

## DISTRIBUCION VERTICAL DE CARACTERISTICAS OCEANOGRAFICAS EN LA LAGUNA SAN RAFAEL, CHILE (LAT. 46° 40'S, LONG. 73° 55'W).\*

HELLMUTH A. SIEVERS<sup>1</sup>, ROBERTO PRADO<sup>1</sup>, PABLO MUÑOZ<sup>1</sup> y SERGIO AVARIA<sup>1</sup>

**ABSTRACT:** Hellmuth A. Sievers<sup>1</sup>, Roberto Prado<sup>1</sup>, Pablo Muñoz<sup>1</sup> and Sergio Avaria<sup>1</sup>. Vertical distribution of oceanographic characteristics in Laguna San Rafael, Chile (46° 40'S, 73° 55'W).

The San Rafael glacier is the closest to the equator which reaches the sea. It does this into a body of water called Laguna San Rafael, located in southern Chile, whose oceanographic characteristics are described for the first time.

Four water types are found in this lagoon. From top to bottom these are: surface water, winter water, intermediate water and deep saline water.

Its water temperature is generally low, less than 6 °C, except at the surface layer in summer. Its salinity increases with depth from nearly 16 psu at the surface to about 18 psu near the bottom. Its chemical composition shows high oxygen content, low concentrations in silicate and phosphate and a  $\text{NO}_3 : \text{PO}_4$  ratio of 21 : 1 in the whole water column.

The renewal of the deep water is restricted due to its high density and a shallow sill at the lagoon's mouth (Témpanos River), but it is surprisingly high in dissolved oxygen probably due to low organic matter content.

Diatoms were more abundant than the dinoflagellates in a sparse phytoplankton population. This population correlated more with herbivorous zooplankton than with physical and chemical water characteristics. The presence of the DSP dinoflagellate *Dinophysis acuminata* in concentrations of 300 cells · l<sup>-1</sup> was detected.

**Key words:** Chilean fjords, water types, Redfield ratio, water properties, phytoplankton.

**RESUMEN:** Hellmuth A. Sievers<sup>1</sup>, Roberto Prado<sup>1</sup>, Pablo Muñoz<sup>1</sup> y Sergio Avaria<sup>1</sup>. Distribución vertical de características oceanográficas en la laguna San Rafael, Chile (lat. 46° 40'S, long. 73° 55'W).

El ventisquero San Rafael es el más próximo al ecuador que alcanza el mar, desembocando en la laguna San Rafael, situada en la zona austral de Chile. Las características oceanográficas de sus aguas se describen por primera vez.

Se detectaron cuatro tipos de agua en la laguna. Desde la superficie al fondo son: Superficial, Invernal, Intermedia y Salina Profunda.

La temperatura del agua es en general baja, menor de 6 °C, excepto en la capa superficial en verano. La salinidad aumenta con la profundidad desde alrededor de 16 psu en la superficie a aproximadamente 18 psu próximo al fondo. Sus aguas presentan alto contenido de oxígeno disuelto, bajas concentraciones de silicato y fosfato y una razón  $\text{NO}_3 : \text{PO}_4$  de 21 : 1 en toda la columna de agua.

La renovación del agua profunda de la laguna se ve restringida debido a su alta densidad y bajo umbral en la desembocadura al río Témpanos. Sin embargo, el contenido de oxígeno disuelto es alto, lo que podría atribuirse a un bajo contenido de materia orgánica de sus aguas.

El fitoplancton es escaso, con dominancia de diatomeas bien silicificadas sobre los dinoflagelados. Se aprecia una mejor relación con el zooplancton herbívoro que con las variables físicas y químicas observadas. Entre los taxa que lo conforman cabe destacar la presencia significativa de *Dinophysis acuminata*, especie causante de VDM, en concentraciones de 300 cél · l<sup>-1</sup>.

**Palabras claves:** Fiordos chilenos, tipos de agua, razón de Redfield, propiedades del agua, fitoplancton.

\* Trabajo financiado a través del proyecto FONDECYT N° 91-0410

<sup>1</sup> Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, Casilla 13-D, Viña del Mar, Chile.

## INTRODUCCION

El Derrotero de las Costas de Chile (1990) describe la laguna San Rafael, famosa por el ventisquero del mismo nombre que desemboca en ella, como "el extremo austral del gran canal que corre de N a S por más de 170 millas náuticas (~ 315 km) de extensión por entre la costa continental y el archipiélago Chonos, con los nombres sucesivos de Moraleda, Costa, Elefantes y golfo de ese nombre. La única comunicación de la laguna San Rafael hacia los canales la constituye el río Témpanos, cuya boca se abre en la costa norte de la laguna. Se trata de un río de curso sensiblemente recto con una extensión aproximada de 5 millas (9,25 km) y una orientación de SSW a NNE. Este río, cuyo ancho no excede de 360 m ni descendiendo a menos de 250 m, que mide en su boca de origen, tiene una profundidad a medio freo que se mantiene entre 15 y 8 m y el fondo es de fango duro. Las corrientes en el río son bastante fuertes durante la vaciante, estimándose su intensidad en 5 a 6 nudos (9 a 11 km · hr<sup>-1</sup>) en la boca de la laguna. Con la corriente descienden al golfo Elefantes los témpanos que continuamente se desprenden del ventisquero San Rafael".

La laguna San Rafael tiene una forma ligeramente ovalada, orientada al norte, de 15 por 12 km y profundidad máxima de 130 m en su zona central (Fig. 1). Acercándose a las riberas, la profundidad disminuye rápidamente, siendo las playas tendidas, formadas de arena, fango y guijarros.

El Derrotero de las Costas de Chile (1990) consigna también que la amplitud

de las mareas en la laguna no excede de 1,5 m y la salinidad de sus aguas es muy inferior a la que se observa en los canales vecinos, debido al caudal de agua dulce proveniente del derretimiento de los hielos del ventisquero. A esto hay que agregar la alta pluviosidad que caracteriza a dicha zona. Al respecto la Dirección Meteorológica de Chile en su anuario indica una media anual de 2 961,3 mm para un período de 30 años en Puerto Aysén, ubicado aproximadamente a 155 km al NNE de la laguna, lugar más cercano del cual se tiene información pluviométrica.

La característica más relevante de esta laguna la constituye su ventisquero, el más cercano al ecuador que aún desemboca en el mar, el que desciende de los flancos occidentales del monte San Valentín de 4 058 m de elevación y desemboca en ella por un abra de las montañas como de 1 milla (1,85 km) de ancho. El ventisquero San Rafael, que en el pasado no muy lejano (40 a 50 años), llenaba gran parte de la laguna en un círculo de más o menos 5 millas (~ 9 km) de diámetro, ha retrocedido considerablemente, apreciándose en la actualidad que su frente se encuentra próximo a la zona de la boca del abra descrita. Marcas fechadas, que se han pintado en el acantilado norte, son testigo del retroceso que ha estado sufriendo el ventisquero en los últimos años. De su muro cristalino se desprenden constantemente bloques de hielo que flotan en la laguna a merced del viento, hasta que la marea vaciante los arrastra hacia el norte por el río Témpanos.

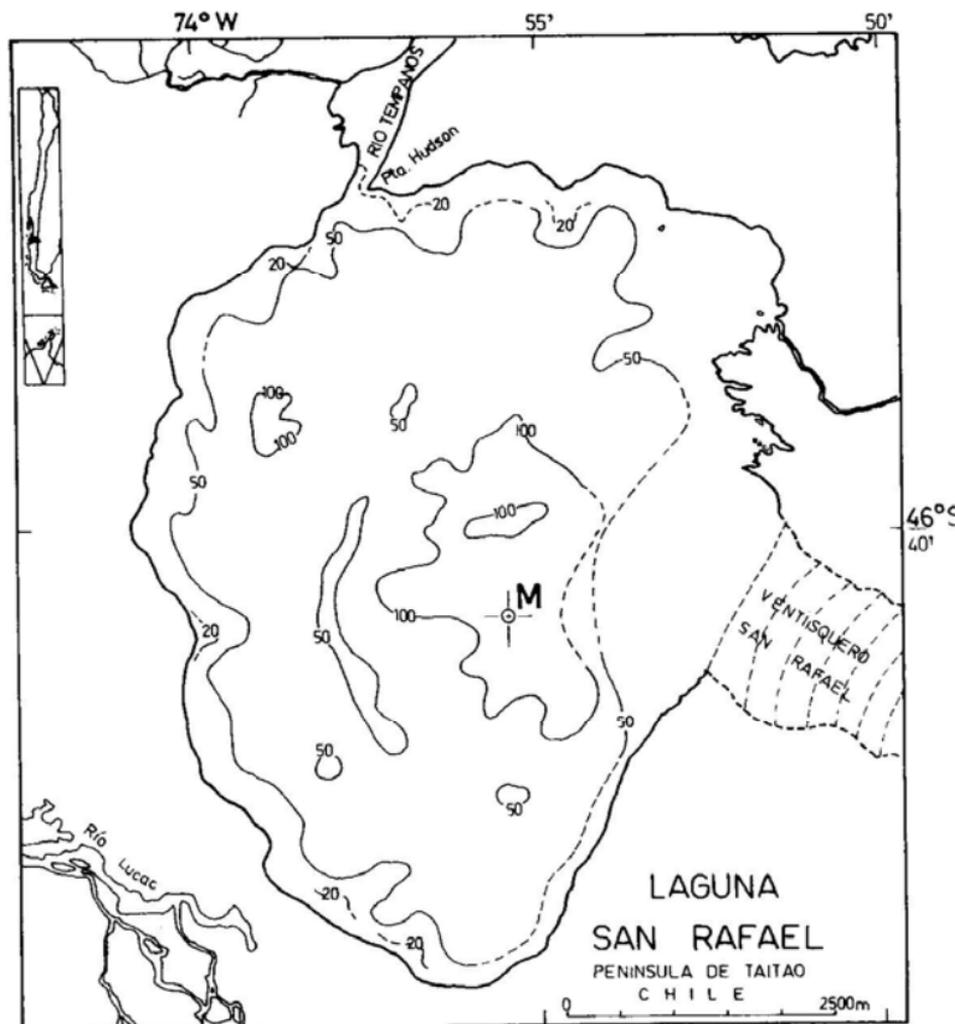


Fig. 1. Plano de la laguna San Rafael indicando posición de la estación oceanográfica Montemar.

La escasa información oceanográfica existente en general para el área, sumado al interés turístico que en particular reviste la laguna San Rafael, hacía muy atractiva la posibilidad de efectuar algún estudio científico en ella. La oportunidad de realizar una estación oceanográfica en la laguna se presentó el 15 de diciembre de 1992, como una extensión del trabajo científico que estos mismos autores habían estado realizando en forma sistemática en el seno Aysén, canal Pilcomayo y conexiones con los canales Costa y Moraleda. Dicho estudio financiado por FONDECYT y apoyado por la Armada de Chile, fue llevado a cabo con la lancha LEP "Hallef" dependiente de la Gobernación Marítima de Puerto Aysén.

Se presentan aquí los resultados obtenidos, de lo que constituye la primera y única observación oceanográfica realizada en la laguna San Rafael.

## MATERIALES Y METODOS

Se obtuvieron muestras de agua a distintos niveles con botellas oceanográficas Hydro-Bios, midiendo simultáneamente la temperatura en cada profundidad muestreada mediante termómetros de inversión protegidos. Las profundidades reales bajo los 100 m fueron establecidas con termómetros de inversión no protegidos.

Las muestras de agua fueron subdivididas inmediatamente después de recuperadas en volúmenes apropiados para determinar oxígeno disuelto, salinidad, silicato, fosfato, nitrato y nitrito.

De muestras obtenidas con bote-

llas Niskin entre superficie y 30 m se separaron volúmenes apropiados para recuento de células del fitoplancton y determinación de clorofila "a". En forma simultánea se obtuvieron muestras de fitoplancton con red de 71 micrómetros de tamaño de malla para análisis taxonómicos, mediante arrastres superficiales de 20 minutos de duración, y muestras verticales por arrastre desde 30 m a superficie.

Paralelamente con la toma de muestras de agua, se efectuó un registro vertical continuo *in situ* de temperatura y salinidad utilizando para ello un perfilador WTW modelo LF 191 con sensor LT 1/T.

Las determinaciones de oxígeno disuelto se efectuaron empleando la técnica volumétrica de Carrit & Carpenter (1966), utilizando como ecuación de cálculo la recomendada por Culberson *et al.* (1991). Las muestras de salinidad fueron mantenidas en frascos de vidrio con cierre hermético y determinadas por conductimetría utilizando salinómetro de inducción Autolab.

Los volúmenes destinados a los análisis de silicato, nitrato y nitrito fueron transferidos directamente a frascos de polietileno y preservados por congelación a -20°C. Otro tanto se hizo con aquellos destinados al análisis de fosfato, pero transfiriéndolos a matraces de vidrio. La mantención de la congelación en la etapa de transporte de estas muestras hasta el laboratorio en Viña del Mar se efectuó con hielo seco en cajas de material termoaislante. La determinación de silicato se efectuó por el método de Strickland & Parsons (1968), en tanto que

la de fosfato por el método de Koroleff (1983) y aquellas de nitrato y nitrito se efectuaron por los métodos de Grasshoff (1983 a, b).

El análisis taxonómico del fitoplancton se efectuó observando directamente en un microscopio de contraste de fases el material fijado o tratado previamente con ácidos para la eliminación de materia orgánica en diatomeas y con hipoclorito de sodio para separación de placas en dinoflagelados. El recuento de células se hizo en un microscopio invertido, siguiendo el método de Utermöhl (1958) y la determinación de clorofila "a", siguiendo la técnica de Strickland & Parsons (1972), empleando las ecuaciones de SCOR/UNESCO. Tanto en el muestreo como en los diferentes análisis del plancton, se consideraron las recomendaciones de UNESCO (1978).

Como complemento a las técnicas anteriores, se efectuaron observaciones en un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-T300 de la Universidad Católica del Norte, aplicando en la preparación y montaje del material, los métodos descritos en Hasle & Fryxell (1970).

## RESULTADOS

La distribución vertical de la temperatura en la laguna San Rafael, en su zona más profunda, indica que ésta va disminuyendo en forma escalonada hasta los 35 m de profundidad desde un valor superficial de 6,15°C (Fig. 2a). A esta profundidad la temperatura registrada fue de 5,81°C, aumentando levemente en los próximos metros. La inversión de temperatura alcanza los 0,08°C, para luego continuar disminuyendo progresiva-

mente con el aumento de la profundidad. El uso de un perfilador de registro continuo permitió complementar la información obtenida por mediciones con termómetros de inversión en puntos discretos. Sin embargo, tanto estos registros como aquellos de salinidad, no pudieron ser utilizados a profundidades mayores de 35 m, por efectos del arrastre de la sonda debido a la apreciable deriva de la embarcación que dificultó la determinación exacta de la profundidad alcanzada por el instrumento.

Por su parte, la distribución vertical de salinidad muestra una tendencia general a aumentar con la profundidad, lo cual se presenta más marcado en los primeros 5 m superficiales y bajo los 90 m (Fig. 2b). Entre los 5 y 18 m de profundidad se distingue claramente una capa homohalina (16,4 psu), a continuación de la cual la salinidad aumenta gradualmente hasta los 90 m. El valor máximo a 104 m fue de 18,027 psu. Esta disminución superficial de la salinidad fue acusada también, de un modo más acentuado, por el instrumento de registro continuo utilizado para el perfil vertical.

La distribución vertical de la densidad se asemeja notablemente a la de la salinidad, aumentando gradualmente con la profundidad hasta aproximadamente 90 m. A partir de allí el gradiente de densidad se acentúa alcanzando un valor de  $\sigma_t = 14,206$  a 104 m (Fig. 2c).

El diagrama T - S se divide en cuatro segmentos, en que se destacan tanto el mínimo como el máximo relativos de temperatura, más el fuerte aumento de la densidad bajo los 90 m de profundidad (Fig. 2d).

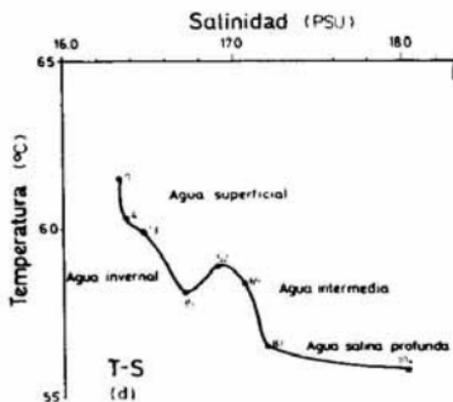
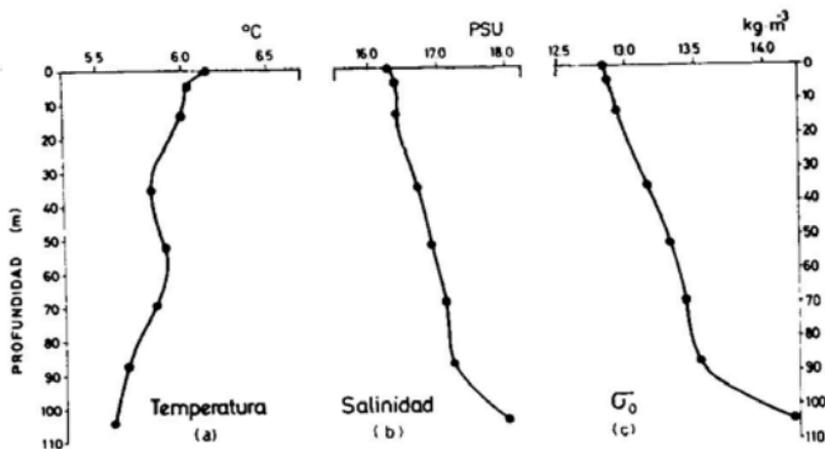


Fig. 2. Distribución vertical de características del agua de la laguna San Rafael: (a) temperatura en °C, (b) salinidad práctica, (c) densidad expresada como  $\sigma$  en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , y (d) diagrama T-S. Observaciones efectuadas el 15 de diciembre de 1992.

El contenido de oxígeno disuelto es en general alto, superando los  $8 \text{ cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$  prácticamente hasta los 90 m de profundidad (Fig. 3a). El valor mínimo a 104 m es de  $7,88 \text{ cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ , el cual corresponde a un valor de 101% (Fig. 3a). Con la excepción de un máximo relativo a 4 m de profundidad ( $8,48 \text{ cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ ), la distribución vertical del oxígeno se caracteriza por una disminución gradual hasta los 52 m, desde donde vuelve a aumentar, alcanzando un segundo máximo relativo a 69 m de profundidad. Los valores de saturación, superiores a 100% para toda la columna de agua, alcanzan su máximo a los 4 m de profundidad (108%).

La concentración de silicato es baja, con un valor máximo de  $17,6 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  en la superficie, desde donde disminuye abruptamente a menos de  $12 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  a 4 m de profundidad (Fig. 3b). Un segundo mínimo relativo aparece a unos 70 m de profundidad, registrándose entre 13 y 52 m un estrato en el cual la concentración del silicato es relativamente homogénea, con valores cercanos a  $16 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

Las concentraciones de fosfato son bajas para toda la columna de agua, con un valor máximo de  $0,79 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  a 104 m de profundidad (Fig. 3c). La distribución vertical correspondiente muestra un rápido aumento, desde un mínimo de  $0,17 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ , en los primeros 4 m, el que continúa de modo gradual hasta alcanzar un máximo relativo a los 13 m. A partir de esta profundidad se produce un descenso de la concentración de fosfato que, a continuación de una capa de mínimo, vuelve a aumentar hasta alcan-

zar el valor máximo ya indicado.

La distribución vertical del nitrato se caracteriza por una gran variabilidad con alternancias de mínimos y máximos (Fig. 3d). Las concentraciones son altas sobre los 20 m de profundidad y oscilan en un rango entre 10 y  $15 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

Las concentraciones de nitrito, por su parte, son bajas y presentan menos fluctuaciones que las otras características en su distribución vertical (Fig. 3e). Los valores para toda la columna de agua se sitúan en el rango comprendido entre  $0,16$  y  $0,26 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Los valores más altos se encuentran tanto en la superficie como a la mayor profundidad observada (aprox.  $0,25 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ).

El análisis cualitativo del fitoplancton señala una dominancia de las diatomeas sobre los dinoflagelados, siendo las especies más abundantes entre las primeras, *Coscinodiscus janischii* (Lam. 1), *Chaetoceros decipiens* y *Skeletonema costatum*. Entre los dinoflagelados destaca por su abundancia *Protoperidinium obtusum*, acompañado por otros dos taxa presentes en forma escasa, *Ceratium pentagonum* var. *robustum* y *Diplopsalis lenticula*.

A su vez el análisis cuantitativo del fitoplancton señala una baja concentración en la columna de agua hasta 30 m de profundidad con valores máximos de 11 000 y 16 000  $\text{cél} \cdot \text{l}^{-1}$ , entre 5 y 20 m, predominando la diatomea *Skeletonema costatum* (Fig. 4a). En cuanto a los dinoflagelados, sólo fue cuantitativamente significativo *Dinophysis acuminata* entre 10 y 20 m, con valores máximos de 300  $\text{cél} \cdot \text{l}^{-1}$ .

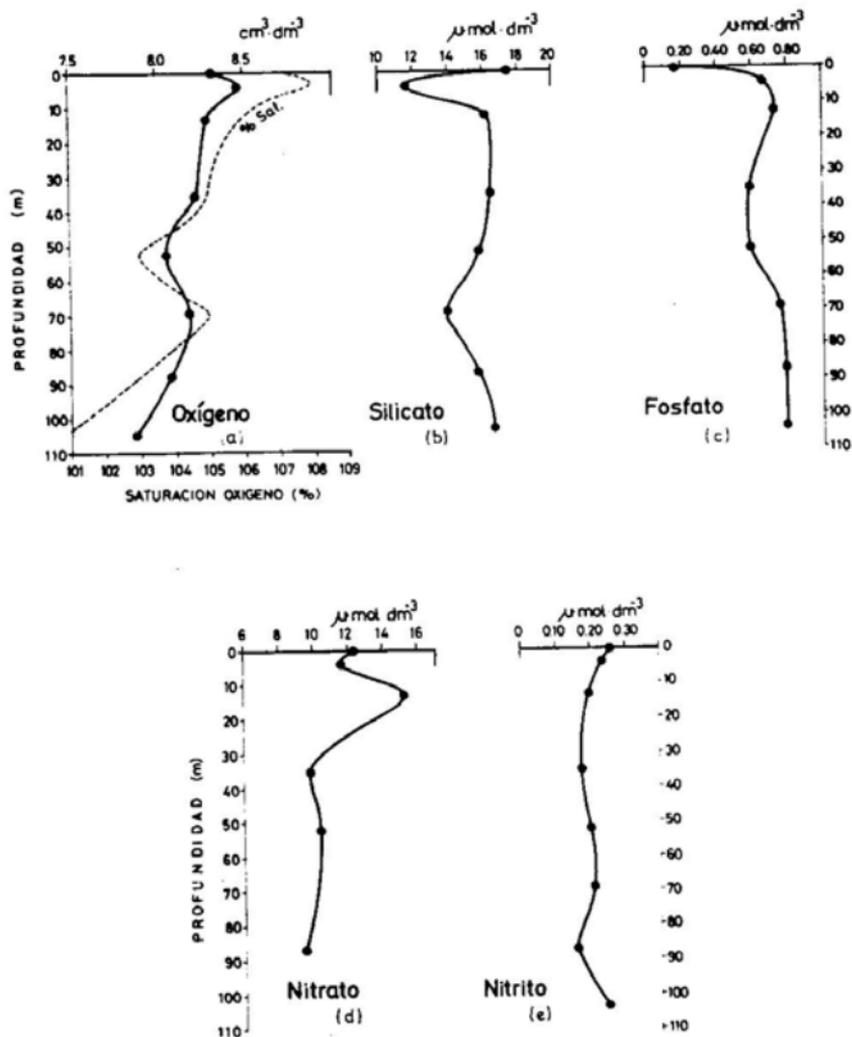


Fig. 3. Distribución vertical de características químicas del agua de la laguna San Rafael: (a) contenido de oxígeno disuelto en  $\text{cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$  y porcentaje de saturación; concentración en  $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  de: (b) silicato, (c) fosfato, (d) nitrato, (e) nitrito. Observaciones efectuadas el 15 de diciembre de 1992.

Es importante destacar la presencia de *D. acuminata*, puesto que es uno de los dinoflagelados productores de Veneno Diarreico de los Mariscos (VDM), especie ampliamente distribuida en la XI Región (Muñoz *et al.* 1992).

Los valores de clorofila "a" fueron muy bajos, y relativamente uniformes hasta los 30 m, oscilando entre 0,38 y

0,42  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$  (Fig. 4b) situación que contrasta con los recuentos de células que señalan valores máximos a 5 y 20 m de profundidad. Adicionalmente fue posible observar directamente al microscopio una cantidad apreciable de zooplankton herbívoro en las muestras de red y presencia de tripton orgánico en las muestras de agua.

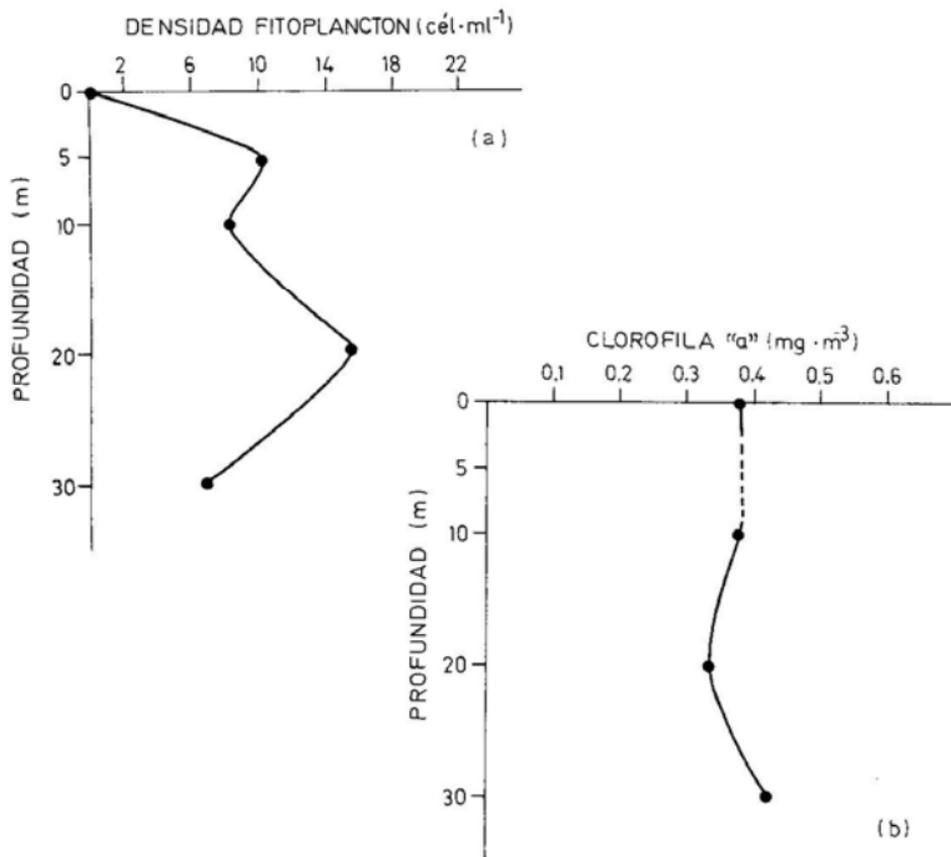


Fig. 4. (a) Distribución vertical de la concentración de células del fitoplancton entre superficie y 30 m, (b) distribución vertical de la clorofila "a" entre superficie y 30 m.

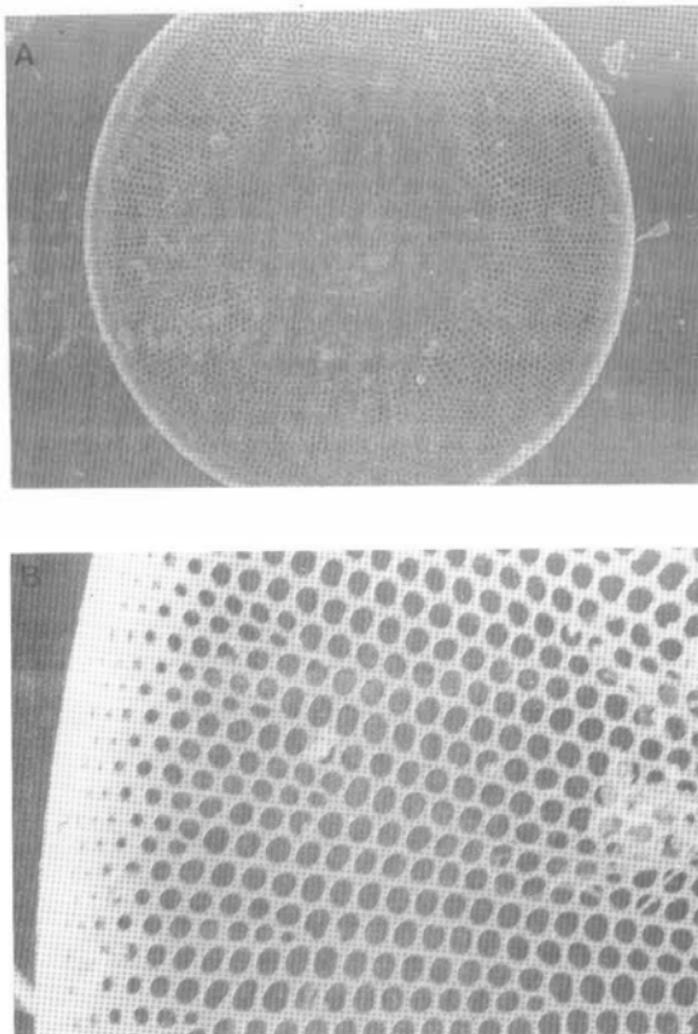


Lámina 1. *Coscinodiscus janischii*, diatomea del plancton de la laguna San Rafael, XI Región. A). Vista general de la célula (368 X), B). Detalle de la valva (1500 X).

## DISCUSION

En las aguas superficiales, hasta los 4 m, se manifiesta una disminución de la temperatura y un aumento de la salinidad en función de la profundidad. Este delgado estrato con mayor temperatura es atribuible al efecto del calentamiento propio de la época estival. A su vez, la salinidad más baja en la superficie es consecuencia tanto de la alta pluviosidad, característica del área, como de la fusión del hielo proveniente del ventisquero San Rafael. De este último, distante unos 4 km de la posición geográfica de la estación, se desprenden constantemente témpanos de diversos tamaños que se distribuyen a lo largo y ancho de la laguna. Las referidas tendencias de la temperatura y la salinidad, a nivel superficial, también se observa de las mediciones obtenidas con perfiladores de registro continuo. Esta información, aunque de menor precisión que aquella obtenida por mediciones en puntos discretos con botellas de inversión, muestra una buena concordancia con aquella, la que se extiende incluso hasta unos 35 m de profundidad.

En relación a la caracterización oceanográfica de la laguna es posible establecer, del examen de la curva T - S, la existencia de cuatro tipos de agua, a saber: Superficial, Invernal, Intermedia y Salina Profunda (Fig. 2d).

El agua Superficial corresponde al primer escalón de temperatura, con un gradiente de  $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Esta agua se caracteriza también por un paulatino aumento de la salinidad, aumento del contenido de oxígeno disuelto, disminución del silicato y nitrato y un rápido aumento

del fosfato. Estas características del agua superficial se extienden, en esta oportunidad, hasta los 4 m. Bajo esta profundidad y hasta los 13 m el agua superficial se presenta homohalina, con baja estabilidad y con aumento de los nutrientes, a excepción del nitrito, además de una disminución del oxígeno disuelto. Cabe atribuir esta situación a la acción que pueden ejercer las cambiantes condiciones meteorológicas del área sobre una zona que, al inicio de la época estival, es de fácil mezcla por su poca variación vertical en densidad (Fig. 2c). Dadas las condiciones homohalinas, este ligero incremento de densidad es consecuencia de la disminución de temperatura con la profundidad, situación que irá intensificándose a medida que progrese el verano, modificando toda la columna del agua Superficial hasta los 13 m.

El agua Invernal, así llamada siguiendo la idea de Mosby (1934) para el océano Austral, corresponde a aquella que se distingue por un mínimo de temperatura que se destaca claramente a 35 m en el diagrama T - S (Fig. 2d). Este tipo de agua se extiende entre los 13 m y alrededor de 45 m de profundidad, caracterizándose además por el contenido de oxígeno disuelto relativamente uniforme, concentración homogénea del silicato y disminución de fosfato, nitrito y especialmente nitrato, nutrientes que alcanzan mínimos relativos, también a los 35 m de profundidad. La salinidad al igual que la densidad, aumentan gradualmente en esta capa de agua. La curva de densidad, en este estrato, es semejante a la de la salinidad (Fig. 2b y c).

El agua Intermedia, que se extiende entre los 50 y 87 m de profundi-

dad, se caracteriza por un aumento del oxígeno disuelto, que alcanza su segundo máximo relativo ( $8,18 \text{ cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ ) a 69 m de profundidad (Fig. 3a). Este tipo de agua presenta, en relación a los nutrientes, un mínimo de silicato y un pequeño máximo relativo de nitrato, también a 69 m de profundidad. Por su parte el fosfato aumenta hasta esta misma profundidad, a partir de la cual se estabiliza su concentración en torno a un valor de  $0,77 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ . En este estrato la salinidad continúa aumentando gradualmente, en tanto que la temperatura vuelve a descender (Fig. 2 a y b).

El diagrama T - S muestra, bajo los 90 m de profundidad, un cambio de pendiente indicativo de un agua de origen más halino, denominada agua Salina Profunda (Fig. 2d). En el estrato ocupado por este tipo de agua la salinidad presenta su mayor gradiente ( $0,05 \text{ psu/m}$ ), el cual combinado con un descenso de la temperatura origina un considerable aumento de la densidad. Esta condición determina una alta estabilidad que muy probablemente dificulte su renovación, situación que se ve respaldada por la disminución de oxígeno disuelto, y concentraciones de nutrientes en aumento. Cabe destacar el hecho que la renovación de las aguas de la laguna San Rafael sólo puede llevarse a cabo a través del río Témpanos, el que, como se señalara en la introducción, no supera los 15 m de profundidad. La ausencia de situaciones de anoxia es atribuible, por tanto, fundamentalmente a las bajas temperaturas reinantes durante todo el año y posiblemente a un bajo contenido de materia orgánica que demande oxígeno disuelto para su oxidación. Esta última hipótesis no puede afirmarse con certeza, por

cuanto en el presente estudio no se midió la cantidad de materia orgánica que permita respaldarla.

En términos comparativos, la concentración de silicato en la laguna San Rafael es baja frente a lo que es dable encontrar en las proximidades de glaciares (Armstrong 1965), e incluso en lo detectado por Sievers & Prado (en preparación) para las zonas cercanas del canal Costa y seno Aysén, donde estas concentraciones son apreciablemente mayores. Esta baja concentración de silicatos podría tener relación con la presencia en el plancton de la diatomea *Coscinodiscus janischii*, caracterizada por sus frústulos muy silificados y de gran tamaño (sobre 450 micrómetros de diámetro).

Adicionalmente las aguas de la laguna, en la época que se realizó el estudio, se caracterizan por un pobre contenido de fosfato que determina una proporción  $\text{NO}_3 : \text{PO}_4$  de 21 : 1, superior por tanto a la razón normal de Redfield (1934) de 16 : 1. Esto podría determinar, para el caso de la laguna San Rafael, una mayor importancia relativa del fosfato como nutriente limitante de la producción primaria y contrasta con lo observado por estos mismos autores para los canales Moraleda, Costa, Pilcomayo y el seno Aysén en que esta razón, para igual época del año, fluctúa entre 9 y 12 : 1 con el valor más alto para el canal Moraleda y el más bajo para el seno Aysén.

Referente al fitoplancton, no se observó una relación directa entre esta comunidad vegetal y las características físicas y químicas observadas, (correlación múltiple,  $\alpha \leq 0,05$ ). Se aprecia allí una relación inversa entre abundancia del fi-

toplancton y concentración de silicato, al igual que a 5 m, en que el incremento del fitoplancton está asociado con una caída en la concentración del silicato (Fig. 3b).

El alto contenido de oxígeno disuelto observado en la laguna es comparable a aquel determinado a profundidades similares para el canal Costa, lugar más próximo (aproximadamente 135 km al norte), para el cual se cuenta con observaciones y que se comunica en su parte sur (estero Elefantes) con el río Témpanos. En dicho canal los valores de saturación para el mismo mes de diciembre de 1992, oscilaron entre 124%, en superficie, y 92% a 140 m de profundidad (Sievers & Prado, en preparación).

Dado que la biomasa de fitoplancton observada en la laguna resultó muy baja estos altos valores de oxígeno no son consecuencia de producción primaria debiendo ser atribuidos a factores

físicos. La única excepción vendría dada por el máximo relativo a 5 m, que coincide con un aumento del fitoplancton y que no representa una gran diferencia en términos relativos (Figs. 3a y 4a).

La regulación de la abundancia del fitoplancton en el momento del muestreo estaría dada primordialmente por pastoreo, atendida la falta de concordancia entre las características ambientales y la comunidad vegetal en el resto de la columna de agua. Lo anterior se corrobora con la abundancia del zooplancton herbívoro en las muestras analizadas.

Las diferencias entre las curvas de distribución vertical de concentración de células y de clorofila "a" (Fig. 4), pueden ser explicadas por la contribución de la clorofila contenida en el tripton orgánico observado en las muestras cuantitativas del fitoplancton.

## CONCLUSIONES

1. La laguna San Rafael se caracteriza por cuatro tipos de agua: Superficial, Invernal, Intermedia y Salina Profunda, siendo esta última de larga residencia.
2. En relación a su composición química, la laguna San Rafael presenta altas concentraciones de oxígeno disuelto, baja concentración de silicato y de fosfato y relaciones nitrato/fosfato mayores que la razón de Redfield para toda la columna de agua.
3. La distribución de densidad es indicativa de una renovación de agua restringida a nivel profundo, por lo que aparece como conveniente que futuras investigaciones incluyan una estimación del contenido de materia orgánica en la columna de agua, que permita establecer la capacidad de mantener una apropiada oxigenación cerca del fondo.
4. El fitoplancton es escaso, con dominancia de diatomeas bien silificadas sobre los dinoflagelados. Se aprecia una mejor relación con el zooplancton herbívoro, que con las variables físicas y químicas observadas. Entre los taxa que lo conforman, cabe destacar la presencia de *Dinophysis acuminata*, especie causante de VDM, en concentraciones de 300 cél. l<sup>-1</sup>.

## AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo fue posible gracias a la colaboración de la Armada de Chile, que puso a disposición de los autores la LEP "Hallef" para su ejecución. Se agradece muy especialmente a su Capitán, Teniente 1° Sr. Luis Burgos Velásquez y a la dotación de dicha lancha, por su amplia cooperación al desarrollo del muestreo. También se agradece al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada por facilitar el uso de su salinómetro Autolab. Asimismo al personal técnico de apoyo del Instituto de Oceanología de la U. de Valparaíso A. Jojoy y V. Ríos (química), R. Astudillo y M.J. Rivera (dibujo y diagramación).

## LITERATURA CITADA

- Armstrong, F.A.J. 1965. Silicon. In: Chemical Oceanography, J.P. Riley y G. Skirrow, eds. Academic Press, London. pp. 409-432.
- Carrit, D.E. & J.H. Carpenter. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in seawater; a NASCO Report. J. Mar. Res., 24: 286-318.
- Grasshoff, K. 1983a. Determination of nitrite. In: Methods of Seawater Analysis, 2nd Ed. K. Grasshoff, M. Ehrhardt & K. Kremling, eds. Verlag Chemie, Weinheim, Germany. pp. 139-142.
- Grasshoff, K. 1983b. Determination of nitrate. In: Methods of Seawater Analysis, 2nd Ed. K. Grasshoff, M. Ehrhardt & K. Kremling, eds. Verlag Chemie, Weinheim, Germany. pp. 143-150.
- Culberson, C. H.; G. Knapp; R. T. Williams & F. Zemlyak. 1991. A comparison of methods for the determination of dissolved oxygen in seawater. WHPO Publication 91-2, WOCE Report 73/91,77 pp.
- Hasle, G. R. & G.A. Fryxell. 1970. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. Trans. am. microsc. Soc. 89 (4):469-474.
- Instituto Hidrográfico de la Armada. 1990. Derrotero de las Costas de Chile, IHA Pub. 3002, 6a. Edición, Vol. II, 335 pp.
- Koroleff, F. 1983. Determination of phosphorus. In: Methods of Seawater Analysis, 2nd Ed. K. Grasshoff, M. Ehrhardt & K. Kremling, eds. Verlag Chemie, Weinheim, Germany. pp. 125-139.
- Mosby, H. 1934. The waters of the Atlantic Antarctic Ocean. Sci. Res. Norweg. Antarct. Exped. 1927-1928, 11: 1-131.
- Muñoz, P.; Avaria, S.; Sievers, H. & R. Prado. 1992. Presencia de dinoflagelados tóxicos del género *Dinophysis* en el seno Aysén, Chile. Revista de Biología Marina, Valparaíso, 27 (2): 187-212.
- Redfield, A.C. 1934. On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. James Johnstone Memorial Volume, Liverpool University Press, Liverpool, pp. 176-192.
- Sievers C., H.A. & R. Prado F. Variabilidad de las condiciones oceanográficas en el seno Aysén, XI Región Chile, entre invierno y verano (En preparación).

Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1972. A practical Handbook of seawater analysis. 2nd. Ed. Bulletin Fisheries Research Board Canadá, 167, 311 pp.

UNESCO. 1978. Phytoplankton Manual. Monographs on Oceanographic Methodology 6, 337 pp.

Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton Methodik. Mitteilungen der internationale Vereinigung für theoretische Limnologie, 9: 1-38.