P = 106:276:16:1$$

EN AMBIENTE REDUCIDO:

DES-NITRIFICACION:

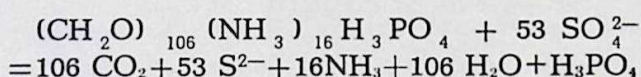


$$\text{C:O:N:P} = 106:254,4:16:1$$



$$\text{C:O:P} = 106:283,2:1$$

SULFORREDUCCION:



$$\text{C:O:N:S:P} = 106:212:16:53:1$$

RESULTADOS

RELACION ENTRE LA AOU Y EL FOSFATO EN TODA LA COLUMNA DE AGUA

La figura 3 presenta la relación entre la utilización aparente de oxígeno (AOU) y el fosfato en la columna de agua (10-90 m de profundidad). La utilización aparente de oxígeno (AOU) se obtiene por la diferencia entre la solubilidad del oxígeno (O'_2) y el valor observado del oxígeno (O_2), es decir, $\text{AOU} = \text{O}'_2 - \text{O}_2$.

Esta figura muestra que el fosfato aumenta proporcionalmente con el aumento de la AOU en un límite inferior aproximadamente $1 \mu\text{g.at/l}$ de fosfato con buena correlación aparente. Luego, en la zona de concentración de fosfato entre $1-2 \mu\text{g.at/l}$ aproximadamente, ambas variables se incrementan gradualmente, pero no en forma lineal. En la zona con valores superiores a $2 \mu\text{g.at/l}$ de fosfato, la AOU no cambia apreciablemente, manteniéndose un valor aproximado de $440 \mu\text{g.at/l}$, a pesar de que las concentraciones del fosfato aumentaron hasta más de $6 \mu\text{g.at/l}$. Esto significa que en la columna de agua del Golfo de Cariaco se presenta una liberación de fosfato por la

descomposición de materia orgánica a expensas del oxígeno, hasta que el fosfato se libere a menos de $2 \mu\text{g.at/l}$ (en el ambiente oxigenado). Por otro lado, la liberación de la cantidad de fosfato mayor de $2 \mu\text{g.at/l}$ ocurre a expensas de otras fuentes, tales como la reducción de nitrato y nitrito por las actividades de bacterias desnitrificantes y la reducción de sulfato (en el ambiente reducido).

EN LAS AGUAS OXIGENADAS EN TODA COLUMNA DE AGUA

Para comparar las razones de cambios de los productos derivados por la descomposición de la materia orgánica en las aguas oxigenadas en toda la columna de agua, se han separado arbitrariamente estas aguas oxigenadas que poseen AOU menor de $310 \mu\text{g.at/l}$, tomando en consideración los resultados en la figura 3. Además debido a la naturaleza de este trabajo, los datos negativos de la AOU fueron excluidos.

La figura 4 muestra las relaciones entre la AOU y el fosfato y entre el nitrato y el fosfato en aguas oxigenadas del Golfo de Cariaco durante los años 1974 y 1975. A pesar que se presenta una dispersión apreciable de la distribución de los puntos, se observa en general una tendencia clara de los cambios proporcionados entre las variables tanto entre la AOU y el fosfato como entre el nitrato y el fosfato. Se nota que la razón de cambio, por átomo, de la AOU y el fosfato (273) es muy aproximado a la razón propuesta por RICHARDS (276). Mientras que la razón de cambio encontrada entre el nitrato y el fosfato fue 14,1 la cual es inferior a la de RICHARDS (16). Esta baja razón de cambio entre el nitrato y el fosfato probablemente está reflejando las características de las aguas en el golfo, ya que el origen de estas aguas es mayormente de las capas subsuperficiales de la Fosa de Cariaco las cuales tienen cierta influencia en el proceso de desnitrificación.

EN LAS AGUAS PROFUNDAS

Tomando en consideración las variaciones de oxígeno, nitrito, nitrato, amonio y azufre en las aguas profundas (80-90 m) durante los años 1972 a 1975, se han estimado los períodos de renovación, nitrificación, desnitrificación y sulfatorreducción en estas capas profundas, los cuales fueron indicados en la figura 2.

EL PERIODO DE NITRIFICACION

Para evaluar las razones de cambio entre la AOU y el fosfato, y entre el nitrato y el fosfato durante el período de nitrificación, se hizo un ajuste de los valores observados, es decir, se restaron las concentraciones de las variables en el inicio del período a todos los valores observados en el período de nitrificación. La figura 5 muestra los valores ajustados de las diversas variables.

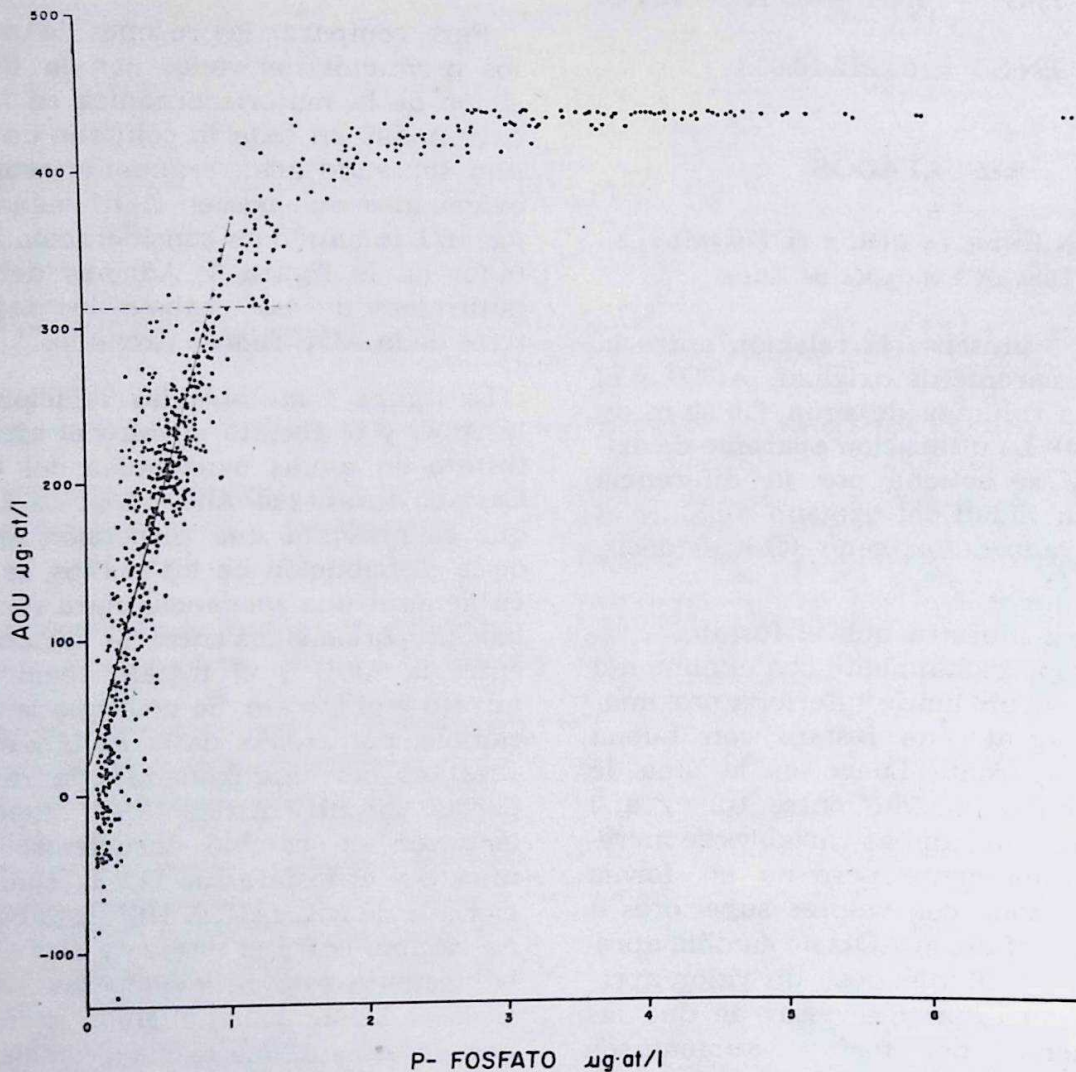


Fig. 3. Relación entre la AOU y el fosfato de la columna de agua en la capa mayor de 10 m de profundidad.

La figura 5, muestra un abuena correlación entre las variables en las aguas profundas. Sin embargo, las razones de cambios entre la AOU y el fosfato, y entre el nitrato y el fosfato difieren considerablemente de las obtenidas en toda la columna de agua, igualmente de las razones propuestas por RICHARDS. No se conocen las causas de esta desviación encontrada, pero probablemente se debe a que en este período de nitrificación influye el inicio del estancamiento de las aguas profundas; por consecuencia, el

proceso de desnitrificación también podría ocurrir simultáneamente con la nitrificación. En general, la separación de los períodos no es absolutamente apropiada ya que las actividades bacterianas no se pueden separar de una forma tan simple.

EL PERIODO DE DESNITRIFICACION

La figura 2 muestra que en las aguas profundas del Golfo de Cariaco, el amonio libe-

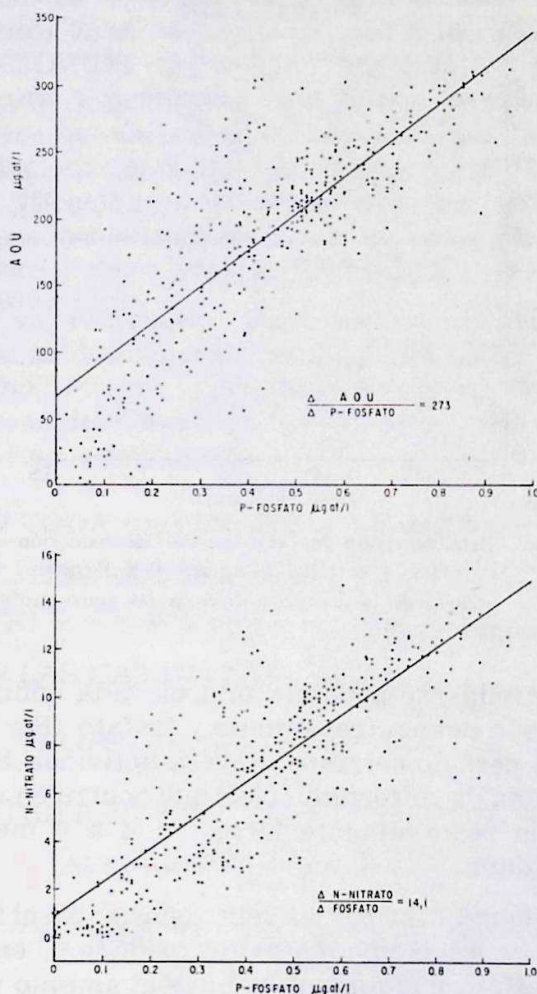


Fig. 4. Relación entre la AOU y el P-fosfato, y entre el N-nitrato y el P-fosfato en las aguas oxigenadas que poseen una AOU menor de 310 $\mu\text{g. at/l}$.

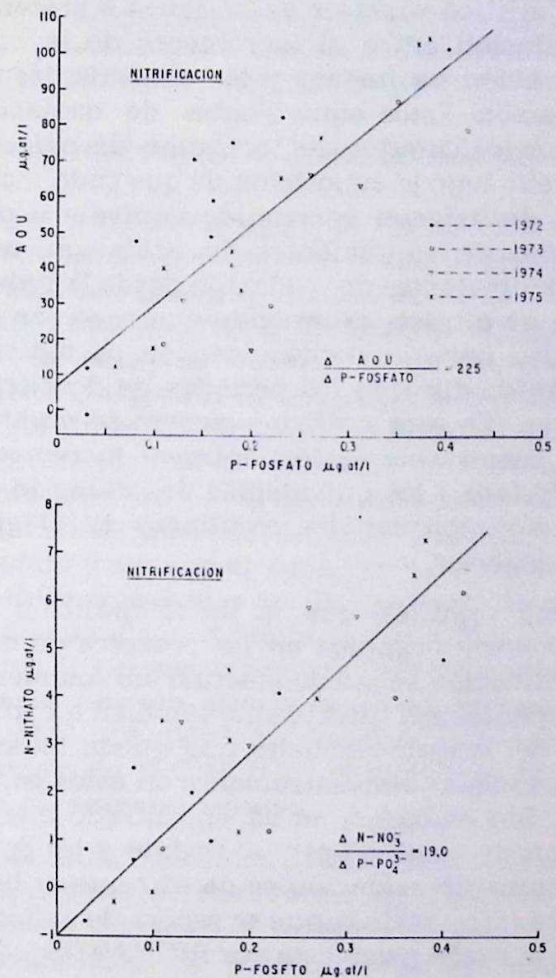


Fig. 5. Relación entre la AOU y el P-fosfato, y entre el N-nitrato y el P-fosfato en el período de la nitrificación en las aguas profundas (80-90 m).

rado durante la desnitrificación no se acumula pero se oxida produciendo probablemente nitrógeno libre.

Para los períodos de desnitrificación, se aplicó el mismo ajuste de los datos como se hizo para los procesos de nitrificación. El gráfico inferior de la figura 6 muestra la relación entre la reducción de nitrato y el incremento de fosfato bajo los procesos de desnitrificación. En este gráfico no se encuentra buena correlación entre la reducción de nitrato y el incremento de fosfato, indicando que la liberación del fosfato en estos períodos de desnitrificación no está dependiendo solamente del nitrato.

El gráfico superior de la figura 6 presenta la relación entre el incremento de la concentración de fosfato y los equivalentes de oxidación. Estos equivalentes de oxidación fueron calculados del consumo de oxígeno disuelto bajo la suposición de que cada molécula de oxígeno consumido equivale a dos átomos de equivalentes de oxidación, más los equivalentes de oxidación desde la reducción de nitrato, asumiendo que cada ión de nitrato para la descomposición de materia orgánica durante los períodos de desnitrificación. En este gráfico superior, se observa una mejor correlación entre el incremento de fosfato y los equivalentes de oxidación en comparación con los resultados en el gráfico inferior.

Esto significa que la descomposición de la materia orgánica en los procesos de desnitrificación se puede efectuar no solamente a expensas del nitrato sino también a expensas del oxígeno disuelto que queda todavía en pequeñas concentraciones en estos períodos. Sin embargo, se ha encontrado que la razón de cambio entre el fosfato y los equivalentes de oxidación es de 46,7 que es bastante inferior de la que se espera de acuerdo con la razón propuesta por RICHARDS.

EL PERIODO DE SULFORREDUCCION

Después de casi el agotamiento total del nitrato, el nitrito y el oxígeno en las aguas

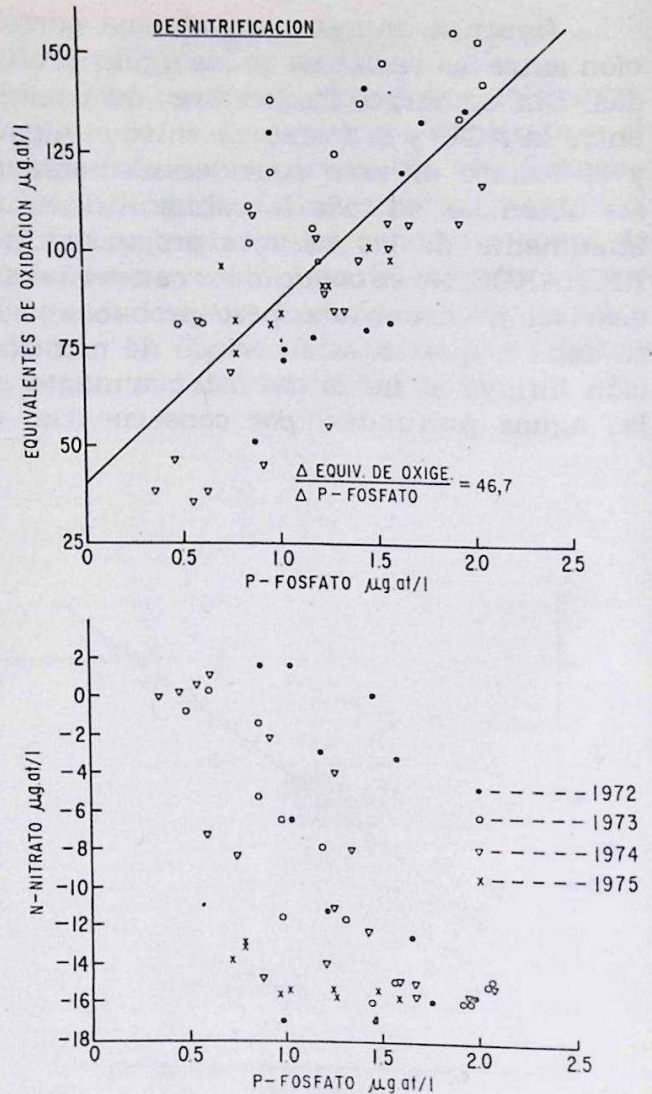


Fig. 6. Relación entre los equivalentes de oxidación y el P-fosfato, y entre el N-nitrato y el P-fosfato en el período de la desnitrificación en las aguas profundas (80-90 m).

profundas, se presenta una elevada concentración del azufre, amonio y fosfato (Fig. 2). Este período corresponde a la actividad bacteriana de sulforreducción que ocurre en una etapa relativamente larga de 4 a 6 meses cada año.

La figura 7 ilustra las relaciones entre el fosfato y los equivalentes de oxidación, entre el fosfato y el amonio y entre el amonio y el sulfuro en los períodos de reducción de sulfato. Los equivalentes de oxidación fueron calculados de la concentración de S-sulfuro, asumiendo que un átomo de azufre produ-

cido por la reducción de sulfato equivale a cuatro átomos de equivalentes de oxidación.

El gráfico superior al lado izquierdo en la figura 7 muestra la relación entre el fosfato y los equivalentes de oxidación, encontrándose la razón de equivalentes de oxidación: P-fosfato=75,3. La razón de equivalentes de oxidación: P-fosfato (75,3) es muy inferior que la propuesta por RICHARDS.

El gráfico inferior al lado izquierdo en la figura 7 presenta la relación entre el fosfato y el amonio, indicando la razón, N:P, = 7,87 que es casi la mitad de la de RICHARDS. Igualmente, la razón, S: N=1,94, que se muestra en el gráfico al lado derecho en la figura 7, es bastante inferior a la razón de RICHARDS (S:N=3,3). Tres gráficos de la figura 7 presentan una buena correlación entre las variables, en comparación con las relaciones encontradas en el proceso de desnitrificación; a pesar de que las razones entre las variables son más bajas que las razones del modelo de RICHARDS.

Las relaciones elementales ocasionadas por la descomposición orgánica entre oxígeno, fósforo, nitrógeno y azufre en las aguas del Golfo de Cariaco, se pueden resumir en la forma siguiente:

EN TODA LA COLUMNA DE AGUA

(<310 $\mu\text{g-at/l}$ de la AOU):

$$\text{AOU} = 273 \text{ P} + 65,9 \text{ N} = 14,1 \text{ P} + 0,921$$

EN LAS CAPAS ENTRE 80 Y 90 m

DE PROFUNDIDAD:

NITRIFICACION:

$$\text{AOU} = 225 \text{ P} + 6,68 \text{ N} = 19,0 \text{ P} - 1,01$$

DESNITRIFICACION: Equiv. de oxid.

$$= 46,7 \text{ P} + 40,3 \text{ N} = -8,46 \text{ P} + 0,48$$

SULFORREDUCCION: Equiv. de oxid.

$$= 75,3 \text{ P} + 5,62 \text{ N} = 7,87 \text{ P} - 0,826$$

$$\text{S} = 1,94 \text{ N} + 7,05$$

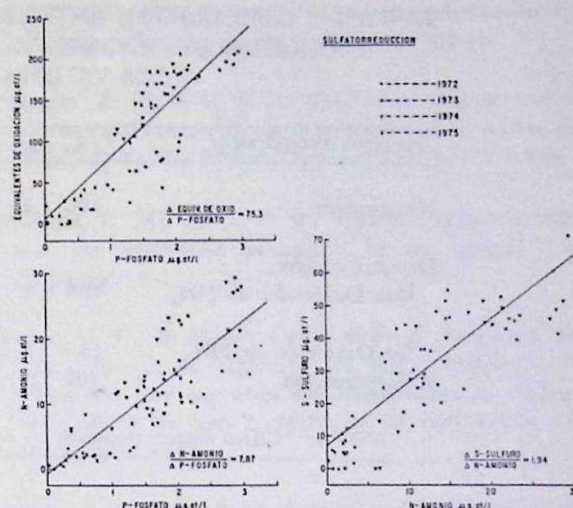


Fig. 7. Relación entre los equivalentes de oxidación y el P-fosfato, entre el N-amonio y el P-fosfato, y entre el S-sulfuro y el N-amonio en el período de sulforreducción en las aguas profundas (80-90 m).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

En la masa de agua de un sistema completamente cerrado, se podrían presentar relaciones estequiométricas entre las cantidades descompuestas de materia orgánica y (a)-la cantidad consumida de oxígeno disuelto que podría ser relacionada con la cantidad de iones de nitrato formados por la nitrificación; (b)-la cantidad de nitrógeno libre formado por la desnitrificación; (c)-las cantidades liberadas de dióxido de carbono, fosfato y amonio al agua; (d)-la cantidad de sulfuro formado y (e)-la cantidad de amonio acumulada durante la reducción de sulfato. El sistema en estudio no es completamente cerrado, por lo tanto las razones de cambio obtenidas se desviarán de las del modelo de RICHARDS, el cual está basado en un sistema cerrado.

La tabla 2 muestra una comparación entre las razones de cambio de los diversos elementos liberados y consumidos por la descomposición de materia orgánica en las aguas del Golfo de Cariaco y las razones del modelo de RICHARDS. En esta tabla, se encuentra que la razón, O: P=273: 1, en las aguas oxigenadas en el golfo (supuestamente

TABLA 2. COMPARACION ENTRE LAS RAZONES DE CAMBIO, POR ATOMOS, DE LOS PRODUCTOS DE DESCOMPOSICION ORGANICA EN EL GOLFO DE CARIACO Y LOS VALORES DEL MODELO DE RICHARDS

Procesos Bioquímicos	$\Delta C : \Delta P$	$\Delta O : \Delta P$	$\Delta N : \Delta P$	$\Delta S : \Delta N$
Nitrificación	106 : 1	276 : 1 (273 : 1)	16 : 1 (14,1 : 1)	
Desnitrificación				
Con Oxidación de NH_3	106 : 1	283 : 1 (46,7 : 1)		
Sin Oxidación de NH_3	106 : 1	254,4 : 1	16 : 1	
Sulforreducción	106 : 1	212 : 1 (75,3 : 1)	16 : 1 (7,9 : 1)	3,3 : 1 (1,9 : 1)
NOTA: Cifras entre paréntesis		Valores del Golfo de Cariaco.		

el principal proceso bioquímico es la nitrificación) es muy aproximada a la razón propuesta por RICHARDS (O: P=276:1). Mientras que la razón, N: P=14.1:1, en las mismas aguas, difiere un poco de la razón, de RICHARDS (N: P=16:1). Es probable que esta baja razón, N:P, sea el reflejo de los altos valores de fosfato preformado en las aguas que entran al golfo, o estas aguas que se originan en las capas subsuperficiales de la Fosa de Cariaco hayan sido afectadas hasta cierto punto por la desnitrificación antes de entrar al golfo. También, es posible que aún a poca concentración de oxígeno disuelto se forme el ión nitrato a través de la oxidación por oxígeno, al mismo tiempo que este ión puede ser consumido por desnitrificación.

Por otro lado, las razones de cambio de O: P, N: P y S: N en las aguas estancadas en las capas profundas del golfo muestran una diferencia marcada de los valores del modelo de RICHARDS, tanto en los procesos de desnitrificación como de reducción de sulfato.

Como se muestra en la figura 2, no se ha observado la entrada de aguas externas a las capas profundas del golfo durante la época de sulforreducción (OKUDA, 1982). Sin embargo, en el Golfo de Cariaco, donde se desarrolla intermitentemente un ambiente anóxico y posee relativamente poca profundidad, se puede presentar la influencia

del oxígeno por difusión y mezcla parcial con las aguas oxigenadas en la capa inmediatamente superior.

Además, en cuanto al bajo contenido de azufre encontrado, debemos tomar en cuenta que cuando las aguas que contienen sulfuros se mezclan con las aguas oxigenadas, los sulfuros serán oxidados a más altos estados de oxidación (tales como azufre libre, tiosulfato y sulfato), aunque el fosfato, dióxido de carbono y amonio producidos durante la sulforreducción pueden quedar en el agua.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al personal científico y técnico del Departamento de Oceanografía Química por la realización de las observaciones hidroquímicas y los análisis químicos de las muestras de agua, así como también a la señora LOURDES DE RIVERO por el trabajo mecanográfico.

REFERENCIAS

- COOPER, L. H. N., 1937. On the ratio of nitrogen to phosphorus in the sea. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 22: 177-204.
- , 1938. Redefinition of the anomaly in the nitrate-phosphate ratio. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 23: 179.

Evaluación estequiométrica de la descomposición de materia orgánica en aguas del Golfo de Cariaco

- FLEMING, R. H., 1940. The composition of plankton and units for reporting population and production. *Proc. Sci. Cong. Calif.* 1939, 3: 535-540.
- GADE, H. G. 1961a. On the hydrographic conditions in the Gulf of Cariaco during the months from May to November 1960. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*. 1 (1): 21-46.
- . 1961b. Further hydrographic observations in the Gulf of Cariaco, Venezuela. The circulation and water exchange. *Ibid.*, 1 (2): 359-395.
- GRIFFITHS, R. C. & J. G. SIMPSON. 1967. Temperature structure of the Gulf Cariaco, Venezuela, from August 1959 to August 1961. *Investigaciones Pesqueras; Serie Recursos y Explotación Pesqueras* 1: 116-169.
- KIDO, K. & M. NISHIMURA. 1973. Regeneration of silicate in the ocean: I. The Japan Sea as a model of closed system. *J. Oceanogr. Soc. Japan*. 29: 185-192.
- OKUDA, T., J. BENÍTEZ A., J. BONILLA & G. CEDEÑO. 1978a. Características hidroquímicas del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente* 17 (1 & 2): 69-88.
- OKUDA, T., A. GARCÍA G., B. GAMBOA G. E. FERNÁNDEZ. 1978b. Variación estacional de fósforo y nitrógeno inorgánico en el Golfo de Cariaco, Venezuela. *Ibid.*, 17 (1 & 2): 89-104.
- OKUDA, T. 1981. Water exchange and the balance of phosphate in the Gulf of Cariaco, Venezuela. *Coastal Upwelling, Coastal and Estuarine Science* 1, (Ed. Francis A. Richards), American Geophysical Union. Washington, D. C. 274-281.
- OKUDA, T. 1982. Rate of water renewal and phosphate input in the Gulf of Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*. 21: (1 & 2): 3-12.
- PARK, K., 1967. Nutrient regeneration and preformed nutrients off Oregon. *Limnol. Oceanogr.* 12 (2): 353-357.
- PYTKOWICZ, R. M. & D. R. KESTER. 1966. Oxygen and phosphate as indicators for the deep intermediate waters in the Northeast Pacific Ocean. *Deep-Sea Res.* 13: 373-379.
- PYTKOWICZ, R. M., 1971. On the apparent oxygen utilization and the preformed phosphate in the oceans. *Limnol. Oceanogr.* 16 (1): 39-42.
- REDFIELD, A. C., B. H. KETCHUM & F. A. RICHARDS. 1963. The influence of organisms on the composition of sea water. En: *The sea: ideas and observations on progress in the study of the seas* 2: 26-77. M. N. Hill, Editor, Interscience, New York.
- 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 Gulf of Cariaco. *Deep. Sea Res.*, 7 (3): 163-182.
- . 1965. Anoxic basins and fjords. En: *Chemical Oceanography* 1: 611-645. J. P. Riley & G. Skirrow, Editors, Academic Press, London and New York.
- STEFANSSON, U., 1968. Dissolved nutrient, oxygen and water masses in the northern Irminger Sea. *Deep Sea Res.*, 15: 541-575.
- SVERDRUP, H. U., N. W. JOHNSON, & R. H. FLEMING. 1942. *The Oceans*, 1078 p., Prentice Hall, New York.

(Manuscrito recibido el 15 de noviembre de 1985).