

La clorofila "a" como indicador de la
biomasa presente en dos estuarios y
un lago de Chile Central

581.13342?

SERGIO CABRERA-SILVA

Publicación Ocasional N° 29

MUSEO NACIONAL DE HISTORIA NATURAL

SANTIAGO DE CHILE

1 9 7 9

Museo Nacional de Historia Natural
— CHILE —
BIBLIOTECA
CASILLA 787 - SANTIAGO

La clorofila "a" como indicador de la biomasa presente en dos estuarios y un lago de Chile Central (*)

BMHN
CG
542.46
C114c
1249
C.L
BAC 4046

SERGIO CABRERA-SILVA (**)

Introducción

Uno de los problemas más interesantes de la limnología, es el cálculo de la cantidad de materia orgánica que las algas pueden producir en un período conocido de tiempo. Esto se denomina productividad primaria.

Un método para determinar en forma indirecta la productividad de un lago o río, es cuantificando la clorofila "a", por ser esta molécula la que capta la energía radiante que hace posible la síntesis de moléculas orgánicas. Este método ha sido utilizado por muchos investigadores desde 1930 hasta 1962, años entre los cuales surgieron numerosas técnicas, fórmulas y unidades diferentes para calcular y expresar la concentración de clorofila "a". Con el objeto de hacer comparables los resultados que se estaban obteniendo en diversas partes del mundo, un grupo de trabajo SCOR-UNESCO, se reunió en París en 1964 para normalizar la metodología.

En nuestro país, no existen datos sobre concentraciones de clorofila en los cuerpos de aguas continentales, ni en los estuarios.

En este trabajo se presenta la producción en dos estuarios y un lago, se discute los resultados de esta metodología y se relacionan los promedios anuales de clorofila "a" superficiales, con las latitudes que corresponden a los sitios de muestreo.

Material y Método.

Lugares de muestreo.

Estuario del río Maipo

El lugar de muestreo situado a unos tres km de la desembocadura (33°37'30"S y 71°36'W), en el estuario del río Maipo (Fig. 1,a) tiene una profundidad de 2 m. De allí se obtuvieron 27 muestras entre julio de 1969 y julio de 1970.

La hoya hidrográfica del Maipo es una de las más importantes del país. De acuerdo con FUENZALIDA 1965, abarca una extensión de 14600 km² de superficie, cubre el espacio cordillerano entre 33° y 34° S. Recibe las nieves de cumbres que sobrepasan los 6000 m.s.m.

Presenta un régimen nevoso estacional. Si se analizan los datos obtenidos en la localidad de La Obra, de un promedio de 45 años de observaciones, se puede decir que: el mes con menor gasto es el de agosto (48,5 m³seg⁻¹) y el mayor es el de enero (210 m³seg⁻¹); el promedio anual es de 102 m³seg⁻¹ y los meses sobre el promedio son los de noviembre a febrero.

Al salir este río de la Cordillera de los Andes, recibe en la Cordillera de la Costa los tributarios extrandinos, el río Mapocho y el estero Puangue que le proporcionan 10,6 m³seg⁻¹, como caudal medio. A su llegada al mar se aproxima por un valle muy ancho y a través de varios cursos ondulantes. Este sistema hidrográfico ha sido clasificado por dicho autor, como un régimen nevoso franco y de escurrimiento torrencial.

Estuario del río Maule

Las muestras se obtuvieron en un lugar ubicado a cuatro km de la desembocadura (35°20'10"S y 72°23'14"W), donde hay una profundidad aproximada de 3 m (Fig. 1,c). Se colectaron 12 muestras entre febrero de 1975 y enero de 1976.

El río Maule recibe las aguas de todo lo ancho del país. Su hoya hidrográfica (FUENZALIDA, 1965) cubre una superficie

(*) Este trabajo fue posible gracias al aporte de UNESCO, MAB-5 y del Servicio de Desarrollo Científico, Artístico y de Cooperación Internacional, de la Universidad de Chile.

(**) Universidad de Chile. Departamento de Biología Celular y Genética, Facultad de Medicina. Santiago Norte. Casilla 6556 — Correo 7 Santiago.

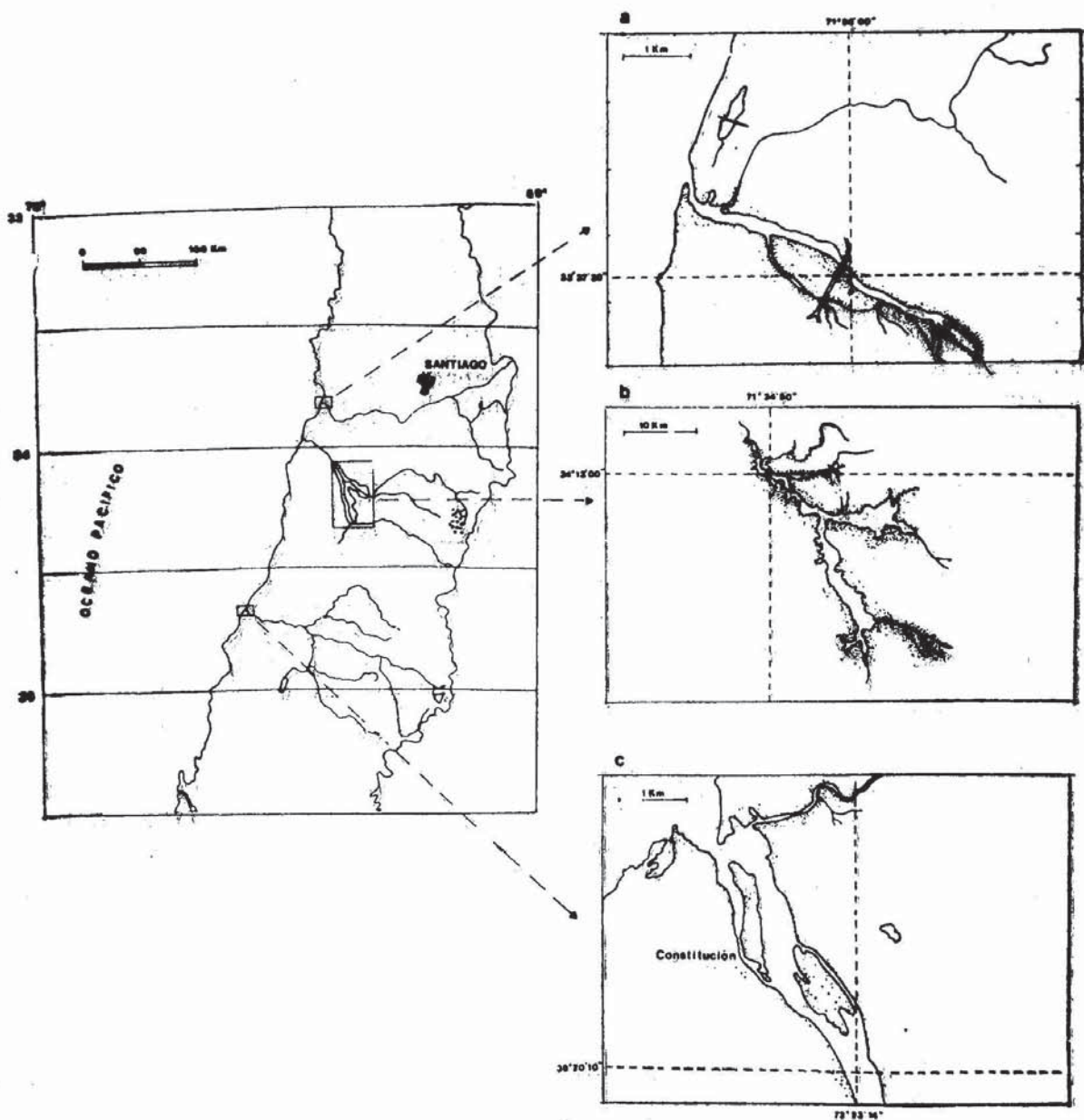


FIG. 1

Areas de estudio

a. Estuario Río Maipo b. Lago Rapel c. Estuario Río Maule.

de 19040 km². Nace en la laguna del mismo nombre ubicada a 2233 m.s.m. la cual tiene una superficie de 45 km² y es de origen volcánico.

La alimentación de este río proviene principalmente de la alta cordillera lo que se traduce en una persistencia de la llena

en diciembre con el caudal máximo de 440 m³seg⁻¹. En abril el mínimo es de 63 m³seg⁻¹.

A medida que el río se va acercando al mar el valle se hace más angosto. En Constitución, el río escurre por una boca de aproximadamente 250 m de ancho, frente

a la cual se ha formado una barra de poco más de 3 m de profundidad.

Este río fue clasificado por FUENZALIDA (op. cit.) entre los de régimen nevoso y de breve llena.

Lago Rapel

Las muestras se obtuvieron en un lugar ubicado a 4 km al S.E. de la represa (34°13'S y 71°34'50"W) donde la profundidad alcanza a 65 m (Fig. 1,b), se coleccionaron 18 muestras entre marzo de 1974 y julio de 1975. Esta estación se encuentra en un valle en "V" típico muy profundo y con laderas de montaña casi verticales, en una curva del curso con características de garganta, tiene un ancho aproximado de 120 m.

Este es un lago artificial situado a 200 m.s.m., producto de la construcción en 1968 de un muro de contención que alberga la Central Hidroeléctrica Rapel. Se caracteriza por ser un lago monomítico y templado, con gran perturbación de su ciclo estacional en los períodos que se realizan las descargas del agua embalsada para producir energía eléctrica. A su vez, es de llenado rápido, por lo que en períodos de lluvias abundantes es necesario abrir las compuertas de superficie o semifondo, con las consecuencias hidrológicas consiguientes. Ocupa la antigua cuenca y el valle del río Rapel. Esta situado a unos 140 km al sur-oeste de Santiago, en la Cordillera de la Costa y sus principales tributarios son el río Cachapoal, cuya hoya hidrográfica alcanza unos 2300 km²; el Tinguiririca con 1525 km², ambos fueron clasificados por FUENZALIDA (1965) como de régimen nevoso franco con escurrimiento torrencial. Además el estero Alhué vierte sus aguas al lago.

En el río Cachapoal los meses de mayor caudal son los de noviembre a marzo, siendo enero el que presenta el mayor con 155 m³seg⁻¹. Un rasgo característico del régimen de este río es la brusca caída del caudal en abril.

Otros antecedentes limnológicos del lago son: su espejo de agua tiene forma de "Y" con la base en dirección N W, la profundidad máxima (z_m) es de 90 m, la profundidad media ($V/A=Z$) de 5.1 m y tiene un volumen (V) de 0.832 km³. La longitud

máxima (l_m) es de 43 km y el desarrollo de la línea de costa (D_L) es de 6.89.

Obtención de las muestras:

Estas fueron recolectadas, por lo menos una vez al mes, con botellas Van Dorn. Se utilizó la técnica propuesta por SCORUNESCO, 1964 y sugerencias dadas por STRICKLAND Y PARSON (1960).

Técnica de análisis:

Las muestras, fueron transportadas al laboratorio en botellas de polietileno, color negro, de un litro de capacidad, a las cuales se les agregó 3 a 4 gotas de una suspensión de carbonato de magnesio al 1% para evitar una posible acidificación lo que podría producir una transformación de las clorofilas en feopigmentos (STRICKLAND Y PARSON, 1960). Las cajas en que son transportadas las botellas, poseen aislamiento térmico e impiden la acción de la luz sobre ellas.

En el laboratorio, se filtraron entre 0,5 y 2 litros de agua, para concentrar el fitoplancton; el filtro fue Millipore de 0,8 u de ester celulosa (cat. AAWP 04700) y se utilizó una presión negativa de hasta 500 milímetros de mercurio, para acelerar el proceso. Finalizada la filtración se dobla el filtro, dejando el material retenido hacia el interior y se introduce en un sobre que lo protege de la luz, el cual se guarda por 24 horas en un desecador al vacío, oscuridad y a 4°C. Al finalizar este período se controla la consistencia del filtro, si éste se presenta quebradizo la deshidratación ha sido completa, si se dobla con facilidad es necesario continuar deshidratándolo. Cuando el filtro está bien seco se recortan sus bordes no cubiertos por plancton y el resto se coloca en un tubo graduado y cónico de centrifuga con tapa, al cual se le agrega una solución de acetona-agua al 90% hasta enrazar a 5 ml.

El tubo, se agita rápidamente en un mezclador ortogonal ("vortex") tratando de lograr una pronta solubilización del filtro. Se guarda a 4°C y oscuridad por un período de 24 horas, durante el cual se produce la extracción de los pigmentos. A continuación nuevamente se homogeniza la solución y se centrifuga a 2.500 g*

(* Gravedad.

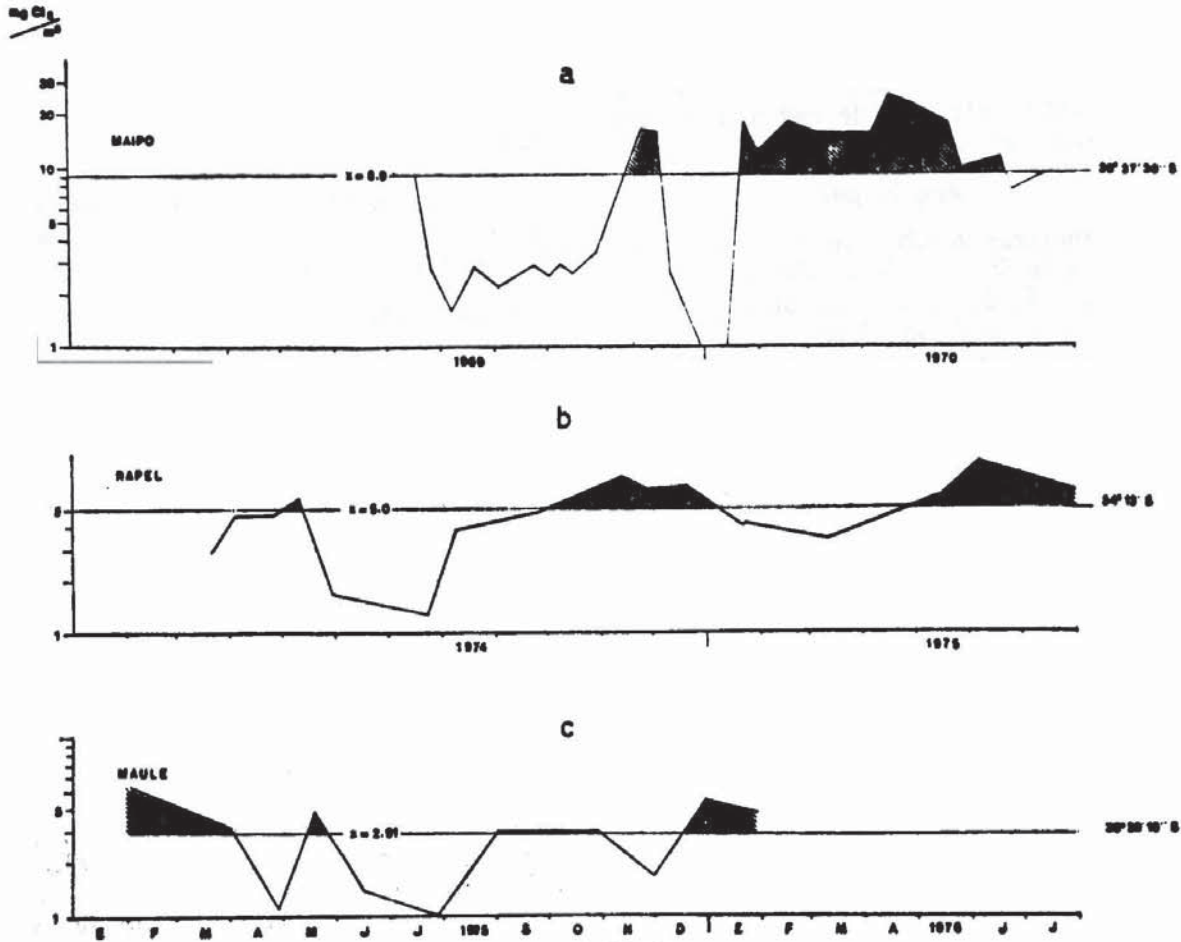


FIG. 2

Variaciones de la concentración de clorofila "a"

(aprox. 3000 r.p.m. en una centrífuga MSE) por 30 minutos, con el objeto de precipitar el filtro destruido y las partículas en suspensión que pudieran interferir la lectura del pigmento en el espectrofotómetro.

El sobrenadante de los tubos que contiene la clorofila disuelta en acetona se pone en una cubeta de un centímetro, del espectrofotómetro y se mide con un blanco de referencia, que posee acetona al 90%, a las longitudes de onda de: 750, 663, 645 y 630 nm. La lectura a 750 nm es un indicador de la cantidad de materia en suspensión que aún puede permanecer en la muestra y ésta debe sustraerse a las otras mediciones. Si este valor (densidad óptica) es mayor que 0.008 la solución debe retornarse al tubo de centrífuga y nuevamente

precipitar las partículas en suspensión, hasta que la lectura a 750 nm sea menor que el valor señalado.

Con estos datos, se aplica la fórmula normalizada por SCOR-UNESCO, 1964 para clorofila *a*.

$$\text{Clorofila } a = (11.64 \cdot \text{DO}_{663} - 2.16 \cdot \text{DO}_{645} + 0.1 \cdot \text{DO}_{630})$$

· b/a

donde *b* es la cantidad en ml de acetona utilizada y *a* el volumen de agua filtrada en litros. DO = densidad óptica a las diferentes longitudes de onda. El resultado queda expresado como: mg de Clorofila *a* m⁻³.

Las concentraciones de clorofila *a*, de

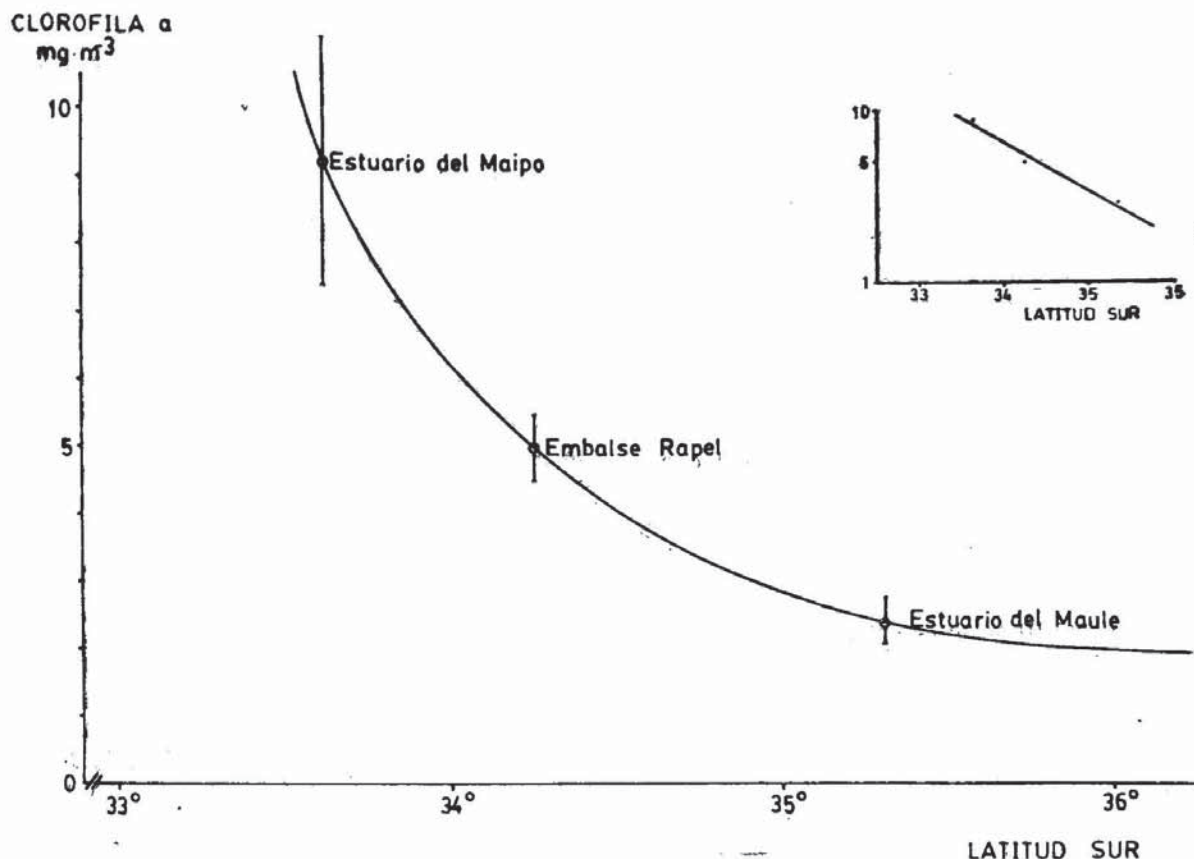


FIG. 3

Promedios anuales de clorofila *a* en diferentes latitudes de Chile Central. Recuadro superior derecho, logaritmo de los valores promedios. Líneas verticales, representan las desviaciones estándar.

los tres lugares estudiados se graficaron en papel semilogarítmico (Fig. 2). Se calculó el promedio de los valores de cada uno de ellos para verificar la relación encontrada por BRYLINSKY Y MANN (1973) entre la cantidad de fitoplancton presente en el período de mayor producción y la latitud. Para los efectos de este trabajo homologamos la cantidad de fitoplancton presente en el período de mayor producción con el promedio de clorofila *a*, para calcular el coeficiente de correlación (*r*) entre éste y la latitud de los cuerpos de agua analizados.

Cuando se observó que el coeficiente de correlación no era significativo entre los valores promedios y latitud; se transformaron los promedios de clorofila *a* a sus logaritmos y se graficó en papel semilogarítmico. Así se obtuvo una línea muy cer-

cana a la recta (Fig. 3, recuadro superior derecho).

Resultados:

En los tres lugares examinados se observó un patrón similar de fluctuaciones con dos máximos: en primavera y otoño; valores bajos aparecen en invierno. Durante el verano en el Lago Rapel se presentaron valores inferiores al promedio y en los dos estuarios valores superiores a sus respectivos promedios.

El estuario del Maipo, tiene un promedio de clorofila *a* de 8.9 mg m⁻³, con una desviación standard de 7.3 (Fig. 2a y Fig. 3). Los valores se distribuyeron entre 0.8 y 24.9 mg m⁻³. Los periodos del año en que los valores sobrepasan el promedio son: segunda mitad de noviembre y primera

semana de diciembre, y desde el final de enero hasta junio. Durante este período los meses con máximos valores fueron abril y mayo.

Valores inferiores al promedio se observan desde julio hasta mediados de noviembre y en la segunda mitad de diciembre y primera de enero. Este último período es el único en que los valores fueron menores que 1 mg m^{-3} .

En el Estuario del Maule se observó un promedio de 2.91 mg m^{-3} de clorofila *a* con una desviación standard de 1.38 (Fig. 2,c y Fig. 3). Los valores se encuentran distribuidos entre 1.0 y 5.4 mg m^{-3} . Valores superiores al promedio se encontraron durante la segunda mitad de diciembre hasta marzo, como también durante la segunda semana de mayo y desde septiembre a octubre. Los valores más altos se obtuvieron en enero y durante los meses de septiembre, octubre y noviembre; los valores fueron levemente superiores al promedio.

Valores menores que el promedio se obtuvieron en: abril, junio, julio y gran parte de agosto; igual fenómeno se observó en noviembre y la mitad de diciembre. La concentración más baja se registró a fines de julio con un valor de 1.0 mg m^{-3} . (Según STRICKLAND, 1960 es posible determinar cantidades hasta de 0.2 y 0.3 microgramos de clorofila *a*, utilizando este método).

En el lago Rapel el promedio observado en la determinación de clorofila *a* es de 5.0 mg m^{-3} , con una desviación, standard de 2.02 (Fig. 2,b y Fig. 3). Los valores fluctúan entre 1.1 y 9.1 mg m^{-3} .

Los períodos del año en que los valores están sobre el promedio, van desde fines de septiembre hasta comienzos de enero, y entre mayo y junio, situación esta última, que no es comparable al primer año. Los valores más altos se observaron en mayo.

Los valores bajo el promedio se observaron entre junio y fines de septiembre; de la misma manera que entre mediados de enero y primera mitad de abril. El valor más bajo de todos se observó a fines de julio de 1974 y fue de 1.3 mg m^{-3} .

El coeficiente de correlación obtenido entre los valores promedios de clorofila *a* y latitud fue $r = -0.9312$, $n = 3$; y el

coeficiente de correlación entre los logaritmos de los valores promedio y la latitud fue: $r = -0.9767$, $n = 3$ y $p < 0.2$.

Discusión.

En invierno (junio, julio y agosto), se observan las menores concentraciones de clorofila "a" en los tres lugares estudiados. Esto coincide con la mínima radiación total incidente y bajas temperaturas. Además los tres sistemas se hallan en "período de mezcla", lo que trae como consecuencia un aumento en la turbiedad y esto produce condiciones de luz aún más desfavorables para el fitoplancton.

En los dos estuarios durante los períodos de gastos máximos de los ríos (Maipo: $210 \text{ m}^3\text{seg}^{-1}$ durante enero y Maule $440 \text{ m}^3\text{seg}^{-1}$ durante diciembre) consecuencia de los deshielos, se observan drásticas disminuciones en las concentraciones de clorofila "a". Este fenómeno no se observa en el Lago Rapel cuyo principal tributario es el río Cachapoal con sus mayores gastos entre noviembre y marzo, también productos de deshielos. Esta diferencia se debe, posiblemente, a que en esta época el lago está estratificado y el agua del deshielo fría y de mayor densidad debe circular por el fondo.

La disminución, en el lago, de la concentración de clorofila "a" (biomasa fitoplanctónica), durante enero a marzo, puede ser consecuencia de la acción de uno o varios factores tales como: un exceso de radiación total incidente, que llega a los niveles superficiales del lago; un agotamiento de los nutrientes (silicatos, nitratos y fosfatos) después de las elevadas producciones de primavera. Es necesario agregar que aunque el factor temperatura no es una condición limitante para la producción fitoplanctónica (MUNAWAR & BURNS 1976) debe señalarse que durante este período, las temperaturas superficiales alcanzaron 22° a 24°C .

El florecimiento progresivo correspondiente a primavera (agosto a noviembre) es casi sincrónico, en los dos lugares de menores latitudes; pero en el estuario del Maule los valores son muy poco superiores al promedio y constantes entre septiembre y octubre.

El período de enero a marzo es de abundancia de fitoplancton en ambos estuarios. Se observan valores sobre el promedio los que pueden tener relación con la mayor turbulencia en los sistemas lóticos que facilita la mezcla.

En los estuarios se observa un constante enriquecimiento de nutrientes provenientes del fondo y temperaturas posiblemente óptimas para una buena producción que se refleja en altas concentraciones de clorofila *a*.

En el período de otoño, se observan valores que sobrepasan al promedio, en los tres lugares estudiados; pero difieren en duración. En el estuario del Maipo esta alza que es tres veces superior al promedio, se presenta entre abril y mayo; este hecho, probablemente, es producto de la mayor radiación total que recibe este sistema en relación con los otros dos que se hayan a mayores latitudes. En el Lago Rapel, el alza de otoño, no alcanza a ser dos veces el valor del promedio y se produce entre mayo y junio. Finalmente en el Maule es 1.6 veces mayor que el promedio y no dura más de un mes (mayo). En general este aumento de clorofila *a* que representa un aumento de la biomasa fitoplanctónica se produce por buenas condiciones de luz, temperatura y nutrientes en la mayor parte de los cuerpos de agua, nuestros casos no se salen de la norma. Queremos aclarar que, por lo general, las especies predominantes durante el alza de biomasa otoñal son diferentes a las que predominan en primavera.

Hasta aquí podemos concluir que: a) las fluctuaciones son producto de la dinámica de la población fitoplanctónica; pues coinciden con factores climáticos o con variaciones en la concentración de nutrientes en el sistema, lo cual permitiría descartar que las fluctuaciones sean producto del azar. b) Los tres sistemas presentan un patrón común: dos altas, primavera y otoño con una baja de invierno. Sin embargo, difieren durante el verano. Considerando esto debe hacerse notar que los dos estuarios presentan mayor similitud entre sí que con el lago. Podríamos agregar que al parecer los deshielos tienen mayor influencia en los estuarios que en el lago.

BRYLINSKY Y MANN (1973), estudiando cuerpos de aguas entre 5° y 75° latitud N encuentran un coeficiente de correlación $r = -0.75$; ($n = 55$) entre la cantidad de fitoplancton presente en el período de mayor producción y la latitud. Si nosotros homologamos el promedio de clorofila *a* con la cantidad de fitoplancton presente en el período de mayor producción y calculamos el valor de r con la latitud de cada uno de los lugares obtenemos $r = -0.9312$, que para un $n = 3$ no es significativo. Pero al transformar estos valores promedios de clorofila *a* a sus logaritmos y nuevamente calcular el coeficiente de correlación, este adquirió significación; $r = -0.9767$ para una probabilidad de $p < 0.2$.

Este resultado nos lleva a postular que la relación que existe entre promedios de clorofila *a* y latitud está representada por una curva exponencial (Fig. 3). Si estos valores son ajustados a una línea recta, sin expresar los logaritmos de los promedios de clorofila *a* no es posible explicar la existencia de estas moléculas en cuerpos de agua que estén ubicados más allá de los 35° 30'S; lo que para Chile no pasa más allá de la ciudad de Talca.

Además, el hecho que las desviaciones standard (Fig. 3) vayan disminuyendo al aumentar la inclinación de los rayos solares también coincide con el hecho de que las variaciones estacionales, expresadas como cantidad de clorofila *a*, son mayores a menor latitud; mientras que a medida que la latitud aumenta estas variaciones se van atenuando y se comprueban desviaciones standard progresivamente menores.

Finalmente podemos concluir que: el conjunto de razones dadas, muestran una estrecha relación entre la cantidad de clorofila *a* y la biomasa presente, hecho que MARGALEF, (1965) comprobó, señalando un valor $r = + 0.964$ significativo; obtenido entre la biomasa de fitoplancton y la cantidad de clorofila *a* presente en la misma muestra.

Estos hechos, muestran la riqueza de los datos que esta técnica proporciona y nos abre un nuevo camino para acumular información que nos entreguen sólidos elementos de juicio para entender mejor la dinámica de las poblaciones fitoplanctónicas en aguas continentales.

Summary

The annual cycle of chlorophyll *a* concentration was studied in two estuaries (Maipo and Maule) and a lake (Rapel at 200 m. a.s.l.) of Central Chile (between 33°37' and 35°20'S).

A similar pattern characterized by two peaks (spring and autumn) and lowest values (winter) is observed in all of them. However, in summer the lake presents lower values and both estuaries higher values when compared to their respective annual means.

The annual means of chlorophyll *a* are: Maipo estuary 8.9 ± 7.3 ; Rapel lake 5.0 ± 2.02 and Maule estuary 2.9 ± 1.38 , expressed as mg m⁻³.

The chlorophyll *a* concentration is a good indicator of phytoplankton biomass change in these ecosystems, and its changes are directly connected to climatic phenomena and/or nutrient depletion.

The means and standard deviations decrease with an increase in latitude. A clear exponential relationship between the above mentioned parameters was found, ($r = -0.9767$, $p < 0.2$).

Agradecimientos:

Al Prof. Nibaldo Bahamonde N. por sus valiosas sugerencias y revisión final del manuscrito.

Referencias Bibliográficas:

BRYLINSKY, M. y K. H. MANN

- 1973 An analysis of factor covering productivity in lakes and reservoirs. *Limnol. and Oceanograph.* 18 (1): 1-14.

FUENZALIDA, H.

- 1965 Hidrografía en Geografía Económica de

Chile. Ed. Corporación de Fomento de la Producción. (Texto Refundido). Santiago de Chile. 153-199.

MARGALEF, R.

- 1965 Ecological correlations and the relationship between primary productivity and community structure. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 18 Suppl.: 355-364.

MUNAWAR, M., AND N. M. BURNS

- 1976 Relationships of phytoplankton biomass with soluble nutrients, primary production, and chlorophyll "a" in Lake Erie, 1970. *J. Fish. Res. Board Can.* 33: 601-611.

MUÑOZ, C.

- 1976 Estudio Físico-químico del estuario del Río Maule y Litoral. Seminario de título. Univ. de Chile, Talca.

MUÑOZ, C.; S. CABRERA S. y

N. BAHAMONDE N.

- 1978 Ciclos anuales de las clorofilas del fitoplancton en dos estuarios de la zona central de Chile. *Arch. Biol. Med. Exp.* Vol. 11: N° 3, R-90.

SCOR-UNESCO,

- 1964 Report of SCOR - UNESCO Working Group 17 on "Determination of photosynthetic pigments" (mimeogr.) Sidney.

STRICKLAND, J. D. H.

- 1960 Measuring the production of marine phytoplankton. *Fish. Res. Bd. Canadá, Bull.* 122: 1-172.

STRICKLAND, J. D. H. y T. R. PARSONS

- 1960 A manual of sea-water analysis. *Fish. Res. Bd. Canada, Bull.* 125: 107-115,

Imprenta Museo Nacional de Historia Natural

CASILLA 787 — SANTIAGO (CHILE)