

Comparación fisicoquímica de las lagunas de Alvarado y Términos

Guadalupe de la Lanza Espino
y Héctor Lozano Montes

Instituto de Biología, UNAM, Apdo. Postal 70-153, C. P. 04510.

De la Lanza Espino, G. y H. Lozano Montes, 1999. Comparación fisicoquímica de las lagunas de Alvarado y Términos. *Hidrobiológica* 9 (1): 15-30.

RESUMEN

Los sistemas lagunares de Alvarado y Términos, son de los ambientes más importantes en el Golfo de México que han experimentado un incremento de las actividades antropogénicas en sus áreas circundantes terrestres, que pueden influir en las características fisicoquímicas y biológicas. Por lo anterior, en el presente estudio se evalúan y analizan las condiciones ambientales en ambas lagunas, a través de: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes, clorofila "a" y producción primaria. La Laguna de Alvarado comparada con la de Términos, registró las mayores fluctuaciones estacionales; los nitritos con un intervalo mensual promedio de indetectable a $9 \mu\text{g}/\text{l}$, los $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ fueron de 35 a 140 veces mayores, dos veces menos productiva, reflejo de un posible impacto por actividades humanas; los productos de excreción fueron 63 veces menores. La condición eutrófica es un hecho y de continuar las descargas de materiales en la Laguna de Alvarado, se sobrepasará la capacidad autodepuradora y de reciclamiento.

Palabras clave: Fisisicoquímica lagunar.

ABSTRACT

The lagoon systems of Alvarado and Terminos are two of the most important estuarine environments of the Gulf of Mexico, which have an increase in anthropogenic activity in the surrounding areas that can influence in a regional physicochemical and biological characteristics. This paper evaluates the of both lagoons, through temperature, salinity, dissolved oxygen, nutrients, chlorophyll "a" and primary production. Compared to the Terminos Lagoon. Alvarado Lagoon, registered a high seasonal fluctuation, the nitrites had a monthly rate from indetectable to $9 \mu\text{g}/\text{l}$, nitrates, plus nitrites were 35 to 140 times greather, and it is twice less productive. This condition is the result of human activities. The excretion products were 63 times lower than in Terminos Lagoon. Alvarado Lagoon is eutrophic and, if waste discharges continue, the lagoon will lose its depuration and nutrient recycling capacity.

Key words: Physicochemical lagoon.

INTRODUCCIÓN

Una laguna costera es una zona de mezcla, donde intercambian dos masas de agua, la de origen epicontinental a través de los ríos tributarios y la otra de origen marino por medio de bocas naturales, canales artificiales o mareas, que junto con la morfología y dinámica de corrientes, favorece a la formación de diferentes ambientes, que representan un adecuado hábitat de reclutamiento y

crecimiento para un número significativo de especies de importancia comercial (De la Lanza *et al.*, 1991).

En el Golfo de México existen 23 sistemas lagunares (Botello *et al.*, 1992), de éstos destacan Alvarado y Términos, entre otros, tanto por sus dimensiones como por sus pesquerías y han sido objeto de múltiples y diversos estudios con diferentes enfoques, tanto de su fauna y flora, como de su geología y condiciones fisicoquímicas.

El estudio de los ciclos hidrológicos en las lagunas costeras es importante no solamente por su alta dinámica, como resultado de la interacción de la zona terrestre con la marina, sino también por el incremento de las actividades antropogénicas en el área adyacente terrestre; lo cual provoca que existan cambios locales y regionales en las características hidrológicas, que repercuten en los aspectos tanto de producción primaria como pesquera. En el Estado de Veracruz, la Laguna de Alvarado es la que ha registrado los mayores niveles de plaguicidas organoclorados que otros sistemas lagunares del Golfo de México y es posible de fertilizantes empleados en la agricultura. En cambio, la Laguna de Términos no ha experimentado grandes incrementos de plaguicidas de origen agroquímico (Botello *et al.*, 1992). Anuado al desarrollo y la escasa planeación sobre tratamientos de los desechos, se ha provocado que estos cuerpos acuáticos sean receptores de aguas residuales, de forma tal que las descargas puedan sobrepasar el reciclamiento de nutrientes del sistema, alterando sus características fisicoquímicas.

Tomando como base estos dos sistemas lagunares de condiciones hidrológicas, morfológicas y de actividades antropocéntricas circundantes contrastantes, en el presente trabajo se desarrolla un análisis de las características fisicoquímicas del agua y de su producción primaria, tendiente a compararlas en el espacio y en el tiempo.

ÁREA DE ESTUDIO

El sistema lagunar de Alvarado se encuentra localizado en la porción suroccidental del Golfo de México, al sureste

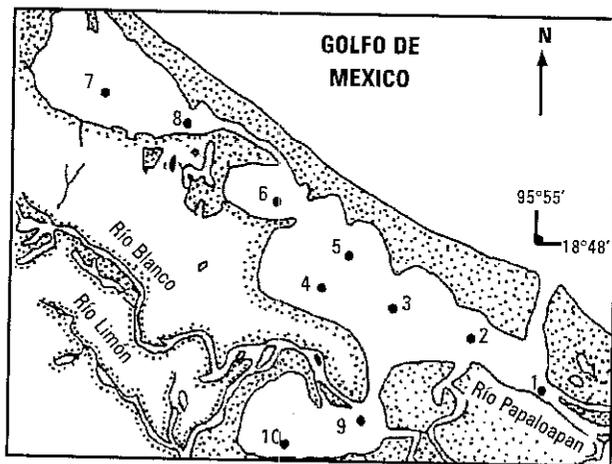


Figura 1. Estaciones de muestreo en la Laguna de Alvarado: 1) Boca del Papaloapan 2) Punta Chica 3) Punta Grande 4) Centro de la Laguna 5) Arbolillo 6) Buen País 7-8) Camaronera 9-10) Tlalixcoyan.

del Estado de Veracruz entre los paralelos 18°46'-18°42'N y 95°34'-95°58'O (Castañeda y Contreras, 1994) (Fig. 1).

Es de forma alargada y corre paralelamente a la línea de costa, con una longitud aproximada de 26 km desde la punta oeste de la Isla Vives hasta el extremo noroeste de la Laguna Camaronera, con 5 km de anchura máxima, un área de 80.6 km² y una profundidad media de 2.5 m. El clima es del tipo AW₂ (García, 1972) que corresponde al cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 26°C y la media del mes más frío por arriba de 18°C; con tres épocas del año definidas: a) temporada de secas de marzo a mayo cuando sólo la parte sureste del sistema lagunar recibe la influencia del agua dulce de los ríos Blanco y Papaloapan; b) temporada de lluvias de mayo a septiembre que en ocasiones se extiende hasta octubre, produciendo un descenso en la salinidad de la laguna, tanto por los aporte de los ríos como por las precipitaciones; c) temporada de nortes de noviembre a febrero, caracterizada por lluvias con descensos de la temperatura y fuertes vientos, que provocan turbulencia y aumento de la turbidez.

El sistema se encuentra delimitado por una barrera arenosa (Barrera de Alvarado) y está constituido por tres cuerpos lagunares interiores: a) El central (Laguna de Alvarado) que se comunica al sur con; b) la Laguna de Tlalixcoyan, c) la Laguna Camaronera que recibía agua marina mediante el canal construido en 1980 (Rosales *et al.*, 1986) y cerrado hace dos años.

Los principales ríos que desembocan en la laguna son el Papaloapan al sureste, con el mayor escurrimiento anual promedio, de 2.1 x 10³ m³/año (Sría. de Comunicaciones y Edo. de Veracruz, 1976), el Blanco y el Limón al suroeste en la Laguna de Tlalixcoyan que cruzan zonas de agricultura de temporal y cultivo anual como El Jicote, Ignacio de la Llave, Piedras Negras y Cocoite (SEDAP, 1992). El Río Blanco es considerado como uno de los más contaminados del mundo (Rosales *et al.*, 1986) y el Río Acula que se conecta con el cuerpo de agua central. El sistema lagunar de Alvarado posee áreas someras, con máximos de profundidad de 4.5 m en el centro de la laguna, con sedimentos calcáreos, arenosos y limosos. Por el lado interno de la barrera de Alvarado, se localizan grandes praderas de *Ruppia maritima* y la mayor parte del contorno de la laguna se encuentra conformada por manglares.

El sistema lagunar de Términos se sitúa en el sur del Golfo de México, en el Estado de Campeche entre los 18°24' y 19°00' N y los 91°15' y 92°00' O (Fig. 2).

La Laguna de Términos es de las más grandes del país con una longitud de 70 km y un ancho de 28 km, con un área de 1566.5 km² y una profundidad media de 3.5 m y en

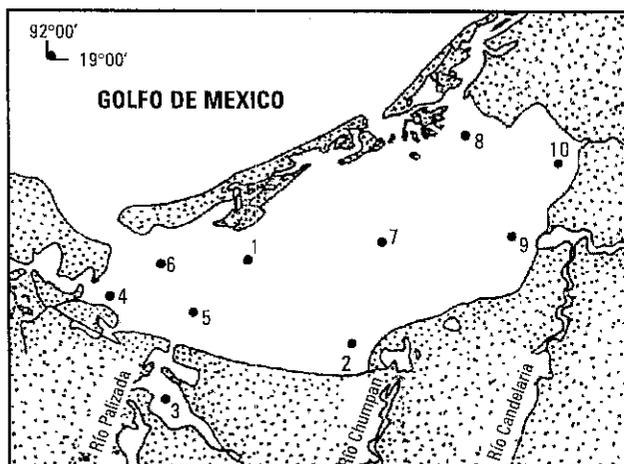


Figura 2. Estaciones de muestreo en la Laguna de Términos: 1) El Cayo 2) Boca del Río Chumpan 3) Laguna del Este 4) Atasta 5-6) Boca del Carmen 7) Centro de la Laguna 8) Isla Pajaros 9) Panlau 10) Punta Piedra.

áreas protegidas es de 1.9 m o menos (Ley-Lou, 1979). Está separada del mar por Isla del Carmen, formada por una barrera de 37.5 km en sentido NE-SW (Gómez, 1975) y comunicada con el mar a través de dos bocas denominadas Boca de Puerto Real al noreste y Boca del Carmen al noroeste. Su clima es de tipo AMW (García, 1973), cálido húmedo isotermal, con una estación lluviosa de junio a octubre, una época de nortes de noviembre a marzo y una seca de abril a junio.

Los vientos dominantes presentan dirección NE y SE (4-6 m/s), provocando una circulación de este a oeste con un flujo neto de 1.35 m/s (Páez-Ozuna *et al.*, 1987). Los tres ríos tributarios principales son el Río Palizada (70%) que forma parte de la red hidrológica de los ríos Mexcalapa, Grijalva y Usumacinta con un aporte medio anual de $9.6 \times 10^3 \text{ m}^3$, el Río Candelaria (con 20%) cuya cuenca se localiza en la Península de Yucatán en una pequeña porción de Guatemala con $1.69 \times 10^3 \text{ m}^3$, el Río Chumpan (5%) que se forma en la planicie costera por los ríos San Joaquín y Salsipuedes con $4.34 \times 10^3 \text{ m}^3$. La descarga promedio anual de los ríos es de $6 \times 10^3 \text{ m}^3$ (Phleger y Ayala-Gastañares, 1971).

La laguna se encuentra en el área de transición sedimentológica entre la provincia terrígena y la carbonatada del sureste del Golfo de México (Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil, 1983). Las principales fuentes de sedimento de Términos son de tipo fluvial y calcáreo, los primeros predominan al sur y oeste y los segundos en la Boca de Puerto Real (70%

de CaCO_3) y adyacentes a la Isla del Carmen (Páez-Osuna *et al.*, 1987).

Las márgenes de la Laguna de Términos están cubiertas de manglar que se vuelve más denso al sureste y en la parte sur-sureste de la Isla del Carmen, con predominio de *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* (Gómez, 1974; De la Lanza *et al.*, 1993). En la Laguna de Términos, *Thalassia testudinum* ha sido reconocida como la fanerógama acuática más abundante que se distribuye principalmente detrás de la barra, Boca de Puerto Real e Isla Pájaros (De la Lanza *et al.*, 1993).

MATERIALES Y MÉTODO

Durante un ciclo anual (1986-87) se realizaron en la Laguna de Alvarado cuatro muestreos: en marzo y mayo (época de secas), septiembre (lluvias) y diciembre (época de nortes) para determinar la variación temporal y espacial de los parámetros fisicoquímicos y biológicos. En la Laguna de Términos se muestreó en tres ocasiones: abril (secas), junio (lluvias) y noviembre (nortes). En ambas lagunas se establecieron 10 localidades de muestreo, cuyas ubicaciones se presentan en las figuras 1 y 2, respectivamente. Se eligieron aquellas estaciones de muestreo que cubrieran distintas condiciones fisicoquímicas, como flujo de ríos, aislamiento geomorfológico, influencia de actividades antropogénicas, comunicación marina y la parte central del sistema lagunar.

Los muestreos se efectuaron sólo a nivel superficial del agua, considerando la escasa profundidad y para ser comparadas; determinándose los siguientes parámetros: temperatura y salinidad del agua, *in situ* a través de un termómetro convencional con una escala de $0 \text{ a } 100^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$ y un refractómetro portátil, marca American Optical (± 1 ups), respectivamente. Las muestras para los fisicoquímicos: oxígeno disuelto por el método de Winkler, nutrientes por las técnicas espectrofotométricas (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ y PO_4^{3-}) según Strickland y Parsons (1972), la clorofila "a" extraída con acetona al 90% según Steemann-Nielsen (1967) y la producción primaria con base en el método del C^{14} de Steemann-Nielsen (1967). Los productos de excreción provenientes de la producción primaria se determinaron en el agua filtrada procedente del análisis de la producción, según lo propuesto por Sharp (1977).

Para el análisis espacio temporal de cada laguna y la comparación entre ambas, se consideraron los promedios mensuales de las variables físicas, químicas y biológicas de las estaciones de muestreo.

RESULTADOS

Temperatura

En Alvarado el promedio mensual fue de 29.5° C en mayo y septiembre (secas y lluvias) y 21.8° C en diciembre (nortes) (Fig. 3A). La región más caliente correspondió al sureste con 28.3° y la mínima al suroeste con 26.8° C promedio anuales. La Laguna de Tlalixcoyan presentó la mínima con 26.7° C (Tablas 1 a 4).

En la Laguna de Términos, la variación temporal fue de 31.6° C en junio (lluvias), 26° C en noviembre (nortes) a 25.9° C en abril (secas) (Fig. 3A). La región más caliente correspondió al noreste con 28.7° C y la menor al noroeste con 27.3° C promedio anual (Tablas 5 a 7).

El ciclo térmico superficial anual mostró que ambas lagunas tuvieron un intervalo de variación semejante de 9° C. En Alvarado fluctuó de 21° C en diciembre (época de nortes) a 30.5° C en mayo (sequías) y en Términos fue de 24° C en noviembre (época de nortes) a 33° C durante junio (lluvias).

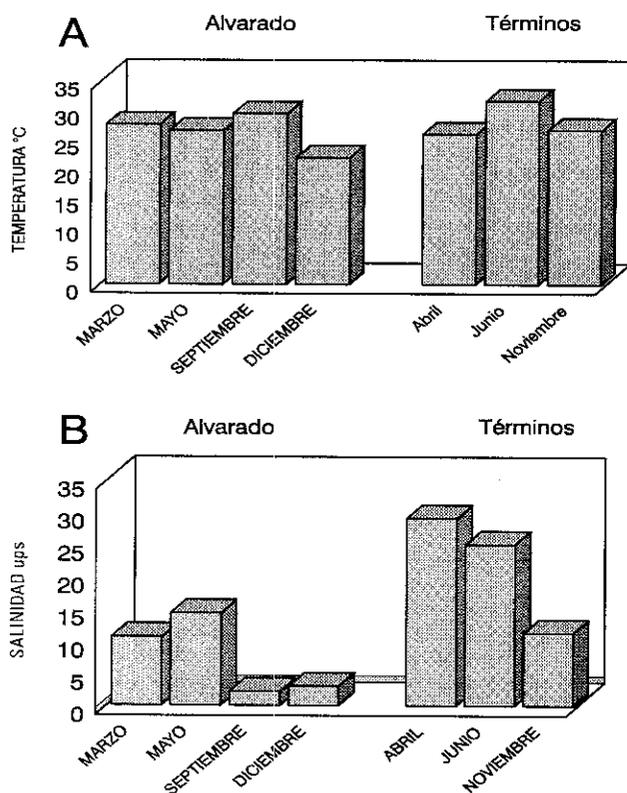


Figura 3. Comparación térmica (A) y halina (B) en el espacio y tiempo de dos lagunas costeras.

Salinidad

La Laguna de Alvarado presentó el máximo en mayo con 14.3 ups y el mínimo en septiembre con 2.2 ups (Fig. 3B). La región más salina fue el noreste con 13.1 ups y la menor al sureste con 3.7 ups, donde se encuentra la boca del Río Papaloapan (Fig. 3B). Anualmente, la Laguna Camaronera fue la de mayor salinidad con 13.1 ups y la Laguna de Tlalixcoyan la menor con 6 ups (Tablas 1 a 4).

En la Laguna de Términos el máximo fue en abril con 29.0 ups y el mínimo en noviembre con 10.0 ups (Fig. 3B), patrón diferente al de la temperatura. Especialmente, la región más salina correspondió al noreste o Puerto Real e Isla de Pájaros con 27.3 y 29.5 ups y la menos salina al suroeste en la boca de la Laguna del Este y Río Chumpán con 13.3 y 18 ups (Tablas 5 a 7).

El promedio anual de Alvarado fue de 7.5 ups, mientras el de Términos fue de 21.8 ups. La primera mostró mayor heterogeneidad en sus concentraciones durante el ciclo con 0.0 ups en la boca del Papaloapan (septiembre) y 18 ups en la Laguna Camaronera (mayo).

Oxígeno Disuelto y Porcentaje de Saturación

En el sistema lagunar de Alvarado el máximo promedio mensual de oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación fueron en marzo con 6.5 ml O₂/l y 129.5%, respectivamente, y el mínimo en septiembre con 4.6 ml O₂/l y 81% (Fig. 4A-B). En la Laguna Camaronera el máximo anual fue 6.2 ml O₂/l y 124.4% y en la Laguna de Tlalixcoyan el mínimo con 4.4 ml O₂/l y 80.7%. Por región el noreste fue el mayor con 6.1 ml O₂/l y 115%, y el sureste el mínimo con 3.6 ml O₂/l y 84%, coincidente con la salinidad (Tablas 1 a 4).

La variación temporal del contenido de oxígeno y su saturación en la Laguna de Términos mostró el máximo promedio mensual en abril con 5.2 ml O₂/l y 110.3% y el mínimo en junio con 4.1 ml O₂/l y 94.1% (Fig. 4A-B). Isla Pájaros y El Cayo fueron las estaciones con el mayor promedio anual, ambas con 6.1 ml O₂/l y la menor en el Río Chumpán con 4.2 ml O₂/l. La región de mayor saturación fue la noroeste con 130% (5.6 ml O₂/l) y la menor la sureste con 83.5% (4.2 ml O₂/l) (Tablas 5 a 7).

Ambas lagunas fueron semejantes en los promedios anuales del porcentaje de saturación. Alvarado tuvo en promedio 105.8% y Términos 101.7%. En Alvarado fue más heterogénea la saturación, ya que en septiembre varió de 31.1% (1.6 ml O₂/l) en la Laguna de Tlalixcoyan a 166% (6.2 ml O₂/l) en Arbolillo; el bajo contenido cercano a la anoxia de las aguas de la primera localidad se puede relacionar con actividades antropogénicas en los ríos que llevan aguas residuales de poblados (Aguirre-Martínez, 1982).

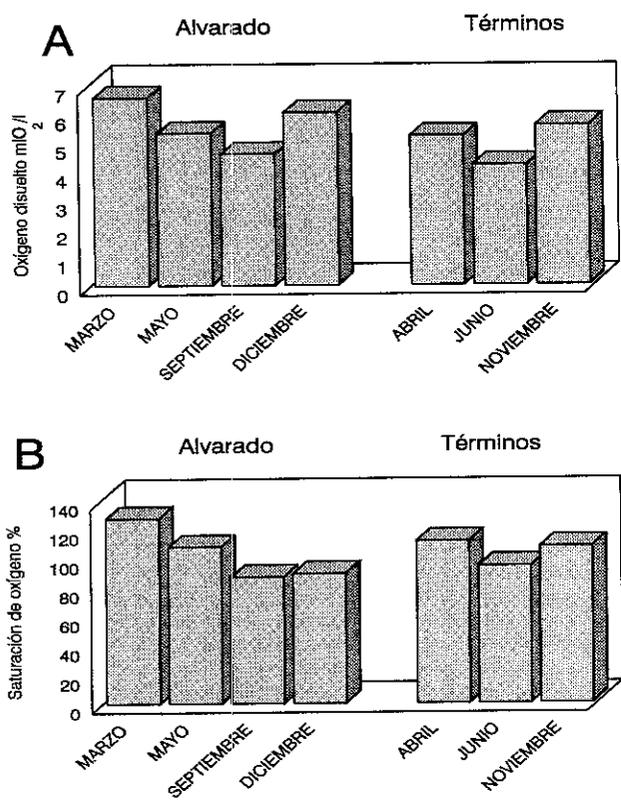


Figura 4. Comparación del contenido de oxígeno (A) y su saturación (B) en el espacio y tiempo de dos lagunas costeras.

Nitritos

La variación temporal promedio de nitritos en la Laguna de Alvarado fue de indetectable a 7.4 $\mu\text{g atN-NO}_2^-/\text{l}$, con su máximo en diciembre y su mínimo en marzo (Fig. 5A). La Laguna de Tlalixcoyan tuvo el mayor contenido anual promedio con 5 $\mu\text{g atN-NO}_2^-/\text{l}$ y el centro de la laguna el menor con 1.5 $\mu\text{g atN-NO}_2^-/\text{l}$. La región de mayor concentración correspondió al sureste con 4.8 $\mu\text{g atN-NO}_2^-/\text{l}$ y la menor al centro de la laguna con 1.5 $\mu\text{g atN-NO}_2^-/\text{l}$ (Tablas 1 a 4).

En la Laguna de Términos se registró el máximo promedio mensual en junio con 0.2 $\mu\text{g atN-NO}_2^-/\text{l}$ y el mínimo en noviembre con 0.1 $\mu\text{g atN-NO}_2^-/\text{l}$ (Fig. 5A). La boca de la Laguna del Este, que recibe el aporte del Río Palizada, fue la de mayor concentración anual (0.3 $\mu\text{g atN-NO}_2^-/\text{l}$) y en Puerto Real se presentó la mínima (0.02 $\mu\text{g atN-NO}_2^-/\text{l}$). Por región, la del mayor contenido anual promedio fue la suroeste (0.3 $\mu\text{g atN-NO}_2^-/\text{l}$) y la de menor la noroeste (0.02 $\mu\text{g atN-NO}_2^-/\text{l}$) (Tablas 5 a 7).

El promedio anual en la Laguna de Alvarado fue 26 veces superior al registrado en Términos. La primera presentó una mayor heterogeneidad espacial y temporal, oscilando entre lo indetectable (marzo) hasta 9 $\mu\text{g atN-NO}_2^-/\text{l}$ (diciembre) de promedio mensual, incluso fue la mayor variación regional, dado que en diciembre el contenido fue

Tabla 1. Análisis fisicoquímico y de producción primaria de la laguna de Alvarado (Marzo).

Estaciones de muestreo	Temperatura °C	Salinidad ups	O. D. ml O ₂ /l	% Saturación O ₂	NO ₂ ⁻ µg at/l	NO ₃ ⁻ µg at/l	NH ₄ ⁺ µg at/l	PO ₄ ⁻ µg at/l	C ¹⁴ mcC/m ³ /h	Productos de excreción mgC/m ³ /h
Boca Río Papaloapan	27.0	5.0	6.7	124	N.D.	N.D.	0.6	0.7	77.1	0.06
Punta chica	27.0	8.0	5.3	100	N.D.	N.D.	0.4	0.7	-	-
Punta grande	29.0	10.0	8.1	159	N.D.	N.D.	0.1	0.5	13.3	0.02
Centro de la laguna	29.0	8.0	7.0	138	N.D.	N.D.	0.1	0.5	34.6	0.14
Arbolillo	26.5	12.5	6.4	123	N.D.	N.D.	0.1	1.0	-	-
Buen país	26.5	14.5	5.9	116	N.D.	N.D.		N.D.	3.0	-
Camaronera	26.5	18.0	6.2	124	N.D.	N.D.	0.1	0.1	100.9	0.14
Camaronera	28.0	16.5	6.5	131	N.D.	N.D.	0.1	0.5	-	-
Tlalixcoyan	27.0	10.0	7.2	138	N.D.	N.D.	0.1	3.9	81.6	0.02
Tlalixcoyan centro	28.5	4.0	6.1	115	N.D.	N.D.	0.1	5.6	-	-

N.D. No detectable

Tabla 2. Análisis fisicoquímico y de producción primaria de la laguna de Alvarado (Mayo).

Estaciones de muestreo	Temperatura °C	Salinidad ups	O. D. ml O ₂ /l	% Saturación O ₂	NO ₂ ⁻ µg at/l	NO ₃ ⁻ µg at/l	NH ₄ ⁺ µg at/l	PO ₄ ⁻ µg at/l	C ¹⁴ mcC/m ³ /h	Productos de excreción mgC/m ³ /h
Boca Río Papaloapan	30.0	6.0	4.1	81	4.5	47.5	5.5	0.7	0.4	N.D.
Punta chica	30.5	12.0	6.4	131	0.5	2.5	2.0	N.D.	-	-
Punta grande	30.0	14.0	6.0	123	0.3	10	2.5	0.6	0.4	N.D.
Centro de la laguna	29.5	16.0	6.0	121	0.3	N.D.	2.4	0.5	0.5	N.D.
Arbolillo	29.0	16.0	4.9	101	7.0	5.0	2.8	0.1	1.9	N.D.
Buen país	29.5	17.5	5.4	112	5.0	8.0	2.5	0.4	5.6	N.D.
Camaronera	30.0	17.5	6.0	123	5.0	42.5	3.1	0.4	2.7	N.D.
Camaronera	30.0	18.0	6.3	130	1.3	14.5	5.0	1.4	3.7	N.D.
Tlaliscoyan	28.0	14.0	2.8	55	1.0	15.0	5.0	1.8	1.4	N.D.
Tlaliscoyan centro	28.5	12.0	4.9	98	2.0	18.0	5.5	1.9	-	-

N.D. No detectable

Tabla 3. Análisis fisicoquímico y de producción primaria de la laguna de Alvarado (Septiembre).

Estaciones de muestreo	Temperatura °C	Salinidad ups	O. D. ml O ₂ /l	% Saturación O ₂	NO ₂ ⁻ µg at/l	NO ₃ ⁻ µg at/l	NH ₄ ⁺ µg at/l	PO ₄ ⁻ µg at/l	C ¹⁴ mcC/m ³ /h	Productos de excreción mgC/m ³ /h
Boca Río Papaloapan	26.8	0.0	4.2	77	7.0	165.0	7.1	1.5	20.2	0.09
Punta chica	28.5	2.0	4.5	84	7.2	65.0	2.4	1.5	-	-
Punta grande	29.0	2.0	5.0	96	7.0	21.5	3.6	1.9	24.3	0.04
Centro de la laguna	29.0	2.0	4.4	82	5.5	36.5	3.3	1.0	78.9	0.00
Arbolillo	30.0	2.0	6.1	116	2.8	8.3	4.0	1.5	150.0	0.13
Buen país	30.0	2.0	5.6	106	3.0	4.8	3.2	1.5	848.0	0.47
Camaronera	30.5	4.0	5.6	109	2.8	6.5	3.3	0.4	548.0	0.07
Camaronera	30.5	4.0	5.7	112	3.7	5.8	2.9	0.2	-	-
Tlaliscoyan	30.0	2.0	2.7	52	4.5	58.2	3.1	1.1	239.0	1.10
Tlaliscoyan centro	29.0	2.0	1.6	31	5.0	45.3	3.3	1.4	-	-

N.D. No detectable

de 0.8 µg atN-NO₂⁻/l al centro de la laguna y 13.3 µg atN-NO₂⁻/l en la Laguna de Tlaliscoyan.

Nitratos

La variación temporal y espacial de nitratos en la Laguna de Alvarado fue similar a la de los nitritos, oscilando de indetectable en marzo a 74.3 µg atN-NO₃⁻/l, en diciembre

(Fig. 5B). La desembocadura del Río Papaloapan fue la de mayor contenido anual y la Laguna Camaronera la del menor. Por región, la mayor concentración correspondió al sureste. En diciembre se determinó un máximo en el centro de la Laguna de Tlaliscoyan con 131.2 µg atN-NO₃⁻/l, que pudo obedecer a posibles escurrimientos de materiales nitrogenados de origen antropogénico a la laguna en esta época, que se pueden asociar al área circundante donde se encuentran amplios campos agrícolas (Tablas 1 a 4).

Tabla 4. Análisis fisicoquímico y de producción primaria de la laguna de Alvarado (Diciembre).

Estaciones de muestreo	Temperatura °C	Salinidad ups	O. D. ml O ₂ /l	% Saturación O ₂	NO ₂ ⁼ µg at/l	NO ₃ ⁼ µg at/l	NH ₄ ⁺ µg at/l	PO ₄ ⁼ µg at/l	C ¹⁴ mcC/m ³ /h de excreción	Productos mgC/m ³ /h
Boca Río Papaloapan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Punta chica	22.0	4.0	6.9	117	6.7	72.5	3.1	2.4	-	-
Punta grande	21.0	5.0	6.2	104	9.3	81.3	2.4	2.0	8.3	0.04
Centro de la laguna	22.0	4.0	6.6	111	8.0	71.3	2.1	4.5	0.5	0.35
Arbolillo	22.0	4.0	5.9	100	6.0	21.3	2.2	1.6	32.4	0.42
Buen país	22.0	4.0	5.8	98	9.3	43.8	2.1	9.7	177.0	0.44
Camaronera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Camaronera orilla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tlaliscoyan	22.0	0.0	6.2	103	12.0	98.8	0.9	3.4	2.7	0.05
Tlaliscoyan centro	22.0	0.0	4.7	78	13.3	131.8	3.8	3.2	-	-

N.D. No detectable

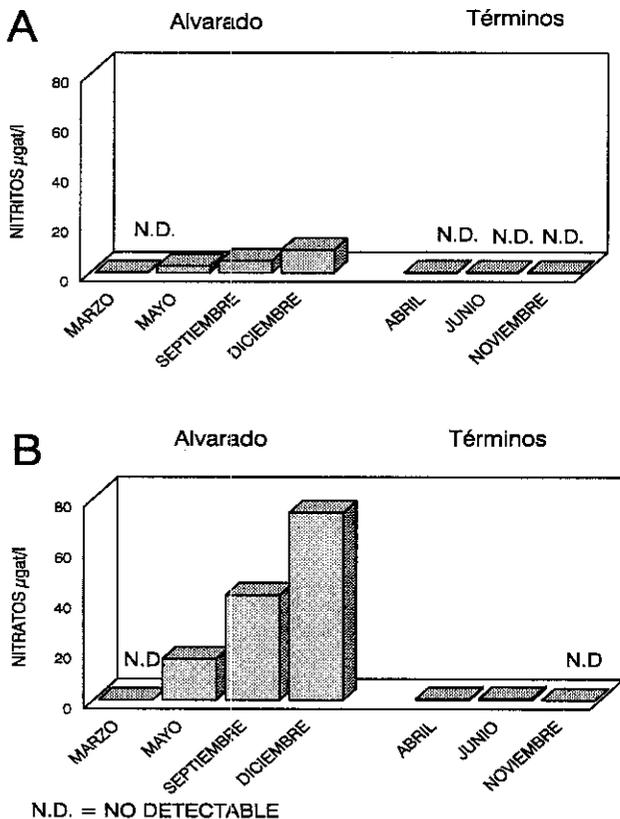


Figura 5. Comparación del contenido de nitritos (A) y nitratos (B) en el espacio y tiempo de dos lagunas costeras.

Contrariamente, en Términos el contenido de nitratos fue de indetectable a 0.5 µg atN-NO₃/l, con su máximo en junio y su mínimo en noviembre (Fig. 5B). Atasta y la boca de la Laguna del Este fueron las estaciones de mayor concentración anual con 0.6 µg atN-NO₃/l y Puerto Real la de menor con 0.01 µg atN-NO₃/l. La región de mayor concentración fue al igual que los nitritos, al sureste con 0.6 µg atN-NO₃/l y la de menor el noreste con 0.16 µg atN-NO₃/l (Tablas 5 a 7).

El promedio anual de las concentraciones de nitratos mostró que Alvarado tuvo 100 veces más que Términos, con 33.4 µg atN-NO₃/l contra 0.3 µg atN-NO₃/l, respectivamente. Además, Alvarado presentó mayor variación mensual promedio y mayor heterogeneidad con 21.2 µg atN-NO₃/l en Arbolillo y 131.2 µg atN-NO₃/l en la Laguna de Tlalixcoyan.

Amonio

El intervalo del promedio mensual de la concentración de amonio en el sistema lagunar de Alvarado fue de 0.16 a 3.6 µg atN-NH₄ (Fig. 6A). La Boca del Papaloapan fue la de mayor contenido anual con 4.6 µg atN-NH₄/l y la del menor al centro de la laguna con 2.0 µg atN-NH₄/l. La región de mayor concentración se situó al igual que con los nitratos, al sureste con 4.63 µg atN-NH₄/l y la de menor al centro con 2.0 µg atN-NH₄/l (Tablas 1 a 4).

En la Laguna de Términos el máximo se registró en abril con 0.7 µg atN-NH₄/l y el mínimo en noviembre con

0.2 $\mu\text{g atN-NH}_4/\text{l}$ (Fig. 6A). Isla Pájaros fue la de mayor contenido de amonio con 0.8 $\mu\text{g atN-NH}_4/\text{l}$ y la de menor correspondió a El Cayo con 0.2 $\mu\text{g atN-NH}_4/\text{l}$. La región de mayor contenido fue el sureste con 0.7 $\mu\text{g atN-NH}_4/\text{l}$ y la menor el noreste con 0.3 $\mu\text{g atN-NH}_4/\text{l}$ (Tablas 5 a 7).

En lo que respecta al promedio anual, Alvarado fue cuatro veces mayor, con 2.4 $\mu\text{g atN-NH}_4/\text{l}$, que Términos con 0.5 $\mu\text{g atN-NH}_4/\text{l}$, lo anterior se puede relacionar con el aporte de los desechos antropogénicos que recibe la primer laguna, con una mayor heterogeneidad anual. Temporalmente en septiembre se registró una variación de 2.9 $\mu\text{g atN-NH}_4/\text{l}$ en Punta Chica a 7.0 $\mu\text{g atN-NH}_4/\text{l}$ en la Boca del Papaloapan.

Ortofosfatos

La variación estacional promedio de ortofosfatos en la Laguna de Alvarado fue de 0.8 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$ en mayo a 3.8 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$ en diciembre (Fig. 6B), patrón similar al mostrado por los nitritos y nitratos. Buen País fue la estación de mayor promedio anual con 3.7 y la Laguna Camaronera

la del menor con 0.3 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$. Durante diciembre se registró un máximo en Buen País de 9.7 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$. La región de mayor contenido anual fue la suroeste con 2.8 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$ y la de menor al sureste con 1.0 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$ (Tablas 1 a 4).

En la Laguna de Términos los ortofosfatos oscilaron de 0.05 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$ en noviembre a 1.2 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$ en abril (Fig. 6B), patrón similar al mostrado por el amonio. La región de mayor concentración en promedio anual se situó al noreste con 0.9 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$ y la menor al centro de la laguna con 0.2 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$. En abril se registró en la laguna una alta concentración de 7.45 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$ en Isla Pájaros (Tablas 5 a 7).

La Laguna de Alvarado tuvo un contenido de ortofosfatos dos veces mayor que la de Términos, con 1.2 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$ contra 0.7 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$, en promedio. Además, Alvarado fue más heterogénea, con una variación mensual de 0.8 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$ a 3.8 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$ (diciembre), que Términos con 0.5 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$ (noviembre) a 1.5 $\mu\text{g atP-PO}_4/\text{l}$ (abril).

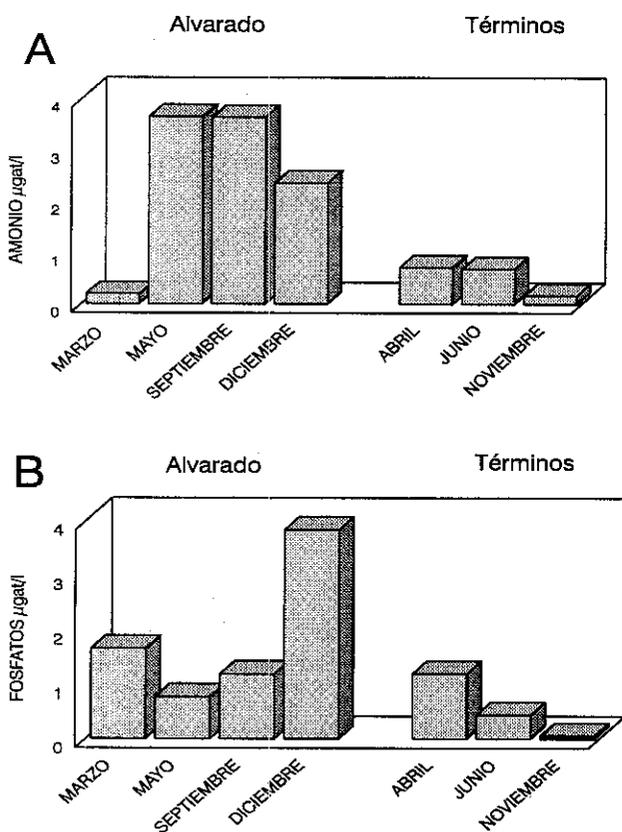


Figura 6. Comparación del contenido de amonio (A) y fosfatos (B) en el espacio y tiempo de dos lagunas costeras.

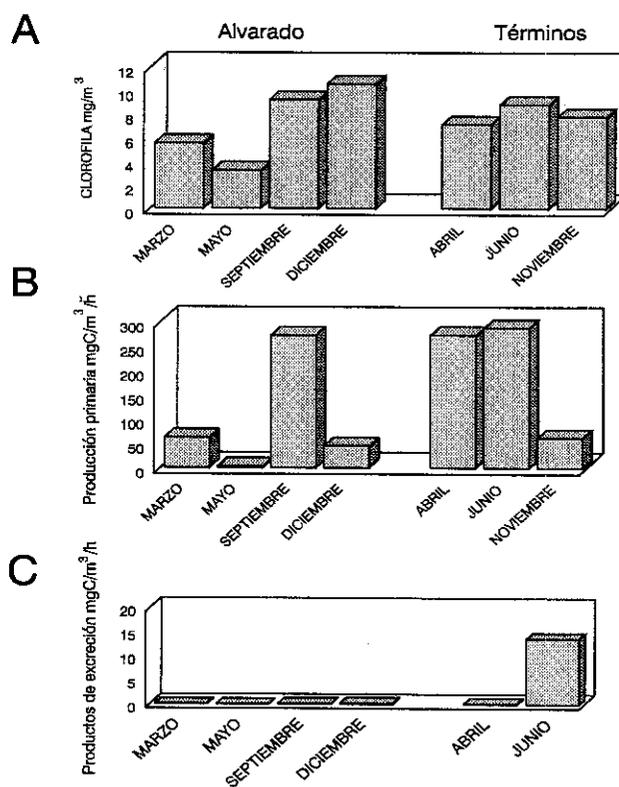


Figura 7. Comparación del contenido clorofílico (A), producción primaria (B) y productos de excreción en el espacio y tiempo de dos lagunas costeras (C).

Tabla 5. Análisis fisicoquímico y de producción primaria de la laguna de Términos (Abril).

Estaciones de muestreo	Temperatura °C	Salinidad ups	O. D. ml O ₂ /l	% Saturación O ₂	NO ₂ ⁻ µg at/l	NO ₃ ⁻ µg at/l	NH ₄ ⁺ µg at/l	PO ₄ [≡] µg at/l	C ¹⁴ mcC/m ³ /h	Productos de excreción mgC/m ³ /h
Cayos	26.0	33	6.6	144	N.D	0.2	0.4	0.1	212.8	0.40
Río Chumpan	26.0	25	4.8	100	0.2	0.3	0.7	0.3	360.2	0.01
Boca Lag. del este	25.0	24	5.3	108	0.2	1.2	0.8	0.4	8.1	N.D.
Atasta	25.0	33	5.1	109	0.1	0.8	0.6	0.3	129.5	0.41
Central oeste	25.0	33	4.9	104	N.D.	0.3	0.5	0.2	107.7	N.D.
Puerto Real	26.0	38	4.1	106	-	-	-	-	82.6	0.01
Central este	25.0	27	5.7	119	N.D	0.5	0.8	0.6	22.6	0.01
Isla Pájaros	27.0	25	4.6	95	0.2	0.3	1.5	7.5	1660.2	0.93
Panlao	27.0	28	5.5	118	0.1	0.2	0.5	0.4	61.2	N.D.
Punta Piedra	27.0	25	5.1	107	0.1	0.2	0.7	0.7	87.1	N.D.

N.D. No detectable

Clorofila "a"

El intervalo del promedio anual de la clorofila "a" en la Laguna de Alvarado varió de 3.2 mg/m³ en mayo a 10.6 mg/m³ en diciembre (Fig. 7A). En la Laguna Camaronera se registró el contenido mayor con 10.7 mg/m³, coincidente con la concentración más alta de oxígeno y Arbolillo fue la del menor con 4.7 mg/m³. La zona de mayor contenido fue la noroeste con 9.3 mg/m³ y la de menor el sureste con 2.7

mg/m³. Durante diciembre se determinó un máximo de 15 mg/m³ en Arbolillo con 111 % de saturación de oxígeno, asociándose con la presencia de nutrientes que condiciona mayor productividad (Tablas 1 a 4).

El contenido de clorofila "a" promedio en la Laguna de Términos fue de 7.1 mg/m³ en abril, a 8.8 mg/m³ en junio, coincidiendo con los máximos mensuales de amonio y ortofosfatos (Fig. 7A). El Río Chumpan fue el de mayor

Tabla 6. Análisis fisicoquímico y de producción primaria de la laguna de Términos (Junio).

Estaciones de muestreo	Temperatura °C	Salinidad ups	O. D. ml O ₂ /l	% Saturación O ₂	NO ₂ ⁻ µg at/l	NO ₃ ⁻ µg at/l	NH ₄ ⁺ µg at/l	PO ₄ [≡] µg at/l	C ¹⁴ mcC/m ³ /h	Productos de excreción mgC/m ³ /h
Cayos	32.5	33	5.3	126	0.1	0.3	0.4	0.1	202.1	1.37
Río Chumpan	31.5	10	2.9	59	0.6	1.6	0.8	0.5	882.2	7.42
Boca Lag. del este	31.5	20	4.2	91	0.5	0.8	1.0	1.2	289.3	0.93
Atasta31.5	31.5	22	4.2	91	0.1	1.3	0.7	0.6	1.0	N.D.
Central oeste	31.0	32	3.8	89	0.1	0.3	0.4	0.2	234.2	110.31
Puerto Real	31.0	35	4.1	99	N.D.	N.D.	0.4	0.2	-	-
Central este	31.5	26	4.2	97	N.D.	N.D.	0.6	0.2	67.9	N.D.
Isla Pájaros	30.5	26	4.1	92	0.2	N.D.	0.7	0.5	679.3	3.21
Panlao	33.0	22	4.3	98	0.2	0.8	0.7	0.3	129.3	N.D.
Punta Piedra	32.0	24	4.2	96	0.2	N.D.	0.7	6.7	107.3	N.D.

N.D. No detectable

Tabla 7. Análisis fisicoquímico y de producción primaria de la laguna de Términos (Noviembre).

Estaciones de muestreo	Temperatura °C	Salinidad ups	O. D. ml O ₂ /l	% Saturación O ₂	NO ₂ ⁻ µg at/l	NO ₃ ⁻ µg at/l	NH ₄ ⁺ µg at/l	PO ₄ [≡] µg at/l	C ¹⁴ mcC/m ³ /h	Productos de excreción mgC/m ³ /h
Cayos	24.0	13	6.4	118	N.D.	N.D.	0.1	N.D.	-	-
Río Chumpan	28.0	5	4.8	90	0.1	N.D.	0.1	N.D.	2.1	-
Boca Lag. del este	26.0	10	4.7	89	0.3	N.D.	0.2	0.2	59.7	-
Atasta31.5	25.0	12	5.6	106	0.3	N.D.	0.1	0.2	55.7	-
Central oeste	26.0	11	4.7	88	0.1	N.D.	0.2	N.D.	89.6	-
Puerto Real	25.0	18	4.7	91	N.D.	N.D.	0.2	N.D.	138.4	-
Central este	26.0	14	4.7	89	N.D.	N.D.	0.1	N.D.	38.3	-
Isla Pájaros	31.0	15	9.6	200	0.1	N.D.	0.3	0.1	70.6	-
Panlao	27.0	5	-	-	N.D.	N.D.	0.1	N.D.	83.9	-
Punta Piedra	28.0	10	4.7	91	N.D.	N.D.	0.3	0.1	8.6	-

N.D. No detectable

promedio anual con 13.3 mg/m³ y la estación Central el de menor con 4.9 mg/m³. En junio, un máximo de 19.9 mg/m³ correspondió al Río Chumpán (Tablas 5 a 7).

El promedio anual de clorofila de Alvarado y Términos fue similar con 7.3 mg/m³ y 7.9 mg/m³, respectivamente. Sin embargo, las concentraciones en Alvarado fueron más heterogéneas con 3.2 en mayo y 10.6 mg/m³ en diciembre, en comparación con Términos de 7.1 en abril y 8.8 mg/m³ en junio.

Producción Primaria

La variación temporal del promedio mensual de la producción primaria fitoplanctónica en el sistema lagunar Alvarado fue de 2.0 mgC/m³/h en mayo a 272.6 mgC/m³/h en septiembre (Fig. 7B). La Laguna de Tlalixcoyan fue la estación más productiva con 324.8 mgC/m³/h y la menor el centro con 28.6 mgC/m³/h. Al igual que en el caso de los ortofosfatos, la región de mayor producción anual se situó al suroeste con 324.8 mgC/m³/h y la menor (como con el amonio y nitritos) al centro de la laguna con 28.6 mgC/m³/h. Durante el ciclo anual se registraron dos máximos de producción en la estación de Buen País, el primero en septiembre con 848 mgC/m³/h y el segundo en diciembre con 177 mgC/m³/h, coincidentes con el máximo de 9.6 µg atP-PO₄/l (Tablas 1 a 4).

En la Laguna de Términos, el máximo se cuantificó, al igual que con los nitritos y nitratos, en junio con 288.1 mgC/m³/h y el mínimo en noviembre con 54.7 mgC/m³/h (Fig. 7B).

Isla Pájaros, fue la más productiva con un promedio anual de 803.3 mgC/m³/h (asociado a los mayores contenidos de oxígeno disuelto, saturación y amonio) y la Central la menos productiva con 30.5 mgC/m³/h y el menor contenido de clorofila "a". La región más productiva fue el sureste con 414.8 mgC/m³/h y la menor en el centro con 87.1 mgC/m³/h. Se determinaron varios máximos de producción en la época de secas, el primero en abril con 1660.2 mgC/m³/h en Isla Pájaros y el segundo y tercero en junio con 882.2 y 679.3 mgC/m³/h en el Río Chumpán e Isla Pájaros, respectivamente (Tablas 5 a 7).

El promedio anual mostró que Términos tiene mayor producción que Alvarado a pesar de sus menores contenidos de nutrientes, con 205.3 mgC/m³/h contra 105.2 mgC/m³/h. Términos mostró las mayores variaciones espaciales en la producción, como sucedió en abril, con 8.1 mgC/m³/h (Boca de la Laguna del Este) y 1660.2 mgC/m³/h (Isla Pájaros). La variación espacial determinó que en ambas lagunas las regiones centrales son poco productivas, pero con una alta tasa de excreción, que se puede asociar a la presencia de un ambiente oligotrófico.

Productos de Excreción

Igualmente que la producción primaria, los productos de excreción mostraron variaciones temporales. En la Laguna de Alvarado el máximo promedio mensual fue de 0.2 mgC/m³/h en diciembre e indetectable en mayo (Fig. 7C). Buen País fue la zona de mayor concentración anual con

0.3 mgC/m³/h. Las regiones de mayor contenido de productos de excreción promedio en el ciclo anual fueron la noroeste y la centro, ambas con 0.13 mgC/m³/h que representó el 1.7% de la producción total y la de menor al noreste con 0.02 mgC/m³/h (Tablas 1 a 4).

En la Laguna de Términos el máximo promedio mensual se registró en junio con 13.7 mgC/m³/h y el mínimo con 0.2 mgC/m³/h en abril (Fig.7C). La región con mayores productos de excreción se situó al centro de la laguna con 18.3 mgC/m³/h que representa el 19.6% de la producción total y la menor al noreste en Boca del Carmen con 0.01 mgC/m³/h en promedio anual; patrón que se puede asociar a condiciones de estrés; según Hellebust (1965) los ambientes oligotróficos pueden provocar altos niveles de excreción, como fue en la región central en junio con 110.3 mgC/m³/h (Tablas 5 a 7).

El promedio anual mostró que Términos tuvo 63 veces más productos excretados durante la cuantificación de la producción primaria que Alvarado, con 6.9 mgC/m³/h contra 0.1 mgC/m³/h. La Laguna de Términos fue más heterogénea como se observó en junio donde se determinó un intervalo de indetectable (en Atasta) a 110.3 mgC/m³/h (centro de la laguna). El ciclo anual mostró que en ambas lagunas las zonas centrales fueron las menos productivas, con las mayores tasas de excreción.

DISCUSIÓN

La distribución de la temperatura en ambas lagunas fue influenciada principalmente por tres factores: el primero por la comunicación con aguas marinas a través de patrones de circulación naturales o por canales artificiales, el segundo por el aporte de aguas frías continentales y el tercero por las variaciones estacionales de cada región.

Durante el ciclo anual, la máxima térmica en el Sistema Lagunar de Alvarado fue en mayo (secas) con 30.5° C y la mínima en diciembre (nortes) con 21° C; patrón típico de las regiones tropicales. La variación espacial mostró que sus aguas más calientes se ubicaron al sureste con 28.3° C, debido a la entrada de agua marina de la Boca del Tragadero, (Fig. 1) y la mínima al suroeste con 26.8° C, que se asoció al aporte de aguas frías provenientes de los ríos Blanco y Limón, principalmente, coincidiendo con lo registrado en 1975 por Villalobos *et al.*, (1975); Flores-Coto y Méndez-Vargas, (1982). Este patrón de variación espacial se corroboró con una correlación estadística positiva entre la temperatura y la salinidad de marzo ($r=0.757$, $\alpha < 0.05$).

En la Laguna de Términos, la variación temporal del promedio mensual de la temperatura mostró el máximo en

junio con 31.6 ° C y el mínimo en abril con 29.5° C; observación semejante a la referida en 1974 por Gómez (1974) en el sentido de la escasa variación térmica de la laguna e incluso en un periodo de 20 años. Al igual que Alvarado, la variación espacial mostró que las aguas de mayor temperatura se ubicaron al noreste con 28.7° C y las frías al noroeste, patrón que se asoció a la entrada de aguas calientes de origen marino al noreste por Puerto Real que interaccionan con las frías del Río Palizada, Chumpán y sistema Pom-Atasta del noroeste de la laguna.

En ambas lagunas los nortes incidieron en la misma época (diciembre en Alvarado y noviembre en Términos), pero con diferente magnitud. En la Laguna de Alvarado el descenso de la temperatura con respecto a la época de lluvias, fue mayor (en 3° C) que en Términos.

La variación temporal y regional de la salinidad en ambas lagunas, fue determinada principalmente por la entrada de agua salada de origen marino que se mezcla con el agua epicontinental y que se diluye durante la época de lluvias.

La variación temporal de la salinidad superficial en Alvarado fue resultado de las precipitaciones, alcanzando su máximo en mayo (secas) con 14.1 ups y el mínimo en septiembre (lluvias) con 2.2 ups. Debido a la entrada de agua marina a través del canal artificial que se construyó en 1980 (Rosales *et al.*, 1986) el noroeste se considera la zona más salina con 17.6 ups y la menos salina el sureste frente al Río Papaloapan con 3.7 ups. En la Boca Tragadero frente al Papaloapan, la interacción de agua marina con dulce forman una cuña salina que se deja sentir ocho kilómetros aproximadamente, entre el centro de la laguna y Punta Grande. Las aguas superficiales de la Laguna de Alvarado tienen mayor influencia de aguas dulces y, según la clasificación de Carriker (1967), son mesohalinas (5-18 ups) durante marzo y mayo (secas) con un máximo de 14.3 ups y oligohalinas (0.5-5 ups) en septiembre y diciembre (lluvias y nortes) con un promedio de 3.8 ups. La distribución de la salinidad diferenció cuatro zonas hidrológicas permanentes como lo propusieron Rosales *et al.*, (1986) a diferencia de lo propuesto por Villalobos *et al.*, (1975) antes de la apertura artificial en la Laguna Camaronera:

- a) Zona de influencia dulceacuícola: áreas cercanas a las bocas de los ríos, incluyendo la Laguna de Tlalixcoyan y Boca del Papaloapan, con salinidades no mayores a 6 ups de promedio anual.
- b) Zona de reposo hidrológico: Buen País y Arbolillo, con una salinidad de 9 y 10 ups de promedio anual.
- c) Zona de gradiente y estratificación: área de la laguna que recibe aportes de agua dulce y marina, como Punta

Grande, Punta Chica y Centro de la Laguna de Alvarado, con salinidades cercanas a 10 ups de promedio anual.

d) Area de influencia nerítica: Laguna Camaronera, con 13 ups de promedio anual.

En la Laguna de Términos, la variación climática definió el cambio anual de la salinidad, a semejanza de Alvarado, pero con un aumento halino en secas (29.1 ups) y el mínimo en nortes (11.3 ups). La distribución espacial de la salinidad mostró la existencia de una corriente marina que entra por Boca Puerto Real que se mezcla con aguas dulces aportadas principalmente por los ríos Palizada, Candelaria y Chumpán, que origina una masa de agua de menor salinidad que sale de la laguna por Boca del Carmen, patrón que es inducido principalmente por la acción de los vientos predominantes que presentan dirección noreste, hecho que coincide con lo registrado en 1974 por Botello (1978). La variación espacial de la salinidad en Términos mostró sólo dos épocas al año y, según la clasificación de Carriker (1967), es polihalina (25-30 ups) en abril y junio (secas y principio de lluvias) y mesohalina (5-18 ups) en noviembre (nortes) con 11.8 ups. El patrón de distribución de la salinidad, señala que la laguna se divide en tres áreas, semejante a lo propuesto por Botello (1978):

a) Area de influencia nerítica: Puerto Real e Isla Pájaros, con 29 y 22 ups de promedio anual.

b) Area de gradiente hidrológico: con zonas de mezcla de agua dulce y marina; Punta Piedra, El Cayo y región Central, con un máximo anual promedio de 26 ups.

c) Area de influencia dulceacuícola: Río Chumpán, Panlau, Laguna del Este y Atasta, con un máximo anual promedio de 18 ups.

La variación temporal y espacial de los contenidos de oxígeno y su saturación en ambas lagunas fue determinada principalmente por la actividad fitoplanctónica, con variantes debido a cada localidad por los procesos de oxidación del material autóctono y alóctono. En el caso de Alvarado, los contenidos altos de desechos aportados por los ríos Blanco y Limón han provocado la existencia de aguas cercanas a la anóxia (Laguna de Tlalixcoyan) durante la época de mayor aporte alóctono de materiales (septiembre, época de lluvias), con su posterior recuperación en los nortes, alcanzando hasta 103% de saturación de oxígeno, consecuencia de mayor fotosíntesis.

El sistema lagunar de Alvarado es un ambiente de condiciones óxicas adecuadas en general, a pesar de que reciba escurrimientos agroindustriales y urbanos por la región suroeste y sureste; ésto es consecuencia de la

influencia de los ríos Blanco y Limón y Papaloapan que llegan por el suroeste y sureste, respectivamente, con alta carga residual y que son considerados cuencas de primer orden por su alto nivel de contaminación (Aguirre-Martínez, 1982; CNA, 1988). El ciclo anual mostró sobresaturaciones en marzo (secas) de 126% con 6.5 ml O₂/l y el mínimo en septiembre (lluvias) con 4.6 ml O₂/l y de 86.9%, patrón que se asoció a la actividad fitoplanctónica como lo señalaron las correlaciones significativas de septiembre y diciembre ($r=0.937$ y $r=0.71$, $\alpha < 0.05$). La variación espacial del ciclo fue marcada, contrastando áreas de alto contenido del gas, como Punta Grande (159%) en marzo, hasta cerca de la anóxia como en la Laguna de Tlalixcoyan (31%) en septiembre, lo que se atribuye a las altas cargas de materia orgánica del área agrícola adyacente y el consumo de oxígeno implicado en los procesos de oxidación.

En la Laguna de Términos la variación temporal del oxígeno y su saturación, tuvo su máximo en abril con 5.18 ml O₂/l que representó el 110.3% de saturación mensual promedio, asociado a la producción primaria ($r=0.78$, $\alpha < 0.05$). El mínimo en junio (lluvias) con 4.17 ml O₂/l y 94.1% de saturación de oxígeno, se asoció con los mayores contenidos de nutrientes (nitritos y amonio) procedentes de la descomposición cíclica o estacional de la materia orgánica, ($r=0.63$ y $r=0.69$, $\alpha < 0.05$).

Las concentraciones de nitritos y nitratos fueron en promedio 35 y 140 veces mayores en Alvarado que en Términos, respectivamente, lo que muestra la perturbación que han generado los aportes fluviales y escurrimientos periféricos agrícolas, que contienen fertilizantes nitrogenados y fosforados, en las características fisicoquímicas. Botello (1978) cuantificó estos nutrientes, cuando la Laguna de Términos era considerada en una etapa de preindustrialización con niveles semejantes a los cuantificados aproximadamente 10 años después; lo que manifiesta que los afluentes no han sido tan perturbados por los asentamientos urbanos y actividades agrícolas.

Los niveles de fósforo en Alvarado rebasaron en más de 4 y 10 veces lo determinado en Términos; debido a que El Río Papaloapan conjuntamente con la Laguna de Tlalixcoyan, lleva aguas provenientes del Río Blanco y cruzan zonas agrícolas de los poblados de Piedras Negras, Cocoite e Ignacio de la Llave (SEDAP, 1992); además de recibir residuos industriales y aguas negras de las principales ciudades. La Laguna Camaronera, Arbolillo y el centro de la laguna pueden ser considerados como de condiciones normales.

Las variaciones espaciales y temporales de la clorofila "a" en ambas lagunas se pueden relacionar con el

reciclamiento temporal local de cada región de nutrientes y con los aportes fluviales de éstos.

Espacialmente, la distribución del pigmento en Alvarado fue mayor en las regiones de influencia marina, lo cual se puede justificar por una invasión de organismos neríticos. En este sistema lagunar se encontró una baja en el contenido de este pigmento con respecto a lo registrado en 1975, donde Villalobos *et al.*, (1975) determinaron en la Laguna de Tlalixcoyan, Camaronera y Buen País: 24.2, 39.5 y 70.6 mg/m³ respectivamente, en cambio en este estudio fueron: 6.7, 10.5 y 11.7 mg/m³, respectivamente, hecho que se puede asociar a variaciones extremas tanto espaciales como temporales que no sean el resultado de impactos generados por actividades humanas, ya que Contreras y Gutiérrez-Mendieta (1990) refieren un intervalo entre 5.9 a 99.2 mg/m³.

La variación espacial de la clorofila "a" en la Laguna de Términos se relacionó con el aporte fluvial de nutrientes. Estadísticamente la variación de este pigmento se relacionó con los máximos de nitritos, nitratos, amonio y fosfatos en junio ($r=0.76$, $r=0.76$, 0.83 y 0.84 , $\alpha < 0.05$, respectivamente).

Las variaciones temporales de la producción primaria de ambas lagunas estuvieron en función de las variaciones estacionales de cada localidad; al igual que la clorofila "a". La producción media anual de Alvarado fue dos veces menor que Términos (95 contra 205 mgC/m³/h). Espacialmente, las regiones centrales de ambas lagunas fueron en general poco productivas, pero mostraron las mayores tasas de excreción anuales promedio, coincidiendo con lo propuesto por Watt (1966), donde la presencia de aguas oligotróficas favorece la mayor excreción (Hellebust, 1965; Anderson y Zeuschel, 1970); el porcentaje máximo de productos excretados fue de 1.7 para Alvarado y de 19.6 para Términos; este último caso es parecido a lo registrado por Smith *et al.*, (1977) y Watanabe (1980) bajo condiciones de alta luminosidad y deficiencia de nutrientes. Legrand y Malinsky-Rushansky (1992) señalan la existencia de una amplia variación de productos en la asimilación y mineralización bacteriana. La oligotrofia con base en la asimilación y/o respiración en el centro de ambas lagunas puede explicar los niveles de productos de excreción. Esta situación se confirma con la relación estadística entre la excreción y la atenuación de la luz o visibilidad en diciembre y junio de la Laguna de Alvarado y Términos ($r=0.824$ y $r=0.69$, $\alpha < 0.05$, respectivamente).

La Laguna de Términos fue 70 veces mayor en sus productos de excreción en promedio anual (con 7 mgC/m³/h) que la Laguna de Alvarado (0.1 mgC/m³/h).

CONCLUSIONES

La distribución espacial y temporal de la temperatura y salinidad de ambas lagunas, es resultado de la mezcla de los escurrimientos dulceacuícolas con los aportes de origen marino a través de mareas o comunicación con canales, donde esta mezcla estuvo sujeta a los cambios estacionales (secas, lluvias y nortes) de cada localidad. Esta interacción de masas de agua provocó en la Laguna de Alvarado la formación de una cuña salina frente a la desembocadura del Papaloapan, que emerge entre Punta Grande y el centro de la laguna a unos ocho kilómetros del canal natural (Boca Tragadero) del sistema. En la Laguna de Términos el patrón de circulación mostrado fue de este-oeste asociado a la acción de los vientos dominantes del Este.

Las distribuciones de las salinidades anuales dividieron a ambas lagunas en zonas hidrológicas, que se consideran como permanentes con base en las comparaciones hechas con estudios previos de 20 años, que se ha conservado en las aguas superficiales del Sistema Lagunar de Alvarado, con zonas de influencia dulceacuícola (Laguna de Tlalixcoyan y Boca del Papaloapan), zona de reposo hidrológico (Buen País y Arbolillo), zona de gradiente (Punta Grande, Punta Chica y Centro del sistema) y área nerítica (Laguna Camaronera). Muestra tres variantes al año: mesohalina (5-18 ups) durante marzo y mayo (secas) con un máximo de 14.3 ups y oligohalina (0-0.5 ups) en septiembre y diciembre (lluvias y nortes) con un promedio de 3.8 ups. La Laguna de Términos se dividió en: área nerítica (Puerto Real e Isla Pájaros), área de gradiente hidrológico (Punta Piedra, Los Cayos y región central) y área de influencia dulceacuícola (Río Chumpán, Panlau, Laguna del Este y Atasta). Las aguas superficiales se clasifican en polihalinas (25-30 ups) en noviembre (nortes) con un promedio mensual de 11.8 ups.

En ambas lagunas, la época de nortes se presentó en la misma estación (diciembre en Alvarado y noviembre en Términos), pero con diferente magnitud. En la Laguna de Alvarado el efecto de abatimiento de la salinidad y temperatura en esta época fue mayor que en Términos; la primera se definió como un cuerpo de agua oligohalino (con un máximo de 5 ups) y un descenso de 8° C; con respecto a la Laguna de Términos que fue mesohalina (con un máximo de 18 ups) y 5° C de disminución.

En el sistema lagunar de Alvarado, los desechos agroindustriales han propiciado la generación de aguas cercanas a la anoxia en la Laguna de Tlalixcoyan con 1.7 mlO₂/l (31% de saturación) durante las lluvias con una posterior recuperación en los nortes (4.7 mlO₂/l y 80%); sin embargo, en promedio mostró a un ambiente de condiciones óxicas adecuadas durante el ciclo anual (105% promedio).

La Laguna de Términos se caracterizó por una estabilidad de sus características óxicas, con un 15% de variación entre su máximo y mínimo mensual promedio de saturación de oxígeno. Las aguas de ambas lagunas presentaron su máxima condición óxica durante la época primaveral (que corresponde a marzo en Alvarado con 130% y abril en Términos con 125 % de saturación promedio), debido al florecimiento de organismos fitoplanctónicos en esa época.

La Laguna de Alvarado manifestó una condición eutrófica, generada por los aportes continentales de origen agroindustrial, donde los NO_2^- y NO_3^- fueron 35 y 140 veces mayores que en Términos, que se ha mantenido sin grandes cambios en sus contenidos desde finales de los 80's, además de una mayor difusión y dilución por su mayor número de afluentes y a su gran dimensión/volumen que guarda en relación con el sistema lagunar de Alvarado.

La Laguna de Alvarado ha reducido su producción primaria cerca de un 40% de clorofila "a" en poco más de 20 años, lo que puede ser resultado del impacto agroindustrial del área circundante. Términos se ha mantenido sin grandes fluctuaciones en el mismo período, lo que señala la menor influencia de las actividades antropogénicas en sus áreas adyacentes.

Las zonas de estrés en la Laguna de Alvarado y Términos corresponden al centro de los sistemas, con producciones primarias bajas o de ambientes oligotróficos y mayores excreciones de 2% y 32% promedio anual, respectivamente. La estabilidad ambiental (físicoquímica) de la Laguna de Términos la coloca como más productiva ($205.3 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$) que Alvarado ($95 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la valiosa colaboración del Técnico Salvador Hernández Pulido, tanto en el trabajo de campo, análisis de laboratorio como en el manuscrito.

LITERATURA CITADA

- AGUIRRE-MARTÍNEZ, J., 1982. El medio acuático y su contaminación. In: López Portillo y Ramos, M. (ed). *El Medio Ambiente en México: Temas, Problemas y Alternativas*. Fondo de Cultura Económica, México: 169-183.
- ANDERSON, G. y R. ZEUTSCHEL, 1970. Release of dissolved organic matter by marine phytoplankton in coastal and offshore areas of the northeast Pacific Ocean. *Limnology and Oceanography* 15: 402-497.
- BOTELLO, A., 1978. Variación de los parámetros hidrológicos en las épocas de sequía y lluvias (mayo y noviembre de 1974) en la Laguna de Términos, Campeche, México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*. Univ. Nat. Autón. México, 5(1): 159-178.
- BOTELLO, A., G. PONCE., A. TOLEDO., G. DÍAZ y S. VILLANUEVA, 1992. Ecología de recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. *Ciencia y Desarrollo*, 17(102): 28-48. México.
- CARRIKER, M.R., 1967. Estuaries. En: LAUFF, G.H., (De) Publ. 83, *American Association for the Advancement of Science*, Washington, D.C.: 442 p.
- CASTAÑEDA, O. y F. CONTRERAS, 1994. Serie bibliográfica comentada sobre ecosistemas costeros mexicanos. Vol. III, Golfo de México I (de Tamaulipas a Veracruz). CONABIO/UAM-I/CDELM. 615 pp.
- CNA, 1988. *Boletines de calidad del agua 28 y 29*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. Dirección General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos, Dirección de Calidad de Agua.
- CONTRERAS, F. y F. GUTIÉRREZ-MENDIETA, 1990. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en lagunas costeras. pp 57-77. En: DE LA ROSA J. y F. GONZÁLEZ-FARIAS (Eds). *Temas de Oceanografía Biológica en México*. Universidad Autónoma de Baja California.
- DE LA LANZA, E. G., M. RODRÍGUEZ y L. SOTO, 1991. Análisis Ecológico de los Productores primarios en la Laguna de Términos, Campeche, México. *Universidad y Ciencia*, 8(15): 15-25.
- DE LA LANZA, E. G., P. RAMÍREZ-GARCÍA, F. THOMAS y R. A. ALCÁNTARA, 1993. La vegetación de manglar en la Laguna de Términos, Campeche. Evaluación preliminar a través de imágenes LANSAT. *Hidrobiológica*, 3(1-2): 29-40.
- FLORES-COTO y MÉNDEZ-VARGAS, 1982. Contribución al conocimiento del fitoplancton de la Laguna de Alvarado, Veracruz. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* Universidad Nacional Autónoma de México, 9(1): 141-160.
- GARCÍA, A., 1972. Los climas del Estado de Veracruz (según el sistema de clasificación de Köppen modificado por la autora). *Anales del Instituto de Biología Serie Botánica* Universidad Nacional Autónoma de México, 41(1): 3-42.
- GARCÍA, A., 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo para las condiciones de la República Mexicana)*. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, 55(2): 2130-2140.
- GÓMEZ, S., 1974. Reconocimientos estacionales de hidrología y plancton en la Laguna de Términos, Campeche, México (1964/1965). *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México, 5(1): 158-178.
- GÓMEZ, S., 1975. Observaciones comparativas de resultados de estudios del plancton de las lagunas costeras del Golfo de México. Memorias del II Simposio Latinoamericano sobre

- Oceanografía Biológica. Universidad del Oriente. 24 al 28 de noviembre de 1975. CUMANANA-VENEZUELA.
- HELLEBUST, J. A., 1965. Excretion of some organic compounds by cultured a natural population of marine phytoplankton. *Estuaries AAAS. Publ.* 83: 361-366.
- LEGRAND, C. y N. Z. MALINSKY-RUSHANSKY, 1992. Organic production and excretion by different phytoplankton size classes. Measure of primary production from the molecular to the global scale. *Proceedings of a Symposium Held in the Rochelle, 21-24 April ICES Copenhagen (Delmark) Vol* 197.
- LEY-LOU, 1979. Algunos factores ecológicos abióticos en Estero Pargo, Campeche, México. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. 39 p.
- PÁEZ-OSUNA, F., D. VALDÉS, D. ALEXANDER, H. FERNÁNDEZ y J. OZUNA, 1987. Níquel y plomo en las fracciones disueltas y particuladas del sistema fluvio-lagunar de Términos, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México, 14(1): 79-86.
- PHLEGER y AYALA-CASTAÑARES, 1971. Processes and history of Términos lagoon, México. *Bulletin of American Association of Petrology and Geology*, 55(2): 2130-2140.
- ROSALES, L., A. CARRANZA y U. ALVAREZ, 1986. Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado Lagoon system, Veracruz, México. *Anales de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México, 13(3): 19-28.
- (SEDAP). Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Pesquero 1992. *Mapa de uso de suelo del Estado de Veracruz E15-A51. Escala 1:250 000*. Gobierno del Estado de Veracruz-LLave. México.
- SHARP, J., 1977. Excretion of organic matter by marine phytoplankton: Do healthy cells do it?. *Limnology and Oceanography*. 2: 381-399.
- SMITH, W. O., R. T. BARBER y S. A. HUNTSMAN, 1977. Primary production off the coastal of northwest Africa: Excretion of dissolved organic matter and its heterotrophic uptake. *Deep-Sea Research* 24: 37-47.
- STEMMANN-NIELSEN, E., 1967. The use of radio-active carbon (C^{14}) for measuring organic production in the sea. *Journal do Conseil International pour Exploration de la Mer.*, 18: 117-140.
- STRICKLAND, J. D. y R. PARSONS, 1972. *Practical handbook of sea water analyses*. Journal of the Fisheries Research Board of Canada. Bulletin 167: 311 p.
- VILLALOBOS, A., S. GÓMEZ, V. ARENAS, J. CABRERA., G. DE LA LANZA y F. MANRIQUE, 1975. Estudios hidrológicos en la Laguna de Alvarado (febrero-agosto, 1966). *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México, 46 (1): 1-34.
- WATANABE, Y., 1980. A study of the excretion and extracellular products of natural phytoplankton in Lake Nakanuma, Japan. *International Review Gesamt Hydrobiologie* 65(6): 809-834.
- WATT, W. D., 1966. Released of dissolved organic material from the cells of phytoplankton populations. *Proceeding of the Royal Society of London, Ser. B* 164: 521-551.
- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. y P. SÁNCHEZ-GIL, 1983. Environmental behavior of Campeche Sound Ecological System, off Términos Lagoon, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México, 10(1): 117-136.

Recibido: 23 de abril de 1998.

Aceptado: 28 de enero de 1999.