

OXIGENO DISUELTO Y SU RELACION CON LOS NUTRIENTES EN LA BAHIA DE CONCEPCION, DURANTE UN PERIODO DE SURGENCIA *

Ramón Ahumada¹, Anny Rudolph² y Patricia Matrai¹
¹ Depto. de Biología y Tecnología del Mar, ² Depto. de Química
Pontificia Universidad Católica de Chile, Sede Regional Talcahuano
Casilla 127, Talcahuano
Chile

RESUMEN: Durante el período de surgencia se establece una alta correlación para los valores de oxígeno/fosfatos y oxígeno/nitratos en las aguas costeras adyacentes y en la Bahía de Concepción. Las proporciones encontradas son consistentes con los valores de REDFIELD *et al.* (1963) y los valores de PYTKOWICZ (1964) para la costa de Oregon.

Sobre la base del cálculo de AOU, se estiman las concentraciones teóricas de PO_4^{3-} y NO_3^- , para la columna de agua, tanto para fuera como en las aguas interiores de la Bahía. Se comparan estas concentraciones con las obtenidas experimentalmente. Los resultados hacen presumir que las diferencias encontradas: i) valores reales de fosfatos mayores que los calculados, se deberian a una acumulación de fosfatos en el tiempo, ii) valores de nitratos menores a los calculados (*i. e.*, déficit de nitratos) podrían deberse a procesos de desnitrificación que ocurren en el interior de la Bahía.

ABSTRACT: An analysis of oxygen and nutrient data obtained from Concepción Bay in October 1979, show high correlation for the upwelling period.

The correlation for values of oxygen/phosphate, oxygen/nitrate and nitrate/phosphate in coastal water (both, off and inside the bay) would suggest that all these correlations would have a biological source.

The theoretical concentration values of phosphate and nitrate were obtained from AOU. These values, were compared with the observed ones. The differences between the observed values and the theoretical ones are related with denitrification processes in the Concepción Bay.

Recibido el 21 de junio de 1984

Aceptado el 26 de septiembre de 1984

INTRODUCCION

Durante parte de la primavera, verano y comienzo de otoño se producen en la zona costera, frente a la bahía de Concepción fenómenos de surgencia de las Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS). Estas aguas que poseen bajas concentraciones de oxígeno y alto contenido de nutrientes, penetran al interior de la bahía, creando condiciones ambientales inestables para las comunidades costeras (AHUMADA y ARCOS, 1976 y AHUMADA *et al.*, 1983).

La permanencia y distribución de las aguas del mínimo de oxígeno en el interior de la Bahía, depende de los procesos de advección vertical y horizontal, producidos por los vientos locales y de los procesos de oxidación de la materia orgánica excedente, provenientes de la alta biomasa planctónica,

* Contribución de los proyectos 17/79 y 177/82 de la Dirección de Investigación de la Pontificia Universidad Católica de Chile (DIUC).

que es producto de la surgencia. Esto hace suponer que deben existir activos procesos de descomposición de la materia orgánica en los sedimentos y en las aguas adyacentes al fondo.

La producción estimada como biomasa de fitoplancton y zooplancton, en las capas superficiales de la bahía, es excepcionalmente alta *i.e.*, llegando a valores $50 \text{ mg Cl}_a \text{ m}^{-3}$ AHUMADA *et al.* (1983) y $2,7 \text{ l } 1000 \text{ m}^{-3}$ de agua filtrada (BERNAL, com. pers.). Parte de esta producción sedimenta incorporándose a los fangos reductores del fondo.

Las bajas concentraciones de oxígeno, el exceso de materia orgánica de los sedimentos (*i. e.*, valores de 160/o de materia orgánica (RUDOLPH *et al.*, 1983)) y la presencia en las aguas de altas concentraciones de nitratos determinan, que este último, sea un potencial aceptor de electrones para la oxidación de la materia orgánica (RICHARD *et al.*, 1982).

En el presente trabajo se estudian las relaciones entre oxígeno, nitrógeno y fósforo para la columna de agua en el interior de la Bahía de Concepción, con el propósito de determinar la especie química limitante para la productividad primaria. Además, de intentar explicar los cambios en la concentración de nutrientes.

MATERIALES Y METODOS

La información utilizada en el presente trabajo corresponde a muestreos realizados en un corte interior de la Bahía de Concepción y estaciones en la zona costera adyacente (Fig. 1), durante los días 28, 29 y 30 de octubre de 1979.

El contenido de oxígeno disuelto, fue determinado mediante la modificación de CARPENTER (1965) para el método de Winkler. Los nitritos y nitratos fueron analizados y cuantificados mediante el método sugerido por STRICKLAND y PARSONS (1972) y los fosfatos, fueron tratados para la formación del complejo coloreado según STRICKLAND y PARSONS (1972) y su absorbancia medida a 710 nm de longitud de onda, debido a las características del espectrofotómetro.

Para las lecturas espectrofotométricas, se usó un espectrofotómetro Perkin Elmer-Coleman 124, con celda de 10 mm para nitritos y nitratos y 100 mm para fosfatos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Una primera aproximación para comprender los procesos químicos de oxidación de la materia orgánica fue establecida por REDFIELD *et al.* (1963). Posteriormente, FROELICH *et al.* (1979) y RICHARD *et al.* (1982) basándose en el trabajo de REDFIELD *et al.* (1963) presentan modelos estequiométricos para la oxidación de la materia orgánica, en condiciones pobres de oxígeno y en condiciones anóxicas.

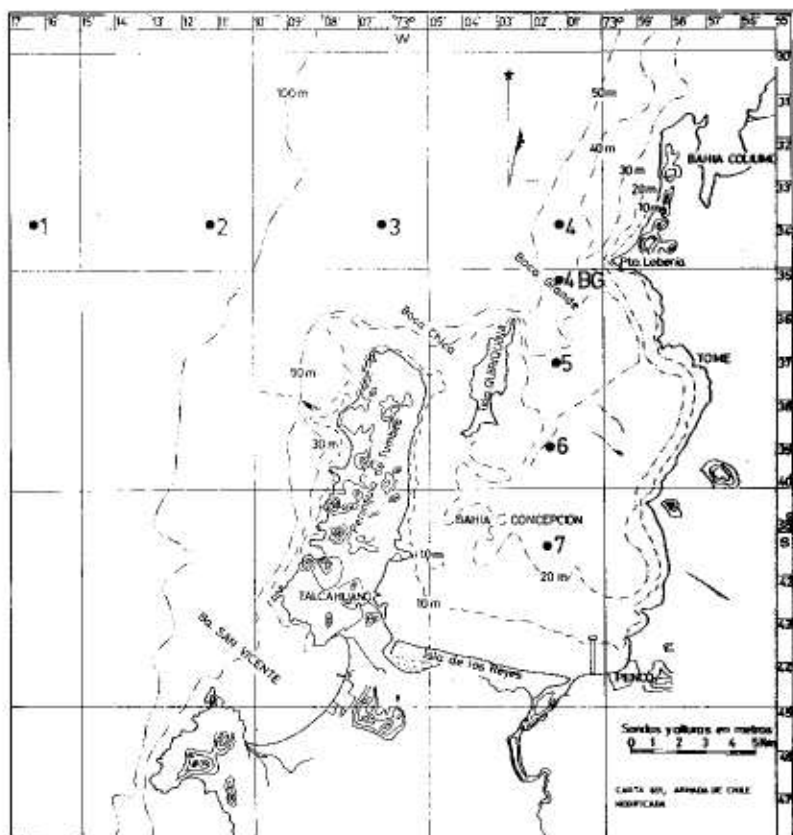


Figura 1. Ubicación de las estaciones hidrográficas cuya información fue considerada para el estudio de las relaciones oxígeno y nutrientes. La información corresponde a octubre de 1979.

Bajo la concepción de estos modelos, la aplicación de un análisis de correlación entre variables de información obtenida en la Bahía de Concepción, entregan una importante información acerca de los cambios en las concentraciones de los nutrientes estudiados y de los procesos oxidativos en la materia orgánica.

Con el objeto de buscar las relaciones que existen entre los nutrientes, se realizó un análisis de regresión entre Oxígeno/Fosfatos y Oxígeno/Nitratos. Se encontró una relación directa, con coeficientes de correlación que permiten explicar en un 92% y un 86% la dependencia del oxígeno en relación a los fosfatos y nitratos, respectivamente (Figs. 2 y 3).

La relación Oxígeno/Fosfatos para la Bahía estaría determinada por la ecuación:

$$O_2 = -2,92 (\pm 0,070) [PO_4^{3-}] + 9,18 \quad (1)$$

N= 126

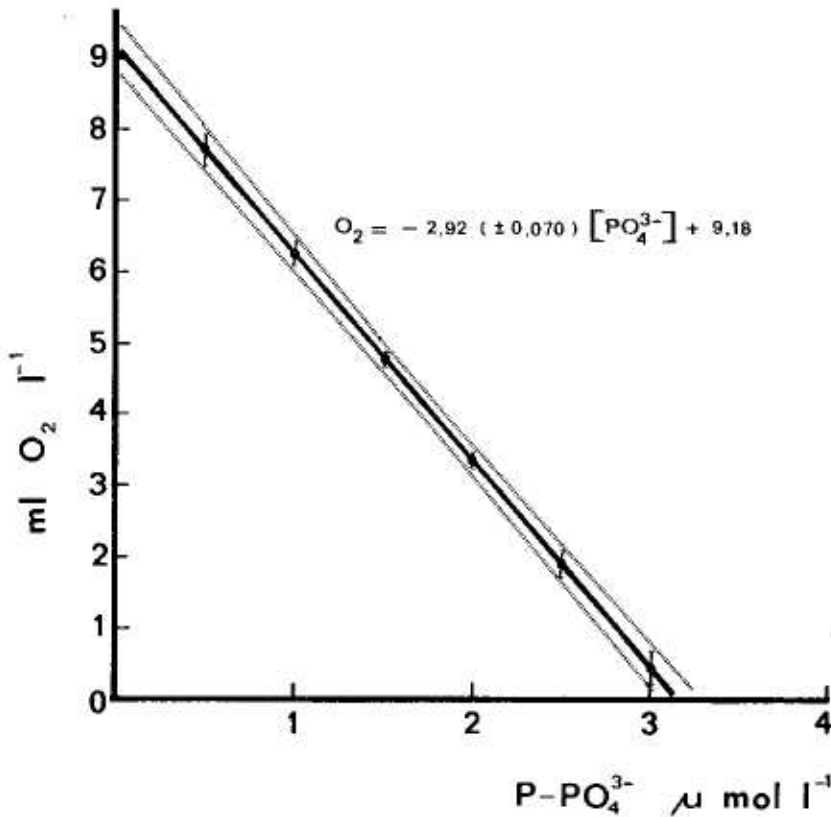


Figura 2. Relación entre Oxígeno disuelto y la concentración de Fosfatos, para la columna de agua en la zona costera frente a la Bahía de Concepción. En línea de segmentos están graficados los intervalos de confianza para el oxígeno al noventa y cinco por ciento.

donde el valor entre paréntesis corresponde al error estándar de la pendiente.

El valor del coeficiente de correlación para los 126 pares de datos es de -0,96. Esta relación obtenida para la Bahía de Concepción está de acuerdo, con los resultados de PYTKOWICZ (1964) para la costa de Oregon.

La relación Oxígeno/Nitratos estaría determinada por la ecuación:

$$O_2 = -0,27 (\pm 0,0001) [NO_3] + 8,42 \quad (2)$$

$$N = 125$$

donde el coeficiente de correlación para oxígeno/nitrato de los 125 pares de datos es -0,93 y explica el 86% de la variabilidad de los datos.

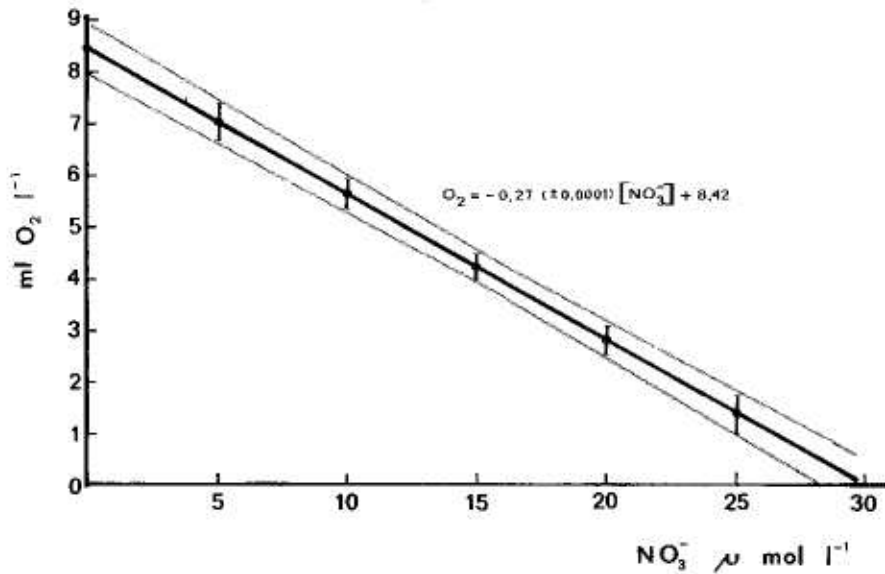


Figura 3. Relación entre Oxígeno disuelto y la concentración de Nitratos, para la columna de agua en la zona costera frente a la Bahía de Concepción. En línea de segmentos están graficados los intervalos de confianza para el oxígeno al noventa y cinco por ciento.

La correlación $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^{3-}$ para 119 pares de datos, está determinada por la ecuación:

$$[\text{NO}_3^-] = 9,78 (\pm 0,059) [\text{PO}_4^{3-}] - 1,35$$

$$N = 119$$

donde el coeficiente de correlación obtenido es $r = 0,96$ y explica un 92% de la variabilidad de los pares de datos.

Los altos valores de correlación encontrados para datos de la bahía insinúan que las concentraciones de $[\text{NO}_3^-]$ y $[\text{PO}_4^{3-}]$ tienen su origen en la oxidación de la materia orgánica. Por otra parte, el intercepto de la recta obtenida en la correlación de $[\text{NO}_3^-] / [\text{PO}_4^{3-}]$ (Fig. 4) y su pendiente 9,78 inferior al valor calculado por Redfield, sugiere la presencia de fosfatos remanentes cuando los nitratos se hacen cero.

Las relaciones Oxígeno/Nutrientes pueden expresarse en forma general como:

$$\text{O}_2 = -a \Delta \text{NUT} (t) + C$$

dónde C representa el valor de oxígeno a cero concentración de nutrientes, o el valor de saturación de oxígeno, por lo tanto:

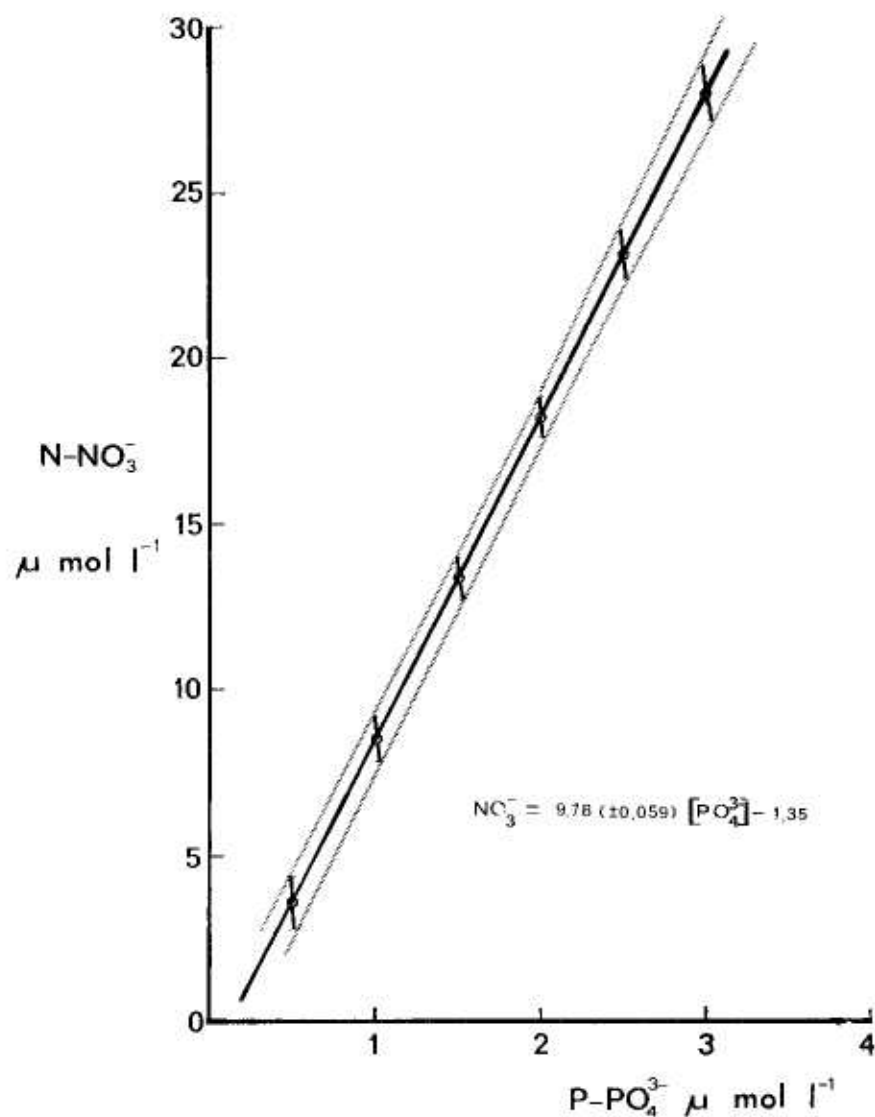


Figura 4. Relación entre las concentraciones de Nitrato y Fosfato, para la columna de agua en la zona costera frente a la Bahía de Concepción. En línea de segmentos están graficados los intervalos de confianza para el nitratos al noventa y cinco por ciento.

$$O_2 - C = -a \Delta NUT(t)$$

$$AOU = -a \Delta NUT(t)$$

$$\Delta NUT(t) = -1/a \text{ AOU}$$

por otra parte:

$$\Delta O_2 / \Delta NUT(t) = -a$$

Según REDFIELD *et al.*, (1963) $\Delta O_2/\Delta PO_4^{3-} = -276$ en proporciones atómicas ó 3,09 ml $O_2/1$ por $\mu\text{mol } [PO_4^{3-}]$ y $\Delta O_2/\Delta [NO_3^-] = -17,25$ en proporciones atómicas ó -0,19 en ml $O_2/1$ por $\mu\text{mol } [NO_3^-]$

Para la Bahía de Concepción los resultados empíricos muestran una relación $\Delta O_2/\Delta PO_4^{3-} = -2,92$ y $\Delta O_2/\Delta NO_3^- = -0,27$, expresados en ml $O_2/1$ ó -260,53 y -24,64 $\mu\text{moles de } O_2$ respectivamente (Tabla I).

TABLA I. Relaciones entre las variaciones de oxígeno-fosfatos, oxígeno-nitrato y nitrato-fosfato y sus valores para la Bahía de Concepción.

RELACIONES	EQUIVALENCIA ml O_2 l $^{-1}$	PROPORCIONES ATOMICAS
$\Delta O_2/\Delta PO_4^{3-}$	-2,92	-260,53 : 1
$\Delta O_2/\Delta NO_3^-$	-0,27	- 24,64 : 1
$\Delta NO_3^-/\Delta PO_4^{3-}$	10,57	9,78 : 1

Las proporciones atómicas calculadas para la Bahía de Concepción son O:N:P = -260:9,78: 1.

Las diferencias encontradas en las relaciones $O_2/\Delta NUT$ para la Bahía en relación a los valores establecidos por REDFIELD *et al.* (1963), pueden indicar variación en la composición de la materia orgánica o bien diferencias en la velocidad de sus procesos oxidativos (PYTKOWICK, 1964). La pendiente -2,92 ($\pm 0,070$) para la relación $\Delta O_2/\Delta PO_4^{3-}$ corresponde al valor de -3,09 dado por REDFIELD *et al.*, (1963), sugiere un alto contenido de fosfatos inorgánicos en el interior de la Bahía durante el período en estudio. A diferencia del valor -2,27 ($\pm 0,0001$) para la relación $\Delta O_2/\Delta NO_3^-$ (cuyo valor teórico es -0,19 según REDFIELD *et al.* (1963)), que sugeriría valores menores para la concentración de nitratos en el interior de la Bahía. Estas relaciones quedan en evidencia al observar la relación atómica empírica obtenida para O: N: P, que es de -260: 9,78: 1.

La menor proporción de los nitratos, respecto de los fosfatos, encontrados en la Bahía de Concepción, y considerando los requerimientos del fito-plancton establecido por REDFIELD *et al.* (1963), determinan un comportamiento de ellos como un nutriente limitante en este ecosistema. Dentro del mismo contexto, la baja proporcionalidad del oxígeno disuelto se debería a que el contenido de oxígeno de las AESS, durante su tiempo de residencia, sería incapaz de oxidar la materia orgánica producida al interior de la Bahía. En estas condiciones, los nitratos se comportarían como el aceptor de electrones siguiente en el proceso de oxidación orgánica (FROELICH *et al.*, 1979; RICHARDS *et al.*, 1982).

Por otra parte, se puede calcular los nutrientes (*i.e.*, PO_4^{3-} y NO_3^-) para la Bahía a partir del AOU, con las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} [\text{PO}_4^{3-}] &= -1/2,92 \text{ AOU} \\ [\text{NO}_3^-] &= -1/0,27 \text{ AOU} \end{aligned} \quad (3)$$

A partir del AOU y utilizando las ecuaciones (3) se calculó los valores teóricos de nutrientes para cada nivel de profundidad. La información así obtenida, para la Estación 1 fuera de la Bahía, como para las Estaciones 4 y 5 de las aguas interiores, se integró a través de la columna desde el nivel más profundo hasta la profundidad del 100% de saturación de oxígeno. El mismo proceso de integración se siguió para las concentraciones de nutrientes observadas (Tabla II).

La Tabla III presenta, con propósitos comparativos, los valores promedios integrados de las estaciones externas e internas de la Bahía, expresadas en $\mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{m}$. Las diferencias positivas entre las concentraciones de fosfatos observadas y calculadas; se hacen notoriamente menores (*i.e.*, $0,107 - 0,056 \mu\text{mol cm}^{-2}\text{m}^{-1}$) hacia el interior de la Bahía (Tabla III). En cambio, los promedios de los valores de fosfatos observados para la máxima profundidad (*i.e.*, muestras obtenidas a dos metros sobre el fondo), muestran un incremento de la concentración hacia el interior de la Bahía (*i.e.*, $2,78 - 3,05 \mu\text{mol}$) (Tabla IV).

Esta aparente discrepancia se debe a la normalización de los valores de nutrientes que promedia efectos y procesos que tienen lugar a distintos niveles de la columna de agua (*e.g.*, procesos de advección vertical, difusión turbulenta, consumo de fosfatos y nitratos en superficie por parte del fitoplancton, etc.). Por otra parte, el incremento de las concentraciones de fosfatos de las aguas cercanas al fondo, sugiere la entrada de fosfatos al sistema proveniente de la actividad química en los sedimentos.

En relación a los nitratos, las diferencias son positivas, entre los valores observados y calculados en las aguas exteriores; y llega a ser negativo $-1,33$ ó $-1,69 \mu\text{mol}$, hacia el interior de la Bahía. Los valores negativos (Tabla II) indican que los nitratos calculados son mayores que los observados en las Estaciones 4 y 5, (interior de la Bahía) e indicaría una tasa de utilización aparente. Esta disminución se produce en condiciones subóxicas que caracterizan a un fenómeno de surgencia en la Bahía (AHUMADA *et al.*, 1983), y es concordante con la disminución de las concentraciones promedio de nitratos entre los valores observados y calculados (*i.e.*, $1,129 - 0,039 \mu\text{mol cm}^{-2} \text{m}^{-1}$) hacia el interior de la Bahía (Tabla III). Además, esto es consistente con la disminución de los valores absolutos encontrados a la máxima profundidad (*i.e.*, $27,70 - 12,50 \mu\text{mol}$), (Tabla IV).

Información de concentraciones de nitritos observados, fueron integrados a través de la columna de agua para estudiar su distribución (Tabla II). Los resultados muestran un aumento significativo de las concentraciones

TABLA II. AOU, PO_4^{3-} , NO_3^- y NO_2^- Integrados a 1 cm² de superficie para la columna de agua, bajo el punto de saturación.

Día Est.	Z columna agua integrada [m]	AOU (integrado) [ml/cm ²]	PO_4 observ. (bajo 100%/o SAT.) [μM/cm ²]	PO_4^{3-} Calculados [μM/cm ²]	ΔPO_4 [μM/cm ²]	NO_3^- obs. (bajo 100%/o SAT.) [μM/cm ²]	NO_3^- Calculado [μM/cm ²]	ΔNO_3^- [μM/cm ²]	NO_2^- obs. (bajo 100%/o SAT.) [μM/cm ²]
1/1	88,0	35,05	21,98	12,00	9,98	219,85	129,81	90,04	3,52
2/1	85,5	37,14	20,99	12,72	8,27	227,66	137,55	90,11	2,12
3/1	67,0	21,91	15,00	7,50	7,50	171,48	81,15	91,33	1,64
$\bar{X} = 80,16$					$\bar{X} = 8,58$			$\bar{X} = 90,49$	$\bar{X} = 2,43$
1/4	34,0	15,74	8,41	5,39	3,02	60,94	58,30	2,64	0,73
2/4	32,0	13,13	6,77	4,50	2,27	56,15	48,63	7,52	1,44
3/4	22,0	9,04	3,99	3,10	0,89	32,15	33,48	-1,33	1,40
$\bar{X} = 29,33$					$\bar{X} = 2,06$			$\bar{X} = 2,94$	$\bar{X} = 1,19$
1/5	23,0	9,18	4,36	3,14	1,22	34,30	34,00	0,30	1,13
2/5	22,5	10,92	4,74	3,74	1,00	38,75	40,44	-1,69	1,09
3/5	18,0	5,47	3,21	1,87	1,34	24,18	20,26	3,92	1,44
$\bar{X} = 21,17$					$\bar{X} = 1,19$			$\bar{X} = 0,84$	$\bar{X} = 1,22$

TABLA III. Diferencias obtenidas entre los nutrientes observados y calculados para la Bahía de Concepción. Se expresan en $\mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{m}$.

ESTACIONES	$\bar{X} \text{PO}_4^{3-}$	$\bar{X} \text{NO}_3^-$	$\bar{X} \text{NO}_3^-$ (observado)
1	0,107	1,129	0,03
4	0,070	0,100	0,04
5	0,056	0,039	0,06

TABLA IV. Valores promedio de la concentración de nutrientes para la máxima profundidad de muestreo (ca. 2m sobre el fondo) para estaciones ubicadas fuera y en el interior de la Bahía de Concepción.

Nutrientes μmol	Fuera de la bahía	Boca de la bahía	Interior de la bahía	Cabeza de bahía
$[\text{PO}_4^{3-}]$	2,78	2,92	2,96	3,05
$[\text{NO}_3^-]$	27,70	25,26	24,56	12,50
$[\text{NO}_2^-]$	0,50	0,43	1,07	2,03

en el interior de la Bahía en relación a lo observado fuera de ella (*i.e.*, 0,03 - 0,06 μmol) (Tabla III) y un aumento en el nivel de máxima profundidad de muestreo (*i.e.*, 0,50 - 2,03 μmol) a diferencia de lo observado en los nitratos (ver Tabla IV).

CONCLUSIONES

1. Los altos coeficientes de correlación calculados para los valores de oxígeno/fosfatos, oxígeno/nitratos y nitratos/fosfatos permiten concluir que la variabilidad de nitratos y fosfatos, durante este período, está regida por procesos bioquímicos de oxidación de la materia orgánica.

2. Las mayores variaciones en la concentración se presentan en el oxígeno disuelto y los nitratos.

3. La utilización aparente de nitratos, *i.e.*, disminución en las concentraciones de nitratos en el interior de la bahía y el consecuente aumento de formas reducidas en los compuestos del nitrógeno inorgánico indican que los nitratos serían uno de los compuestos que se comportan como dadores de electrones para la oxidación de la materia orgánica.

4. Las diferencias en las concentraciones de los compuestos inorgánicos del nitrógeno se producirían debido a: la duración relativa de períodos de

descomposición de la materia orgánica en condiciones oxigenadas, subóxicas y anóxicas, que presenta el régimen hidrográfico de la Bahía de Concepción.

5. Al comparar los valores teóricos de nutrientes calculados a partir del AOU con los observados, se concluye que la condición de anoxia de los sedimentos, la baja profundidad de la bahía y los procesos dinámicos que ocurren simultáneamente, en la columna de agua y sedimentos, producen reacciones químicas acopladas, que hacen diferentes las concentraciones de los nutrientes de las aguas exteriores e interiores de la bahía.

6. Por último los resultados insinúan una disminución de nitratos y un aumento de nitritos y fosfatos, durante las condiciones de reducción, en las aguas interiores de la bahía; lo que podría explicarse como un proceso de remineralización de la materia orgánica y un proceso simultáneo de desnitrificación.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer los comentarios hechos al manuscrito por el Dr. Patricio Bernal, Dr. Lisandro Chuecas y Profesor Nelson Silva. Además agradecemos a la Srta. Eliana Figueroa y Sra. Nelly Faúndez, por la transcripción dactilográfica.

REFERENCIAS

- AHUMADA, R. y D. ARCOS. 1976. Descripción de un fenómeno de varada y mortandad en la Bahía de Concepción, Chile. *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur*, 5:101-111.
- AHUMADA, R.; A. RUDOLPH and V. MARTINEZ. 1983. Circulation and fertility of waters in Concepción Bay. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 16: 95-105.
- AHUMADA, R.; A. RUDOLPH and V. MARTINEZ. 1983. Circulation and fertility of waters in Concepción Bay. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 16: 95-105.
- CARPENTER, J.H. 1965. The Chesapeake Bay Institute technique for the technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. Oceanogr.*, 10:141-143.
- FROELICH, P.N.; P.G. KLINKHAMMER; M.L. BENDER; N. LUFDLKE; G. HEATH; D. CULLING; P. DAUPHIN; D. HAMMOND; B. HARTMAN and V. MAYNARD. 1979. Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial atlantic; suboxic diagenesis. *Geochim. Cosmochim., ACTA* 43(7): 1075-1089.
- PYTKOWICZ, R.M. 1964. Oxygen exchange rates off the Oregon Coast. *Deep. Sea. Res.*, 11: 381-389.
- REDFIELD, A.C.; B.H. KETCHUM and A. RICHARDS. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. *In: The sea*, vol. 2 (M.N. Hill. Ed.) Interscience Publishers, 2: 26-77.
- RICHARD A. J.; S.R. EMERSON and J.W. MURRAY. 1982. A model of oxygen reduction, denitrification, and organic matter mineralization in marine sediments. *Limnol. Oceanogr.*, 27 (4): 610-623.

- RICHARDS, F. 1977. Marine Areas of Anomalous Chemistry resulting from oxygen deficiencies. *In: Oceanic Sound Scattering Prediction Mar Science*. (N.R. Andersen and B.J. Zhuravac. Eds.) Plenum. Press 177-127.
- RUDOLPH A.; R. AHUMADA y S. HERNANDEZ. 1983. Distribución de la materia orgánica, Carbono Orgánico, Nitrogeno Orgánico y Fósforo Total en los sedimentos recientes de la Bahía de Concepción, Chile. Sometido a comité editor, *Biología Pesquera*, Nº 13.
- STRICKLAND, J.D.H. and T.R. PARSONS. 1972. A practical handbook of Seawater analysis. *Bull. Fis. Res. Bd. Can.*, 167: 1-311.