

ALGUNOS ASPECTOS LIMNOLÓGICOS ABIÓTICOS DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS LIMAY Y NEUQUÉN, CON ESPECIAL REFERENCIA AL EMBALSE RAMOS MEXÍA

Helena LAND de CASTELLO *

SUMMARY: Some abiotic limnological aspectos of the Limay and Neuquen rivers basins, with special reference to the Ramos Mexía reservoir.

The Negro river tributaries are the Limay and Neuquen rivers, which constitute the Andean eastern drainage system between 36° and 41° S. Huge reservoirs have been constructed, as a part of a hydroelectric power program and also for flood control purposes.

Morphometric and lithological differences accounts for thermal and chemical distinctive features between these reservoirs.

The Ramos Mexía impoundment and Pellegrini off-channel reservoir are wind mixed all over the year, while in the deeper Los Barreales and Mari Menuco stratification develops during the summer.

The annual heat budget of the Ramos Mexía has been roughly estimated in 36 151, 30 760 and 31 047 cal cm⁻² for the years 1978, 1979-1980 and 1980-1981 respectively. These estimates are higher than those for others lakes situated on the Andes mountains in a region of more oceanic climate.

The waters of the system are well oxygenated, neutral and soft. The Limay basin waters are the more diluted, with an average conductivity of 30 μScm^{-1} near the glacial lake Nahuel Huapi, and 67 μScm^{-1} in the Ramos Mexía artificial lake. Conductivity seasonal changes are related with discharge flow rate patterns and with level changes in the reservoirs. The Neuquen basin waters present conductivities ranging from 75 μScm^{-1} near the Andes, to 250 μScm^{-1} in Mari Menuco reservoir, while the Pellegrini attains to 3 600 μScm^{-1} .

Both rivers (and R. Mexía artificial lake) have calcium-bicarbonate type waters, becoming richer in sulphate and sodium as they move seaward through a semiarid region. In Los Barreales and M. Menuco reservoirs bicarbonate and sulphate may change their relative positions during the annual hydrologic cycle. The Pellegrini closed basin belong to the sulphate-chloride sodium type.

Reactive silica concentration is rather high throughout the year, without showing depletion to any important extent due to biogenic activity, except in the Pellegrini artificial lake.

* Museo Argentino de Ciencias Naturales "B. Rivadavia". Avda. A. Gallardo 470. C.C. 10. SUC. 5-1405. Capital Federal - Buenos Aires - Argentina.

ECOSUR	Argentina	ISSN 0325 — 108X	v.8	n. 16	pág. 1-27	Setiembre 1981
--------	-----------	---------------------	-----	-------	--------------	-------------------

INTRODUCCIÓN

El río Limay drena un área de 36 400 km² ubicada entre 39° y 41° 16' S y 68° y 71° 58' W. Nace en el lago Nahuel Huapi, pero recibe casi dos tercios de su caudal a través de un sistema de drenaje, que a excepción del río Triful, utiliza al Collon Cura como colector. Las redes de alimentación de estos ríos están situadas en el área cordillerana, poseyendo en sus cabeceras abundantes lagos que regulan eficientemente sus caudales. En el tramo de las mesetas carece prácticamente de afluentes hasta su confluencia con el río Neuquén, dando origen al río Negro.

El río Neuquén recibe la mayor parte de los drenajes de los Andes Patagónicos entre los paralelos 36° 17' y 39° S. La mayoría de sus afluentes no posee lagos en sus cursos superiores y sí, en cambio, acentuadas pendientes, caracterizándose por bruscas crecidas.

Por endicamiento del Limay en El Chocón se formó el lago artificial Ezequiel Ramos Mexía (1972).

Por derivación parcial de las aguas del Neuquén, a fin de absorber los excesos de caudal, se formó el lago artificial Pellegrini (1914), convirtiéndose en una cuenca cerrada. Posteriormente (1972) se construyó aguas arriba una presa que permitió desviar parte de las aguas a la cuenca Los Barreales, de donde pasa a la cuenca Mari Menuco, y previo aprovechamiento hidroeléctrico son retornadas al río.

De la gran cantidad de lagos norpatagónicos, solamente una pequeña fracción ha sido estudiada en algunas de sus características abióticas (Cordini, R., 1939 y 1964; Bruno Videla, H., 1944; Thomasson, K., 1959; Löffler, H., 1959; Bonetto, A. *et al.*, 1971; Drago E., 1974; Campos H. *et al.*, 1978 a y b). Esfuerzos crecientes se han centrado en el estudio de lagos artificiales (Bonetto, A. *et al.*, 1976; Cabrera, S. *et al.*, 1977) debido a la necesidad de definir estrategias de manejo de los mismos.

MÉTODOS

Las principales determinaciones físicas consideradas en este trabajo se realizaron entre febrero de 1977 y el mismo mes de 1981, mientras que las determinaciones químicas se iniciaron en julio de 1979. Las estaciones de muestreo incluyeron para el río Limay: nacientes (1), Alicura (2), Bajada Colorada (3), embalse Ramos Mexía (4), aguas abajo de El Chocón (5), y también el tributario Collon Cura (6). La periodicidad fue aproximadamente mensual, excepto algunos meses por condiciones meteorológicas adversas o por problemas con la embarcación. Otros afluentes como el Triful (7), Chimehuin (8), Alumine (9), el lago Nahuel Huapi (10) y estaciones sobre el río Neuquén (11), sus afluentes Agrío (12) y Convunco (13) y sus embalses Los Barreales (14), Mari Menuco (15) y Pellegrini (16) fueron muestreados con frecuencia aproximadamente estacional. Los números entre paréntesis indican su ubicación en la figura 12.

En el embalse Ramos Mexía la localización de muestreos verticales se eligió de acuerdo a determinaciones previas y a la carta batimétrica. Ocasionalmente, se realizaron perfiles en estaciones cercanas a la 4, pero de menor profundidad, y en la zona de la "cola". Las muestras para análisis químicos fueron: superficiales (0,5 m), dos niveles intermedios (6 y 20 m) y de fondo (0,5 m sobre la interfase agua-sedimento de fondo).

Hidrología: los caudales de los ríos y los niveles de embalse fueron obtenidos por información publicada por Hidronor S.A. (1979, 1980 y 1981).

Parámetros morfológicos: se calcularon sobre la carta batimétrica preliminar de M. Lavrinowicz, siguiendo las definiciones de Hutchinson, G.E., (1975).

Precipitación y evaporación: datos suministrados por el Sector de Recursos Hídricos de Hidronor S.A.

Temperatura: a partir de julio de 1979 se reemplazó el termómetro contenido en la botella muestreadora por el sensor Hach con termocupla, modelo 16 046.

Transparencia: se determinó con un disco de Secchi de 20 cm de diámetro.

Oxígeno disuelto: se midió con un sensor Hach provisto de electrodo de membrana, modelo 16 046, y calibrado periódicamente con el método de Winkler (APHA, 1975).

Muestras de agua para análisis químicos: se obtuvieron con una botella de Van Dorn de 2 litros.

Alcalinidad: por titulación utilizando mezcla de verde bromocresol y rojo de metilo como indicador. (APHA, 1975).

Composición iónica: Sodio, potasio, hierro, manganeso y cobre fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer 360). Calcio y magnesio se determinaron rutinariamente por titulación diferencial con EDTA y fueron periódicamente controlados por espectrofotometría de absorción atómica. Cloruros fueron determinados por el método de nitrato mercuríco y sulfatos por el método turbidimétrico (Golterman, Clymo y Ohnstad, 1978).

Conductividad: fue medida con el conductivímetro del laboratorio portátil Hach DR/EL 2.

HIDROLOGÍA Y MORFOLOGÍA DE LOS EMBALSES (con especial referencia al Ramos Mexía).

Los ríos Limay y Neuquén son de régimen pluvionival, presentando dos ondas de crecientes: una debida a las lluvias invernales y otra a los deshielos, y un periodo de estiaje en verano (fig. 9). En el periodo histórico 1943-1979 el caudal medio del río Limay fue $726 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$, mientras que el del Neuquén fue $296 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$.

La cantidad de precipitaciones en el área decrece abruptamente al alejarse desde la cordillera hacia el este. Mientras en Bariloche la precipitación anual media es de 1 062 mm (1921-1950), en Cipolletti es de sólo 162 mm (1921-1950)

(Van Domselaar y García, 1978). La precipitación anual media del período 1976-1980 en la estación meteorológica de la Villa El Chocón fue también de 162 mm.

Las isolíneas de evaporación para el país fueron trazadas por Knoche y Borzacov (1946) según la fórmula de Rohwer (no consult., según Van Domselaar y García, 1978). La subcuenca media del río Negro, según estos autores, entre las isolíneas de 300 y 350 mm en enero, y por debajo de las 100 en julio. Los valores obtenidos por determinación directa, con el método de tanques en El Chocón son ligeramente menores (fig. 9, tabla VI).

El embalse Ramos Mexía está ubicado entre $39^{\circ} 15'$ y $39^{\circ} 40'$ S y $68^{\circ} 40'$ y $69^{\circ} 20'$ W, a una altitud de 381 m.s.n.m. Ocupó el área baja del Barrial Colorado. Su forma es dentritica. La cuenca se profundiza con moderada pendiente en dirección al dique (fig. 1).

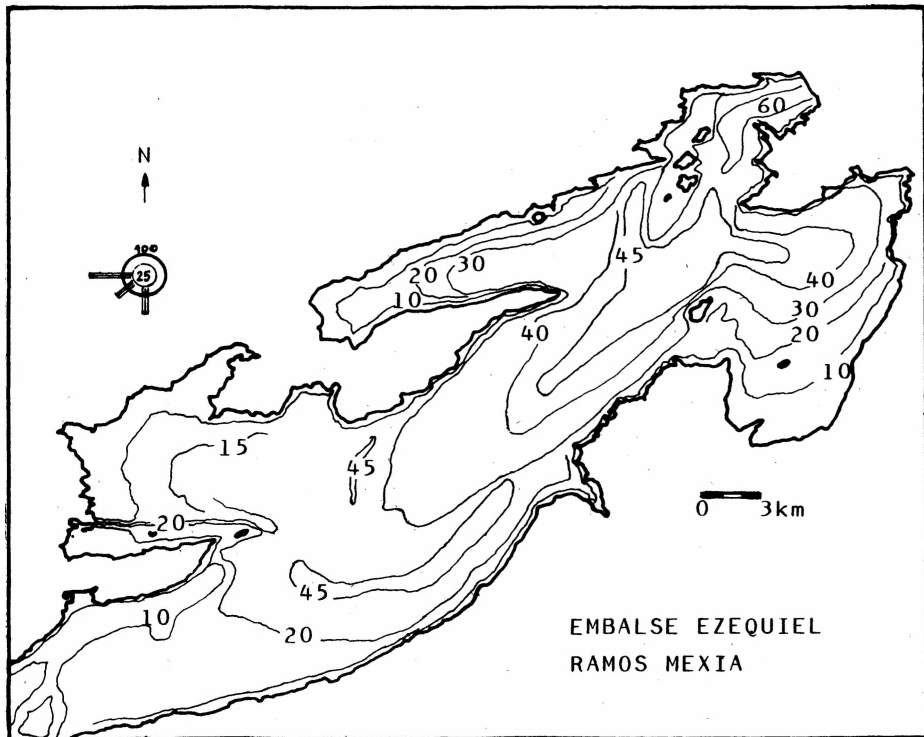


Fig. 1. Mapa batimétrico del embalse Ramos Mexía y dirección y frecuencia de los vientos.

Los datos morfológicos principales se presentan en la tabla I.

TABLA I
Parámetros morfométricos del embalse Ramos Mexía

Longitud máxima	l_m	59,5	km
Ancho máximo	b_m	18,8	km
Ancho medio	\bar{b}	13,7	km
Longitud de línea de costa	L	346	km
Superficie a cota 381 m.s.n.m.*	A_0	816	km ²
Desarrollo de línea de costa	D_L	3,4	
Profundidad máxima	z_m	60	m
Profundidad media	\bar{z}	24,7	m
Relación de profundidad media a máxima	$\bar{z}:z_m$	0,41	
Volumen a cota 381 m.s.n.m.*	V	20,200	km ³

* fuente Hidronor S.A.

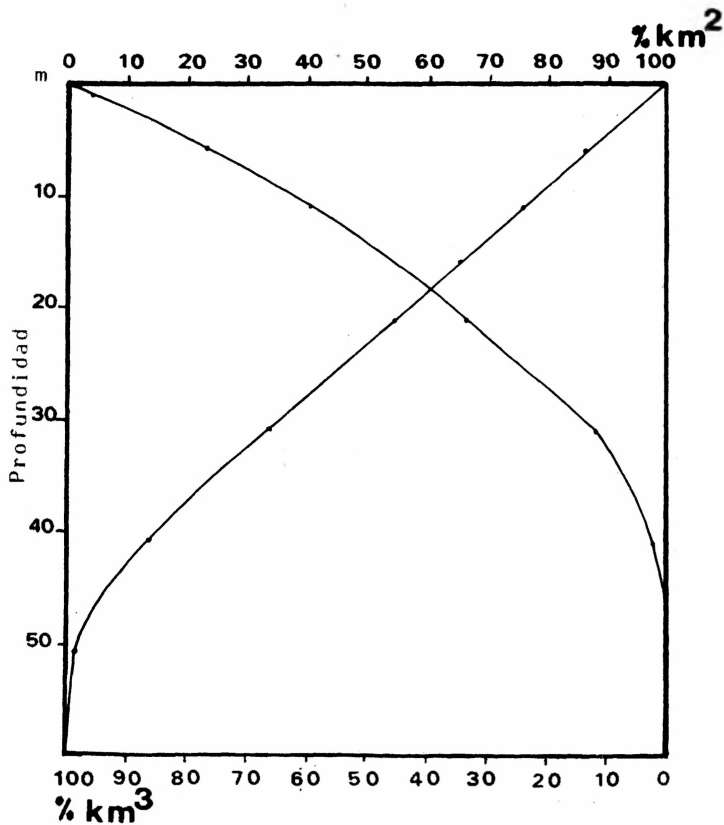


Fig. 2. Curva hipsográfica del área y volumen del embalse Ramos Mexía.

El nivel de las aguas ha llegado a variar 7 m. Los datos morfológicos y la curva hipsográfica del área muestran que el embalse tiene un 46% de zonas de profundidad menor de 21 m (fig. 2).

Considerando el volumen del embalse Ramos Mexía se calcula el tiempo aproximado de retención del agua en un año.

Los embalses Los Barreales y Mari Menuco del río Neuquén presentan profundidades medias notoriamente superiores (tabla II).

TABLA II

Comparación de parámetros morfométricos e hidrológicos básicos de los embalses Los Barreales, Mari Menuco y Ramos Mexía.

Embalse	Área (km ²)	Volumen (km ³)	Profundidad media (m)	Tiempo de renov (año)
Los Barreales	411	27,3	68,3	2,6 *
Mari Menuco	174	13,8	79,4	1,3
Ramos Mexía	816	20,2	24,7	0,9

* Los tiempos aproximados de renovación fueron calculados en base a los caudales promedios del año 1979.

El nivel de las aguas de los Barreales ha variado hasta 9 m, manteniéndose constante el de Mari Menuco, para mayor eficiencia en la producción hidroeléctrica.

FACTORES FÍSICOS

Temperatura

Durante el período estudiado la temperatura de las aguas del Limay osciló entre 5,2 y 22,2°C (tabla III). La temperatura del río en sus nacientes está moderada por el lago Nahuel Huapi, presentando en los meses más fríos, a pesar de la mayor altitud, temperaturas medias superiores a las que alcanza al llegar a Alicura (fig. 3). A medida que el río avanza desde esta última localidad (605 m.s.n.m.) hasta Bajada Colorada (480 m.s.n.m.) la temperatura media aumenta de 9,9°C a 11,6°C, excepto en los meses más fríos. En los meses invernales, debido a las bajas temperaturas ambientales, las temperaturas medias de las aguas disminuyen a medida que se prolonga su exposición: nacientes: 8,7°C; Alicura: 7,3°C; Baja Colorada: 6,4°C.

La amplitud térmica del embalse Ramos Mexía es algo menor que la del río antes de formarlo.

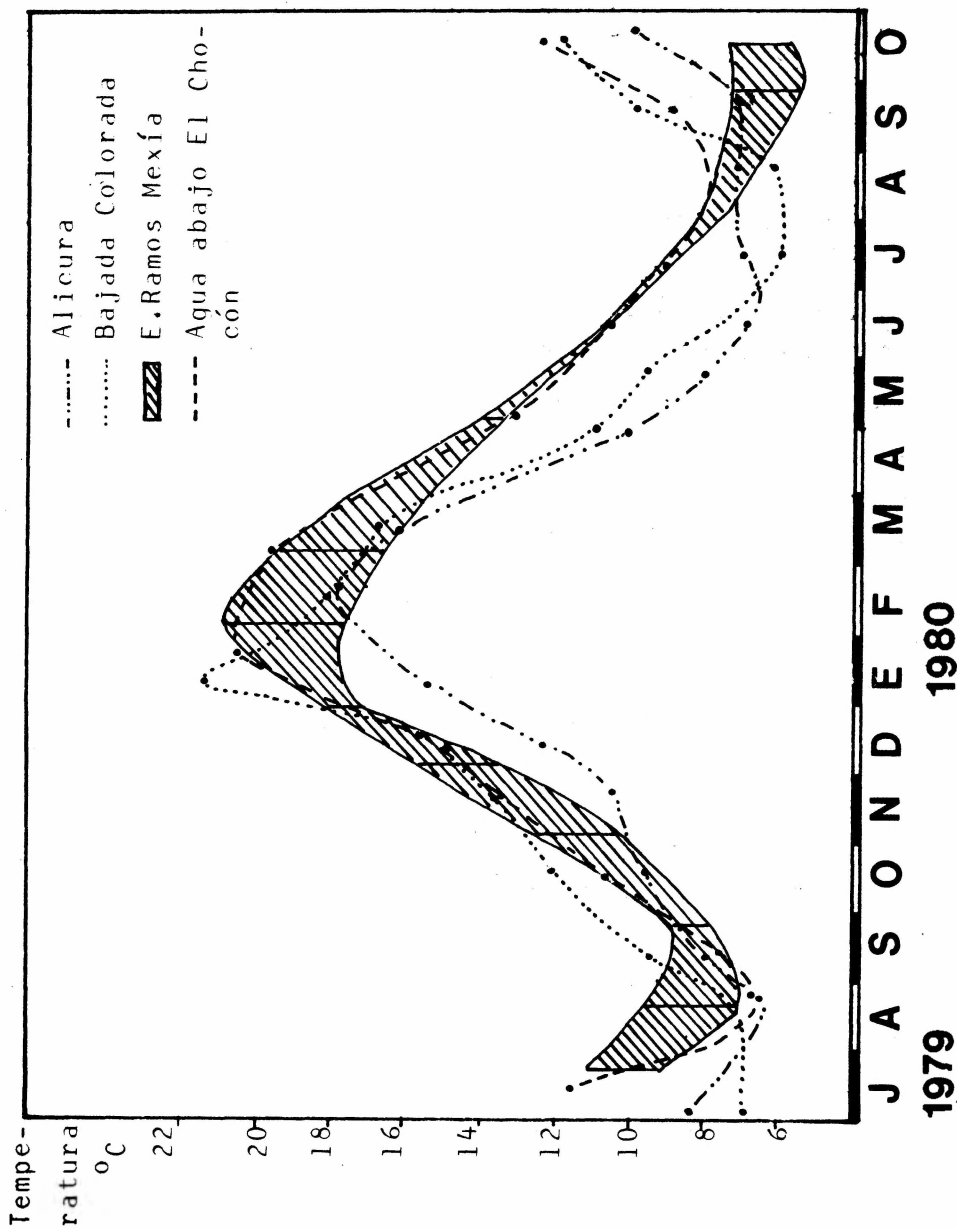


Fig. 3. Ciclo anual de temperaturas en distintas estaciones sobre la cuenca del Limay.

Perfiles térmicos

En el embalse Ramos Mexía se determinaron perfiles térmicos en los periodos diciembre 1977 a setiembre 1978 y julio 1979 a febrero 1981 (fig. 4 a y b). Algunos presentan gradientes térmicos considerables, como el del 15 de diciembre de 1977, pero insuficientes para mantener las capas más profundas térmicamente aisladas.

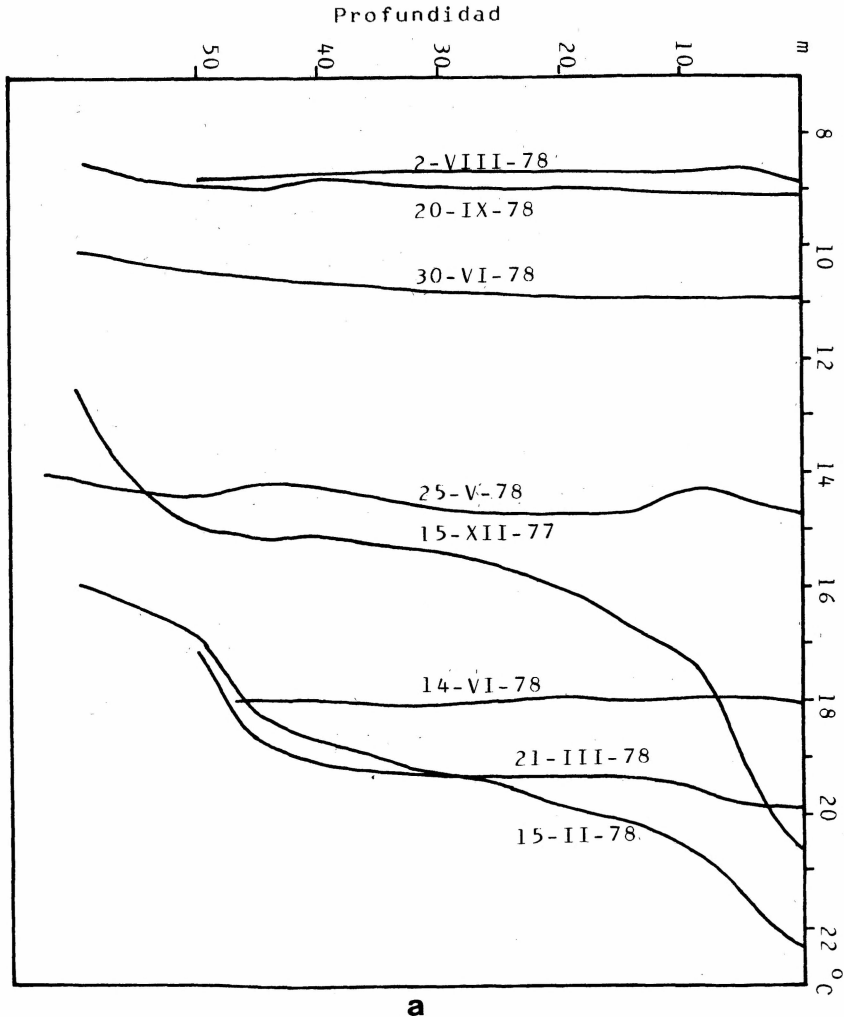


Fig. 4. Perfiles térmicos verticales del embalse Ramos Mexía. a. Periodo diciembre 1977 setiembre 1978.

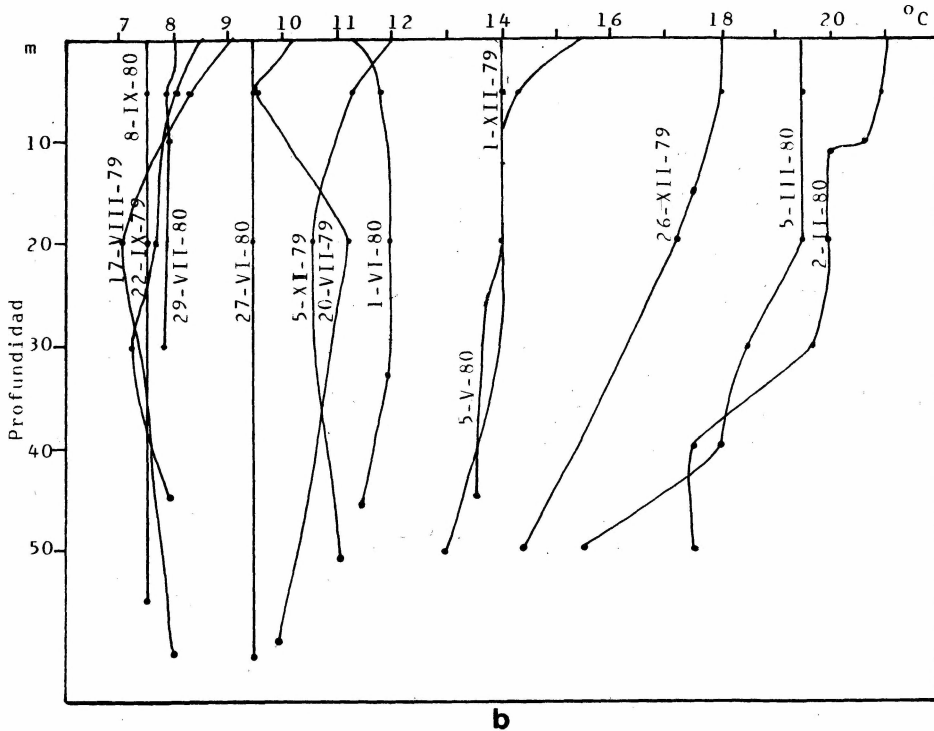


Fig. 4. Perfiles térmicos verticales del embalse Ramos Mexis. b. Periodo agosto 1979 - setiembre 1980.

La uniformidad en la distribución de las isotermas es indicativa de la ausencia de estratificación (fig. 5).

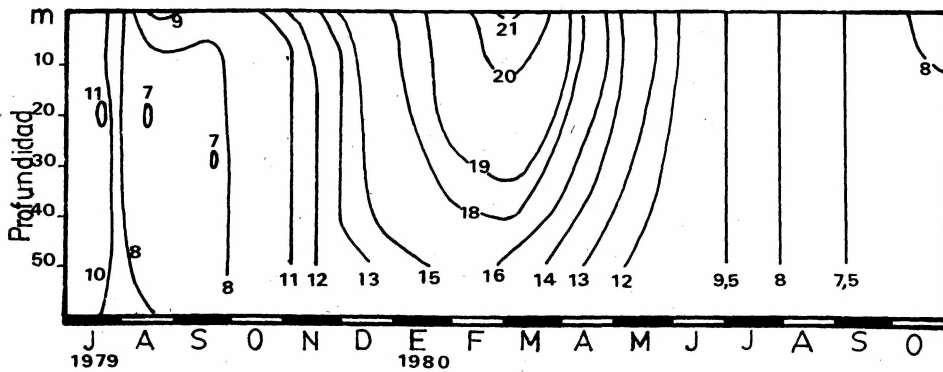


Fig. 5. Distribución cronológica de las isotermas del embalse Ramos Mexia.

Los perfiles térmicos realizados en los embalses Los Barreales y Mari Menuco fueron insuficientes, pero manifiestan un comportamiento diferente al de Ramos Mexía, probablemente atribuible en gran parte a las diferencias morfométricas mencionadas (tabla II y fig. 6 a y b). El "lago" Pellegrini, fue en cambio, térmicamente homogéneo.

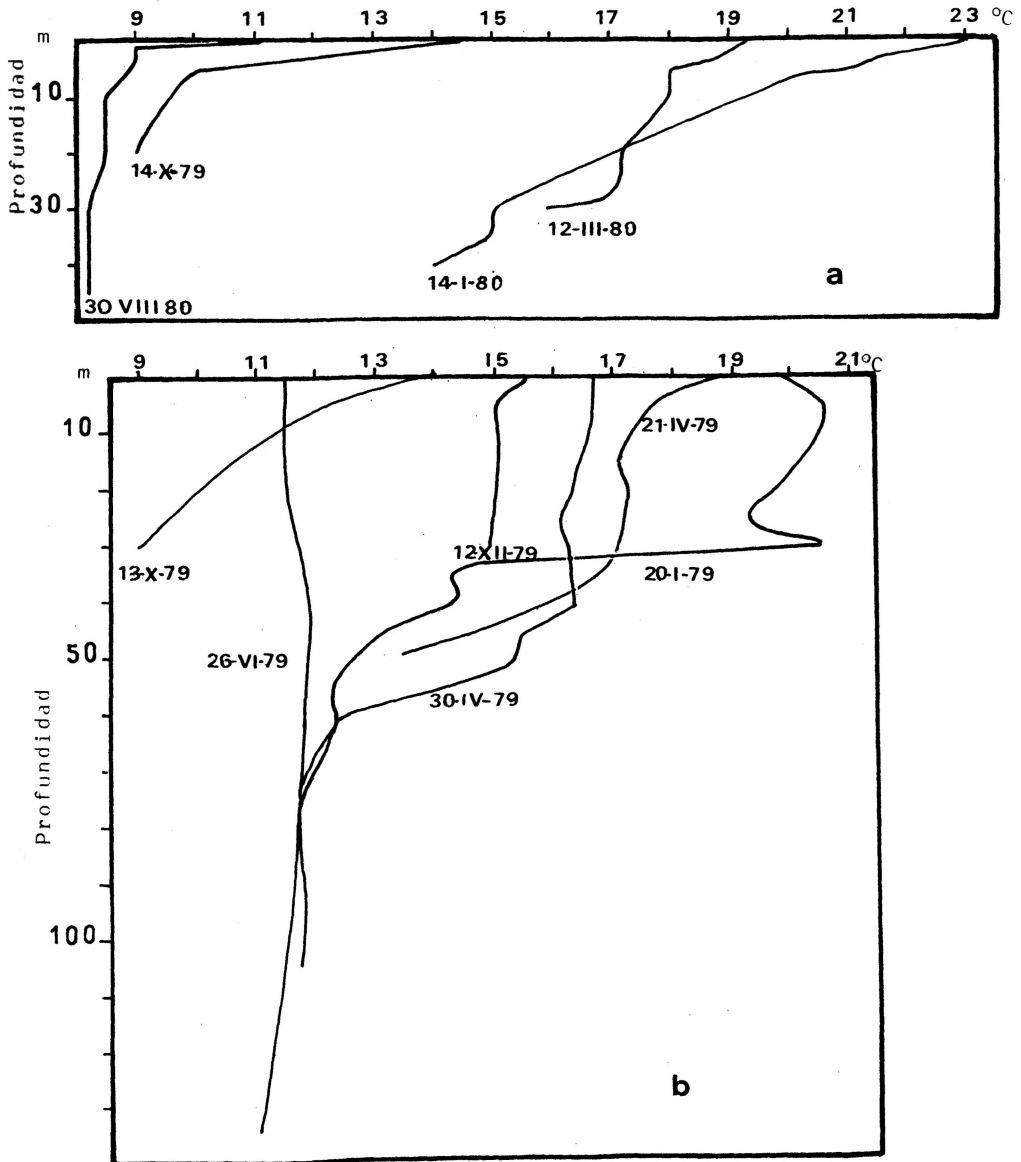


Fig. 6. Perfiles térmicos verticales. a. Embalse Los Barreales. b. Embalse Mari Menuco.

Balance térmico anual del embalse Ramos Mexía.

La cantidad de calor que puede almacenar un cuerpo de agua depende de distintos factores: la latitud y altitud, que determinan la variación térmica estacional; los alrededores y la forma del lago, que limitando la acción del viento influyen sobre la eficiencia de la transmisión de energía térmica por convección.

Es por estas razones que los balances térmicos son útiles para comparar los regímenes térmicos de lagos de distintos tipos y regiones.

Los contenidos totales de calor se calcularon como la sumatoria de los contenidos en los estratos sucesivos, considerando el producto del calor específico por la densidad del agua igual a $1 \text{ cal cm}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$ (Blanton, 1973).

Los máximos contenidos calóricos Q_{max} durante los ciclos estudiados fueron 47 490 (15-II-78), 40 028 (2-II-80) y 39 531 (18-II-81) en calorías cm^{-2} .

Los mínimos contenidos calóricos Q_{min} fueron 11 339 (2-VIII-78), 9 268 (22-IX-79) y 8 484 (8-IX-80) cal cm^{-2} .

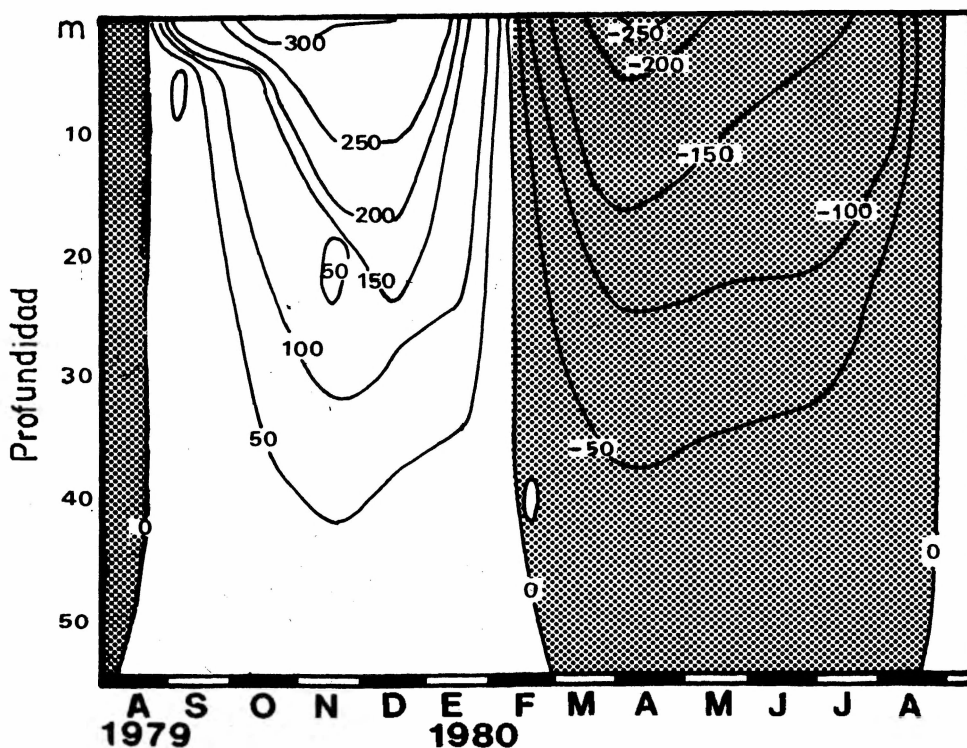


Fig. 7. Flujo de calor en el embalse Ramos Mexía (agosto 1979-setiembre 1980). Isopletas en $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$.

De esto se deduce que el balance térmico anual total, incluida la contribución advectiva, para los respectivos ciclos fueron del orden de 36 151 (1978), 30 760 (1979-1980) y 31 047 (1980-1981) cal cm⁻².

En la tabla IV se presentan balances térmicos anuales de algunos otros lagos norpatagónicos o de latitudes comparables.

El trabajo del viento necesario para distribuir el calor en el período de calentamiento, por unidad de área (Birge 1916 y Hutchinson 1975) fue calculado como $B = 6\ 079$ (1978), $6\ 519$ (1979-1980) y $5\ 970$ (1980-1981) en g cm cm⁻².

El flujo del calor, expresado en cal cm⁻² día⁻¹, es negativo entre la segunda quincena de febrero y la primera de agosto alcanzando la pérdida máxima en el estrato superficial en abril con -248 cal cm⁻² día⁻¹. La ganancia máxima en el estrato superficial fue de 376 cal cm⁻² día⁻¹ en octubre. Este flujo se debe no solamente a transferencia vertical, sino también a horizontal por advección y reflexión desde el fondo en zonas poco profundas (fig. 7).

Las aguas superficiales tienen una gran amplitud de flujo de ganancia o pérdida de calor, mientras que para capas más profundas (más de 50 m) las amplitudes son siempre menores de 50 cal cm⁻² día⁻¹ (fig. 8).

Una estimación de la pérdida de calor por evaporación, a partir de mediciones directas con tanques, indica que la energía empleada en este proceso es importante. Si bien dichas determinaciones podrían ser excesivas en su extrapolación al embalse, el cálculo para un calor latente de 590 cal g⁻¹ daría un índice de la cantidad de energía involucrada (tabla V).

TABLA V

Evaporación y pérdida de calor, para un calor latente de 590 cal g⁻¹.

Mes	Evaporación media mensual (mm)	Pérdida de calor cal cm ⁻² día ⁻¹
Enero	258	491
Febrero	225	475
Marzo	183	348
Abril	121	238
Mayo	61	115
Junio	47	89
Julio	49	98
Agosto	64	121
Setiembre	99	194
Octubre	155	295
Noviembre	219	431
Diciembre	251	478

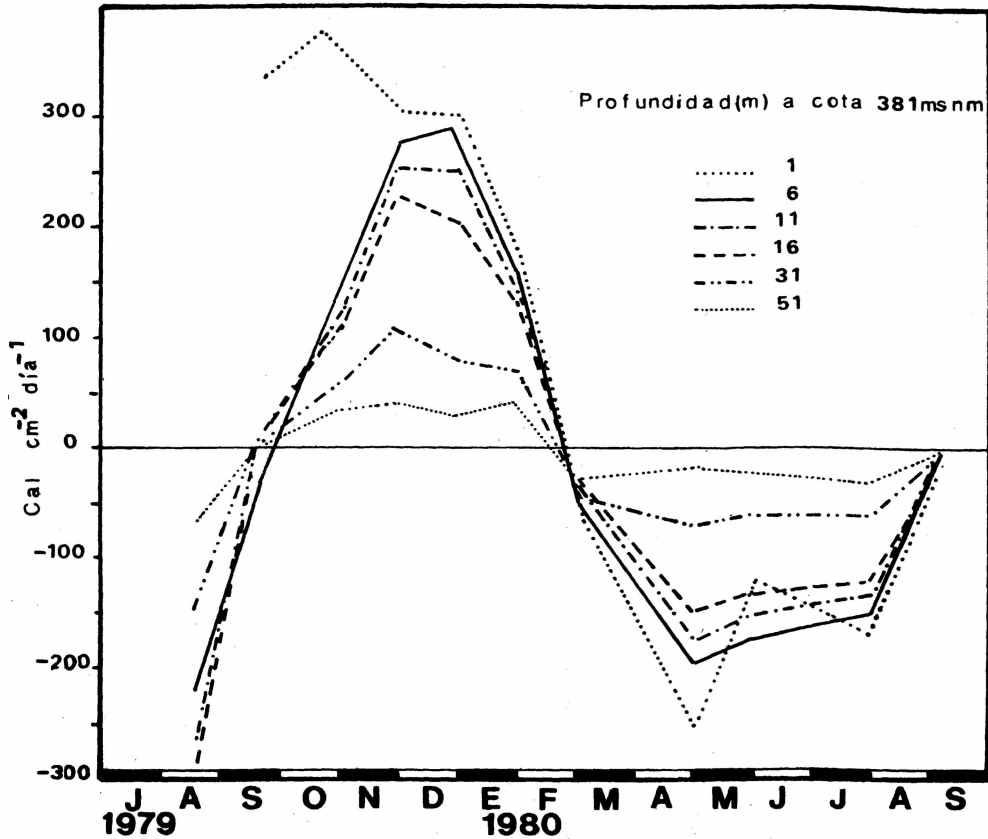


Fig. 8. Régimen de las variaciones de flujo de calor a distintas profundidades en el embalse Ramos Mexía.

Transparencia y color

Las transparencias, medidas con el disco de Secchi, de los embalses de los ríos Limay y Neuquén han sido relativamente bajas, similarmente a lo que ocurre en el embalse Rapel (Chile) y los del río Waikato (Nueva Zelandia).

En el embalse Ramos Mexía los valores extremos registrados fueron 8,2 m (VI-1978) y 1,3 m (IX-1978) con una media de 3,9 m. Si bien las variaciones estacionales de transparencia reflejan en cierto grado las concentraciones de fitoplancton, es probable que en este caso las partículas arrastradas por las crecientes, las depositadas por los vientos y las suspendidas por remoción de los sedimentos del fondo sean de primordial importancia. (fig. 9).

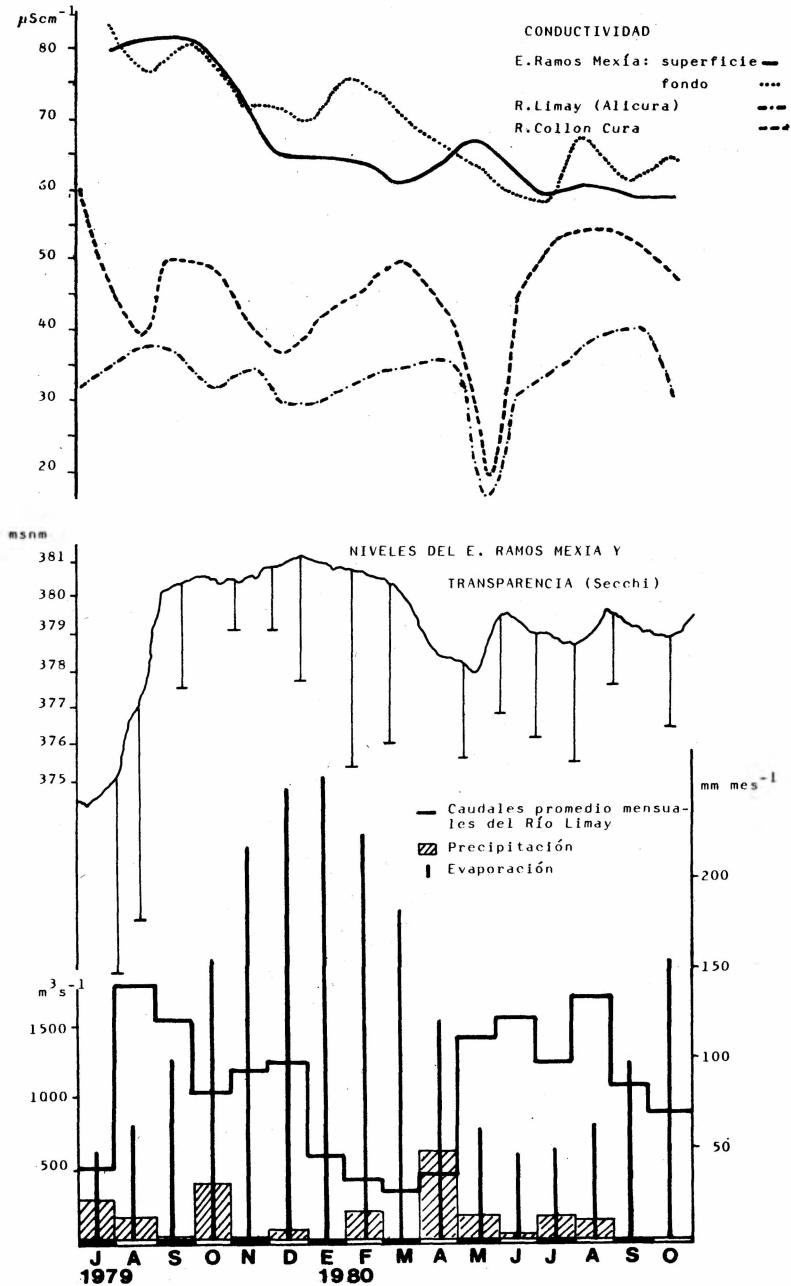


Fig. 9. Variaciones estacionales de conductividad y caudales promedio mensuales del río Limay; transparencia, conductividad y niveles del embalse Ramos Mexía y precipitación y evaporación en el área de El Chocón.

El color del agua osciló entre los números 0 a 35 de la escala de Forel.

En la cuenca Los Barreales las transparencias son aún más bajas debido a la gran cantidad de sedimentos en suspensión. Al pasar a Mari Menuco, después de parcial decantación, la transparencia aumenta. Las transparencias registradas en el "lago" Pellegrini son del mismo orden que las del Ramos Mexía y Mari Menuco (tabla VI) aunque posiblemente gobernadas por distintos fenómenos.

FACTORES QUÍMICOS

Oxígeno

Las concentraciones de oxígeno disuelto fueron relativamente altas durante todo el año en estas aguas. Los valores máximos registrados en el río Limay correspondieron a 110% de saturación y fueron medidos en Bajada Colorada (X-1979 y I-1980). Los valores más bajos fueron del orden del 74% en zonas de circulación restringida, inmediatamente abajo de la presa El Chocón (Arroyitos 7,6 mg l⁻¹; 11,5°C).

En el embalse Ramos Mexía el valor medio de saturación de oxígeno en aguas superficiales fue de 97%, a 20 m de profundidad 93% y en las aguas cercanas al fondo 84,4%. En forma general, cuando hay homogeneidad térmica, la concentración de oxígeno se mantiene constante en la profundidad, mientras que cuando se establece un gradiente térmico suele acompañarlo una ligera disminución.

Como excepción, el perfil determinado el 17-VIII-1979, mostró un consumo probablemente asociado al material alóctono incorporado por la gran creciente que se estaba registrando (fig. 10).

Similarmente en los embalses Los Barreales y Mari Menuco los perfiles verticales de oxígeno fueron ortógrafos.

Dióxido de carbono

Las concentraciones de dióxido de carbono oscilaron entre 1,6 y 5,0 mg l⁻¹. En los embalses la distribución vertical fue prácticamente homogénea.

pH

Los valores de pH se mantuvieron siempre muy cercanos a la neutralidad, con una tendencia a la alcalinidad, en ambas cuencas.

Los valores medios en las estaciones de muestreo de la cuenca del Limay oscilaron entre 7,1 y 7,4, habiéndose registrado mínimos de 6,9 (nacientes VII y IX-1980, Arroyito VII-1980) y máximos de 7,6 (Arroyito VII y IX-1979 y III-1980) (tabla III).

En la cuenca del Neuquén se registraron mínimos de 6,0 (río Agrio) y máximos de 8,0 (río Neuquén en Planicie Banderita, Mari Menuco y "lago" Pellegrini), con valores promedio ligeramente superiores a los de la cuenca del Limay.

En los perfiles verticales de los embalses se detectó a veces una tendencia de disminución del pH al aumentar la profundidad.

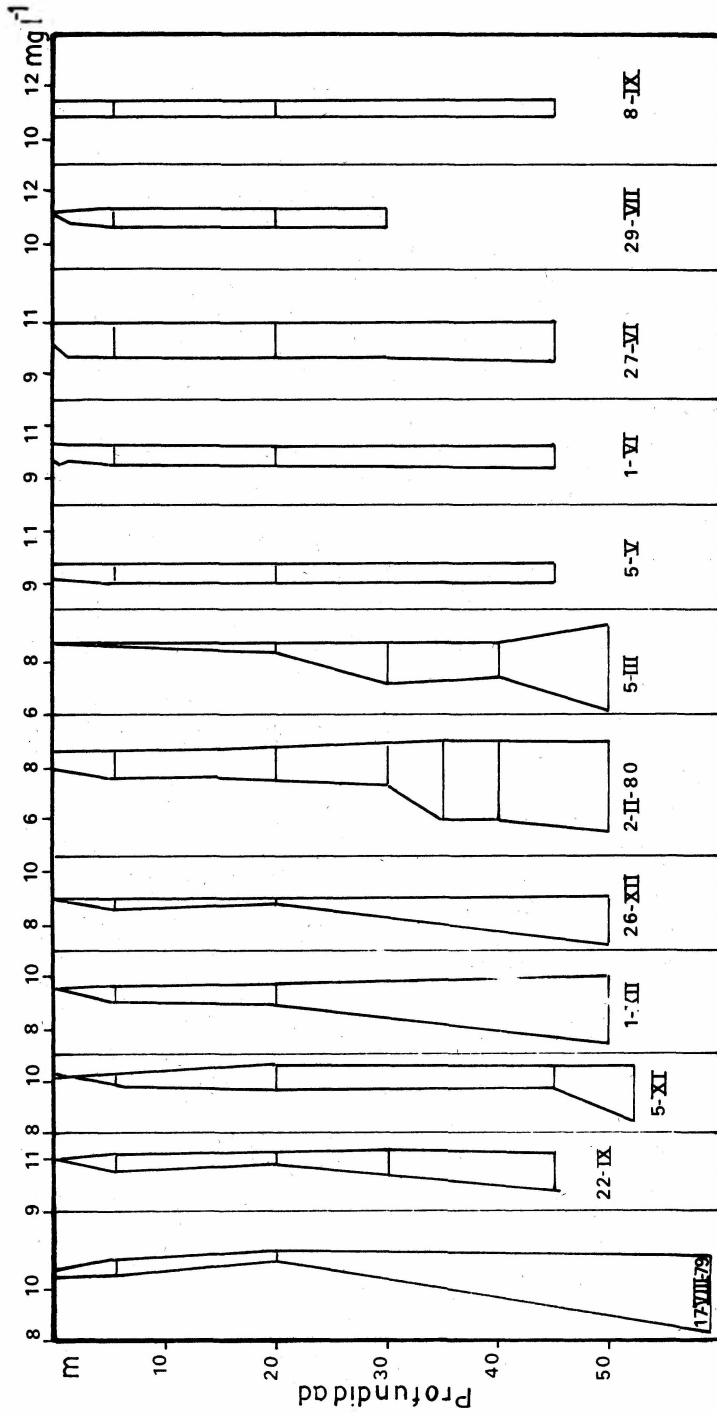


Fig. 10. Perfiles de oxígeno disuelto medido (izquierda) y a saturación (derecha) en el embalse Ramos Mexía.

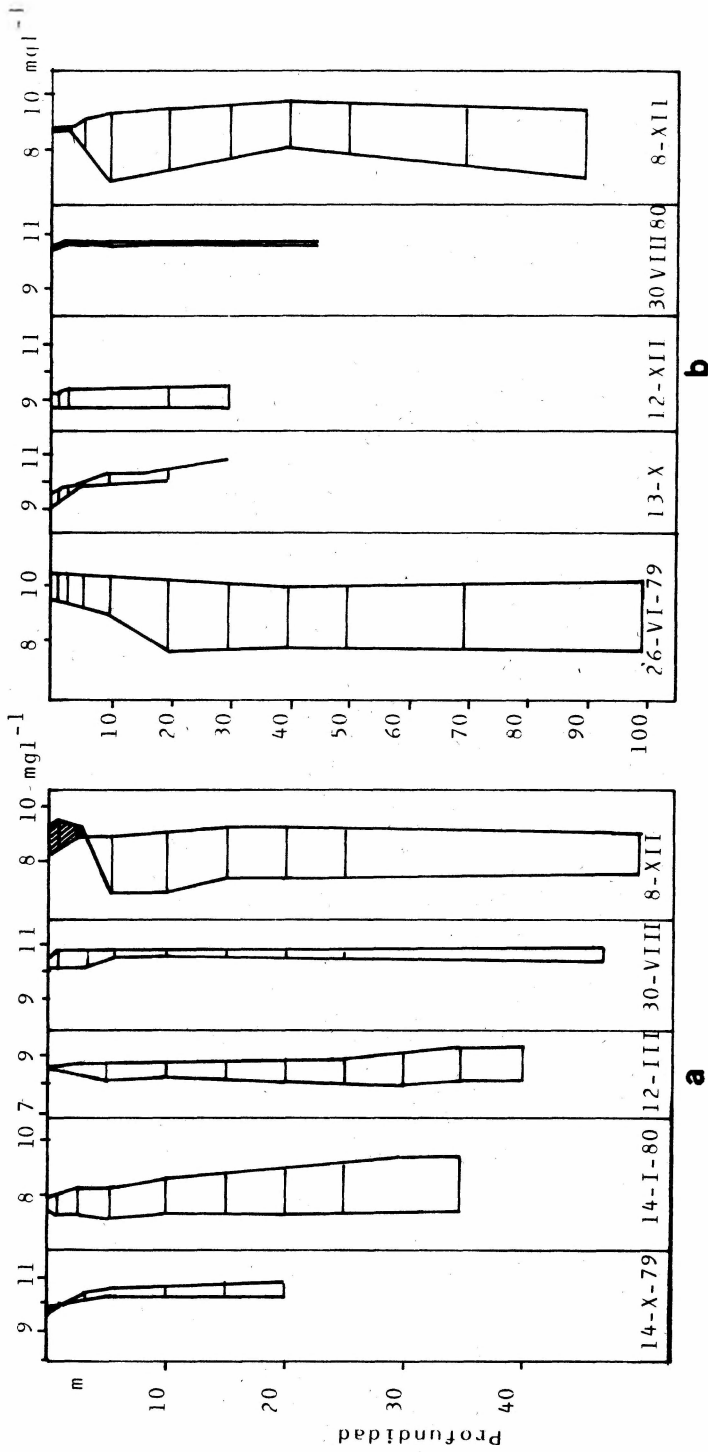


Fig. 11. Perfiles de oxígeno disuelto medido (izquierda) y a saturación (derecha). a: Los Barreales; b: Mari Menudo.

Conductividad

En los distintos ambientes del río Limay las conductividades oscilaron entre 20 y 90 μScm^{-1} , notándose una tendencia creciente a medida que el río avanza en su curso.

Las variaciones estacionales fueron proporcionalmente más importantes en la zona de aguas arriba del embalse; actuando éste como moderador. Se observó que una creciente provoca inicialmente una disminución de la conductividad, mientras que los máximos absolutos se registran durante los períodos de estiaje (fig. 9).

La conductividad del río Limay es prácticamente la misma en las nacientes que en Alicura. En la localidad de Bajada Colorada es intermedia entre la registrada en Alicura y la del río Collon Cura. En el embalse Ramos Mexía la conductividad media es apreciablemente superior a la de estos ríos. En él, aumentos temporarios de la conductividad parecen deberse a la disolución de eflorescencias salinas de los suelos circundantes, al producirse un aumento de nivel (fig. 9): Así por ejemplo, entre el 1° de agosto y el 4 de setiembre de 1979 el nivel del embalse subió 5 m, inundando cerca de 92 km² en 35 días. En el mismo período la conductividad superficial aumentó 15 μScm^{-1} por encima del valor medio.

Un fenómeno similar se produjo a fines de abril de 1980, cuando se registraron violentas precipitaciones, que por lavado de los suelos y posterior escurrimiento hacia el embalse elevaron nuevamente la conductividad de superficie por sobre los valores de profundidad. Pocos días después de estas precipitaciones, por aporte del río, el nivel del embalse subió, inundando aproximadamente 41 km² en 22 días. Fuera de estas circunstancias especiales, la conductividad es ligeramente superior en las capas más profundas.

Composición iónica

Debido a los aniones y cationes predominantes las aguas del río Limay son de tipo bicarbonatado cálcico. En el río el porcentaje equivalente de las relaciones aniónicas corresponde a bicarbonato) cloruro) sulfato y el de las catiónicas a calcio) magnesio) sodio) potasio. Se asemeja así a los lagos chilenos de igual latitud estudiados por Campos (1978) (tabla VII).

En el embalse Ramos Mexía las concentraciones equivalentes de sodio y sulfato superan a las de magnesio y cloruro respectivamente. En el río Neuquén y embalses Los Barreales y Mari Menuco se observó el mismo orden catiónico que para el Ramos Mexía. En cuanto a los aniones se encontró una distribución más pareja entre bicarbonato, sulfato y cloruro (fig. 12, tabla VI).

La cuenca sin desagüe Pellegrini alcanza conductividades de 3 600 μScm^{-1} , registrándose importantes variaciones estacionales de las concentraciones. Estas aguas pertenecen al tipo sódico sulfatocloradas.

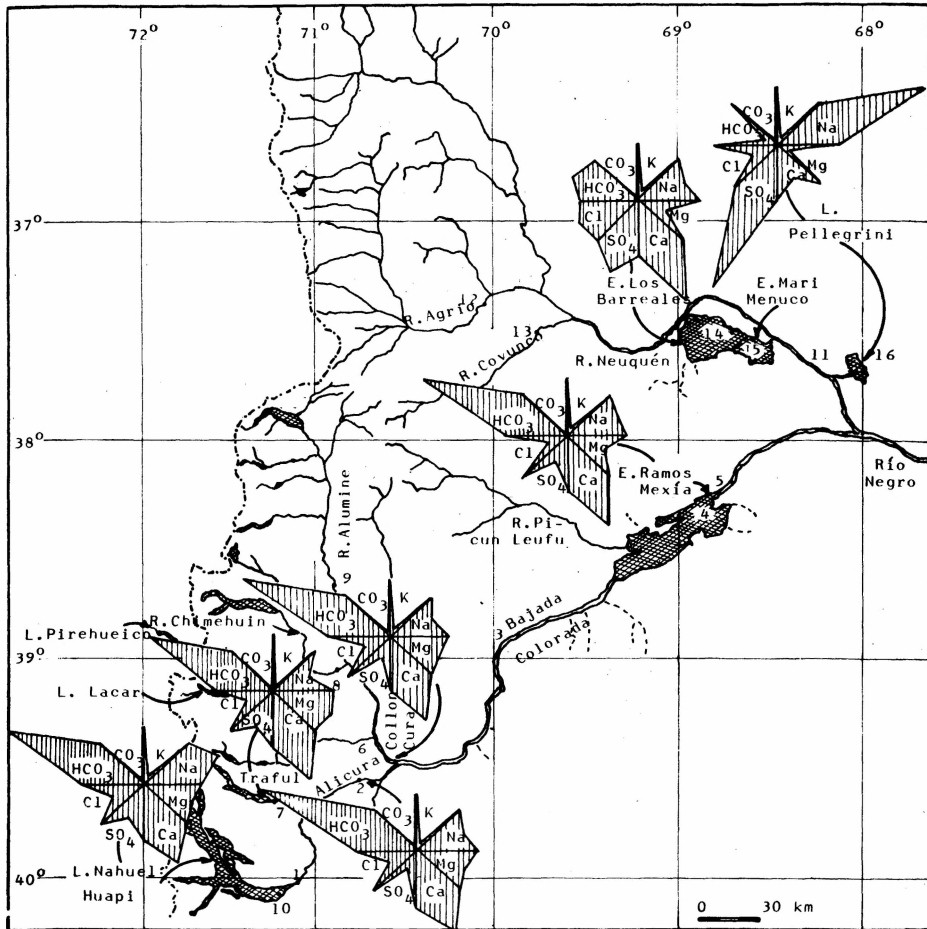


Fig. 12. Ubicación de las estaciones de muestreo y composición iónica promedio de las cuencas del Limay y Neuquén.

Sílice

Las concentraciones de sílice fueron relativamente altas no observándose variaciones estacionales definidas. Los valores promedio oscilaron entre 13,3 mg l^{-1} en las nacientes del Limay y 17,1 mg l^{-1} en Bajada Colorada (tabla III).

En la cuenca del Neuquén las concentraciones fluctuaron entre 12,0 y 24,0 mg l^{-1} .

En los embalses se encontraron generalmente concentraciones un poco más bajas que en los ambientes lóticos. (tablas III y VI). En la cuenca Pellegrini se manifestó una considerable disminución de la concentración de sílice reactiva, presumiblemente por consumo biológico.

Oligoelementos

Algunos elementos, aún en concentraciones de pocas décimas de miligramo por litro, pueden constituir una impureza objetable en aguas para distintos usos. Llamativamente algunos de estos elementos, como hierro y manganeso, son componentes comunes de rocas y suelos. Las concentraciones que pueden alcanzar en agua son determinadas por equilibrios químicos que involucran procesos de óxido-reducción, precipitación de los hidróxidos, carbonatos, sulfuros, formación de complejos y el metabolismo de plantas y animales. Ante una alteración del medio ambiente, estos equilibrios pueden sufrir modificaciones, determinando cambios en las concentraciones de estos oligoelementos.

La disolución de hierro de materiales silíceos es un proceso normalmente lento, pero la erosión superficial puede producir una acumulación de óxido e hidróxido férrico. El manganeso, aunque no tan abundante como el hierro, es concentrado por vegetales terrestres y acuáticos.

En la cuenca del Limay; los máximos de hierro y manganeso extractables se determinaron en aguas del Collon Cura. En la del Neuquén correspondieron al río Agrío (tablas III y VI).

En el embalse Ramos Mexía los máximos siempre se registraron en las aguas en contacto con el fondo. Determinaciones realizadas en la zona de la "cola" del embalse, cerca de Picun Leufu mostraron que allí los contenidos son notablemente más altos que en la zona de aguas abiertas más cercanas a la cabecera (promedios de 214 y 96 $\mu\text{g l}^{-1}$ Fe y 11,5 y 4,3 $\mu\text{g l}^{-1}$ Mn, respectivamente).

En los embalses del río Neuquén, Los Barreales presentaron valores superiores a los hallados en Mari Menuco, posiblemente debido a la demostrada relación entre estos elementos y el material particulado (Gibbs, 1973).

Investigaciones de arsénico en agua con el método de Gutzeit siempre dieron resultados negativos.

DISCUSIÓN

La abundancia de lagos en las nacientes de las cuencas de los tributarios del río Limay y su menor pendiente respecto al río Neuquén le confieren un comportamiento hidrológico más regular.

La abundancia de rocas mesozoicas poco consolidadas: sedimentitas arenosas, arcillosas en parte tobáceas, con yeso ya sea como cemento o en capas intercaladas, en la cuenca media del río Neuquén (Quarleri, 1978) determina una mayor salinización de sus aguas respecto a las del Limay (tablas III y VI).

Los cuatro lagos artificiales de la zona del Comahue presentan diferencias cualitativas importantes, debidas a distintos caracteres morfoedáficos. El Ramos Mexía, con profundidad media de 24,7 m, está orientado en el mismo sentido que los vientos dominantes del verano, durante el cual impiden la formación de una termoclina estable. La mayor profundidad media de Los Barreales y Mari Menuco permiten el establecimiento de una termoclina mejor definida a profundidades entre 30 y 35 m a comienzos del verano, que

desciende hasta los 40 a 60 m en abril (fig. 6). Por otro lado el "lago" Pellegrini se comporta como una masa térmicamente homogénea dada su escasa profundidad.

El balance térmico anual aproximado del embalse Ramos Mexía, calculado como la diferencia entre los contenidos máximos y mínimos de calor, es superior a los publicados para otros lagos norpatagónicos cordilleranos y al del lago Taupo en una latitud similar (Nueva Zelanda) pero regido por un clima oceánico. Es similar al del lago Tahoe (EE.UU), de mucha mayor profundidad, pero ubicado a una altitud considerablemente superior. El lago artificial Mead (EE.UU) a una altitud y de un volumen similares, pero con mayor profundidad y un clima más continental, presenta un balance anual mayor (tabla IV).

Los motivos que justificarían un balance térmico anual superior para el Ramos Mexía que para los lagos cordilleranos son: la mayor amplitud térmica en la zona de las mesetas patagónicas que en la cordillera; la mayor heliofanía que se registra en verano por coincidencia de baja humedad con larga duración del día (2 800 horas de sol en El Chocón contra 2 200 h en Bariloche) (Van Domselaar y García, 1978), y la contribución advectiva por el mayor volumen de agua intercambiado.

Las transparencias medidas en los embalses son en general bastantes bajas (tablas VI y VII), correspondiendo los máximos a los períodos de estiaje; mientras que por la mayor capacidad de transporte de sedimentos en suspensión y nutrientes, las crecientes resultan en una disminución de la transparencia.

Las concentraciones de oxígeno disuelto fueron en general cercanas al valor de saturación. Los valores extremos registrados fueron 12,3 y 6,0 mg l⁻¹. La distribución de oxígeno en la columna de agua de los embalses fue ortógrada, con déficit en las capas más profundas respecto al valor de saturación teórica.

Las concentraciones de dióxido de carbono disuelto fluctuaron entre 1,6 y 5 mg l⁻¹, correspondiendo a ambientes oligotróficos.

Los valores de pH se encontraron siempre muy cerca de la neutralidad, oscilando entre 6,9 y 7,6 en la cuenca del Limay y entre 6,0 y 8,0 en la del Neuquén.

La semiaridez de la región es la principal causa del aumento de conductividad de las aguas al avanzar hacia el este, ya que las escasas lluvias no llegan a lixiviar las sales acumuladas en la superficie del suelo, por un lado, y por el otro la elevada evaporación inducida por la baja humedad e intensos vientos y radiación, concentra paulatinamente las aguas.

Mientras que las crecientes producen una disminución inicial de la conductividad en los ríos, el aumento de nivel en los embalses (fluctuación del Ramos Mexía 7 m, de Los Barreales 9,5 m) determina la incorporación de sales por disolución de eflorescencias, aumentando la conductividad de las capas superficiales en un inicio, y luego de toda la masa de agua (fig 9).

La formación de los embalses ha provocado una salinización de las aguas, si bien en un grado que no causa detrimento según los criterios de potabilidad, riego, etc. (Hem, 1978).

Las aguas de los ríos Limay y Neuquén son de tipo bicarbonatado cálcico. Los fenómenos de disolución de eflorescencias, intercambio catiónico con los suelos y transporte atmosférico son probablemente los responsables de una mayor proporción de sodio y sulfato en el embalse Ramos Mexía respecto al río afluente. En varios perfiles, la mayor concentración de sodio y sulfato en muestras superficiales que en profundas podría explicarse por estos procesos.

En los embalses Los Barreales y Mari Menuco el sulfato alcanza valores semejantes al bicarbonato.

La composición iónica del "lago" Pellegrini, por ser una cuenca sin desagüe permanente (ex- cuenca Vidal), es gobernada por procesos de evaporación y precipitación (Gibbs, 1970), caracterizándose como sulfatoclorada sódica, y alcanzando conductividades muy superiores a las del resto del sistema (tablas III, VI y VII). Por incorporación de excesos de crecientes sufre considerable dilución y eventualmente pérdida por desagües temporarios, alterándose drásticamente los distintos parámetros abióticos.

A semejanza con el embalse Rapel las concentraciones de sílice tienen valores relativamente altos (tablas III, VI y VII) respecto al valor promedio estimado para los ríos del mundo (Livingstone, 1963). Las variaciones de concentración de sílice reactiva probablemente estén determinadas por numerosos factores incluyendo vientos, caudales de los ríos, crecimientos de diatomeas, etc.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a los distintos integrantes del equipo de biología del Plan de Estudios Ecológicos de la Cuenca del Río Negro, que tomaron muestras para los análisis químicos y realizaron determinaciones de campaña, en especial el Lic. C. Duprez. Asimismo al personal del Laboratorio de Química del Servicio de Hidrografía Naval que me permitió el uso de sus laboratorios para numerosas determinaciones, y al personal de la Cátedra de Toxicología y Química Legal de la Facultad de Farmacia y Bioquímica por la investigación de los contenidos de arsénico.

TABLA III
Calidad química del agua de la cuenca del Limay

	Río Limay nacientes		Río Traful		Río Chimehuin		Río Alumine		Río Collon Cura		Río Limay Alicura		Río Limay Bajada Colorada		Emb. Ramos Mexía		Río Limay, agua abajo El Chocón	
	rango	prom.	rango	prom.	rango	prom.	rango	prom.	rango	prom.	rango	prom.	rango	prom.	rango	prom.	rango	prom.
Temperatura del agua (°C)	7,7-16,5	9,8	6,0-15,3	9,8	7,0-20,2	15,1	7,5-20,8	12,2	5,0-21,5	10,6	6,5-18,0	9,9	6,0-21,5	11,6	5,2-22,2	13,3	6,5-22,6	14,3
Conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	29-34	30	22-45	37	38-48	42	40-58	47	20-60	46	17-41	33	20-58	35	58-82	67	62-90	69
pH	6,9-7,3	7,1	7,1-7,3	7,2	7,2-7,4	7,3	7,4-7,7	7,5	7,1-7,5	7,2	7,1-7,4	7,2	7,1-7,4	7,2	6,9-7,9	7,3	6,9-7,6	7,3
Oxígeno disuelto (mg l^{-1})	8,7-10,2		7,4-11,3		8,3-11,0		8,0-9,7		8,8-10,8		8,6-11,2		8,7-11,3		6,2-11,2		8,0-12,3	
(%sat.)	95		94		98		93		97		95		98		97		86	
Calcio (mg l^{-1})	2,8-4,0	3,5	4,0-8,0	5,6	2,6-6,0	4,1	3,2-8,0	5,7	2,7-8,0	5,6	2,0-6,8	4,1	2,8-7,8	4,5	4,8-11,0	7,6	4,5-10,6	7,8
Sodio (mg l^{-1})	1,6-1,9	2,3	2,3-2,5	2,4	2,6-2,7	2,4	2,1-6,0	2,1	2,5-3,4	2,8	1,9-2,9	2,3	2,2-4,0	2,8	3,7-7,4	4,5	3,9-6,5	5,6
Magnesio (mg l^{-1})	0,6-4,3	2,1	1,2-1,8	2,1	1,1-2,1	2,1	1,4-2,3	1,9	1,2-3,2	1,8	0,6-2,4	1,3	1,2-4,8	2,0	1,2-3,0	2,0	0,6-3,6	2,0
Potasio (mg l^{-1})	0,2-0,4	0,3	0,5-0,6	0,4	0,4-0,6	0,4	0,6-0,7	0,6	0,4-1,1	0,6	0,2-0,8	0,5	0,5-1,0	0,7	0,4-1,6	0,7	0,5-2,5	0,9
Bicarbonato (mg l^{-1})	15-19,8	17	19,8-29,8	23	19,8-29,8	25	19,8-34,7	26	19,8-40	27	15-25	22	19,8-36,9	25	29,8-46	35	19,9-39,8	32
Cloruro (mg l^{-1})	2-5	2,5	2-3	2,8	2-5	2,1	2-15	2,1	1-5	2,0	1-5	1,5	1-3	2,0	2-5	2,5	2-5	4,8
Sulfato (mg l^{-1})	3-5	4,5	3-5	4,8	3-5	3,1	3-5	3,1	3-5	4,0	3-7	3,1	3-5	4,0	5,9	6,0	5-7	6,6
Sílica (mg l^{-1})	7-28	13,3	10-28	16,3	7-13,5	16,3	7-19	12,4	7-30	16,9	6,5-29	13,9	11-29	17,1	4-25	15,1	6-27	14,7
Hierro ($\mu\text{g l}^{-1}$)	35-50	45	95		50-80	95	100-130	115	70-610	266	65-400	103	155-290	218	50-220	128	90-240	173
Manganeso ($\mu\text{g l}^{-1}$)	1,9-2,4	2,2	3,0		2,5-2,8	2,7	8,1-8,2	8,1	7-29	14	5-12	7,3	9,7-19	13,5	2,0-9,0	5,6	4-53	
Cobre ($\mu\text{g l}^{-1}$)									2,2		2,0							

TABLA IV

Balances térmicos anuales de algunos lagos

lago	latitud	altura (m)	régimen térmico*	volumen (Hm ³)	area (km ²)	profundidad (m)		contenidos de calor (calorías cm ⁻²)		balance térmico anual cal cm ⁻²	trabajo referencia viento (cal cm ⁻²)
						máx	med.	máximo	mínimo		
Taupo	38° 5' S	369	S(1)		587	163			29114		Green, 1975
Nahuel Huapi	40° 42' S	764	S(2)		529	438			24300-26300		Thomasson, 1959
Tahoe	39° 9' N	890	S	124000	499	501	249	34800	34800	3100	Hutchinson, 1975
Mead (embalse)	36° 12' N	365	S	27400	472	137	58	68200	46200	3100	Idem
Rotorua	38° 5' S	278	H	869	79	44,5	11		12609-13101		Green, 1975
Riñihue	39° 46' S	116	S(3)	12572	77,5	323	162	121248	28412	6027	Campos, 1978b
Mascardi	41° 10' S	798	S(4)	4200	38	218	111	43442	27934	3786	Drago, 1974
Pirehueico	39° 57' S	586	S(5)	1901	30	145	62	42059	27275	3668	Campos, 1978a

* S. estratifica; H. homotérmico.
Profundidad de la termoclina: 1:25-55m; 2:10-75m; 3:29-50m; 4:10-30 m; 5:2-44 m.

TABLA VI
Calidad química del agua de la cuenca del Neuquén.

	Río Agrio	Río Covunco	Río Neuquén en P. Banderita	Emb. Los Barreales	Emb. Mari Menuco	"Lago" artif. Pellegrini
Temperatura del agua (°C)	8,0-17,0	7,0-19,0	10,0-20,5	8,3-23,0	9,2-21,9	7,5-23,2
Conductividad (μScm^{-1})	81-112	75	200-250	170-200	190-250	2900-3600
pH	6,0-8,0	7,4-7,7	7,4-8,0	7,3-7,9	7,4-8,0	7,9-8,4
Oxígeno dis. (mg/l)	7,9-11,2	7,5-11,2	8,0-10,9	7,1-10,7	7,2-10,9	8,1-11,8
Calcio (mg l^{-1})	8-12	8	25-32	15-28	20-28	67-160
Sodio (mg l^{-1})	2,0-4,2	3,6-	14-15	9-10	13-15	360-
Magnesio (mg l^{-1})	3,6-6,0	3,6-6,0	1,2-3,6	2,4-3,2	1,2-3,3	12-36
Potasio (mg l^{-1})	1,4-1,9	1,0	1,8	1,6-1,8	1,8-2,1	15
Bicarbonato (mg l^{-1})	9-21	24	40-73	27-61	36-43	48-69
Cloruro (mg l^{-1})	5-10	2-5	2-22,5	2-20	16-20	75-775
Sulfato (mg l^{-1})	15-40	2-5	23-38	18-50	28-43	250-750
Sílica (mg l^{-1})	12,5-20,0	18,0	8,5-24,0	13-20	5,5-13,0	1,1-13,5
Hierro ($\mu\text{g l}^{-1}$)	290-560	280		280-460	130-250	130
Manganeso ($\mu\text{g l}^{-1}$)	60-100	20		6,5-21,5	2,5-10,0	7,8
Transparencia (m)				0,4-1,8	1,65-8,35	2,2-10

TABLA VII

Algunas características de otros lagos de la región* y el embalse Ramos Mexía.

	Lacar	Mahuel Huapí	Calafquen	Panguipulli	Riñihue	Pitcheuico	Rapel	Ramos Mexía
Ubicación	71°20'-40'W 40°10'S	71°9'-49'W 40°42'41"S	72°11'-16'W 39°29'34"S	72°6'-21'W 39°37'51"S	72°10'-28'W 39°46'55"S	71°48'W 39°57'S	71°29'W 34°10'S	68°40'-69°20'W 39°15'140'S
Altura (m)	625	764	203	140	116	586	240	381
Area (km ²)	50	646	120	117	78	30	137	816
Volumen (Hm ³)	8950		13906	14660	12572	1901	832	20200
Profundidad máxima (m)	277	438	212	268	323	145	90	60
Profundidad media (m)	166		115	126	162	62	5,1	24,7
Longitud máxima (km)	25	67	25	28	27	23	43	59
Ancho máximo (km)	3	10	8	10	5	2,4		18,8
Transparencia Secchi (m)	10	10-15			5-14	10-17	0,4-1,3	1,2-8,2
Conductividad (µScm ⁻¹)		23,5	44-68	31-57	33-59	35-59		51-82
Alcalinidad (mval l ⁻¹)	0,36	0,28-0,38	0,45-0,90	0,35-0,60	0,35-1,21	0,38-0,55		0,48-0,75
Calcio (mg l ⁻¹)	7	1,2-3,3	3,2-9,4	2,0-10,4	2,8-9,6	2,2-10,4		4,8-11,0
Magnesio (mg l ⁻¹)	3	0,6-1,1	0,8-2,0	0,7-1,6	0,8-1,6	0,4-1,4		1,2-3,0
Sodio (mg l ⁻¹)	6	2,0-3,6	1,4-4,3	1,0-3,7	0,8-2,8	0,5-2,8		3,7-7,4
Potasio (mg l ⁻¹)	0,8	0,3-0,7	0,3-1,8	0,4-2,2	0,4-1,6	0,4-1,7		0,4-1,6
Cloruro (mg l ⁻¹)	9	2	1,8-3,1	1,9-3,2	1,8-3,2	1,8-3,1		2,0-5,0
Sulfato (mg l ⁻¹)		0,7-3,3	0,5-3,0	1,0-3,0	1,0-3,0	1,0-3,0		5,0-9,0
Sflice (mg l ⁻¹)		6,6-12	1,6-16,1	1,1-14,7	0,8-12,3	0,9-13	2-24	4-25
Oxígeno disuelto (mg l ⁻¹) % saturac.			4,6-11,7 40-106	8,3-12,2 70-110	9,1-11,3 80-108	9,0-11,5		6,2-11,2 64-102
pH			6,3-8,0	6,4-7,7	6,3-8,2	6,1-7,9		6,9-7,9
Dióxido de carbono (mg l ⁻¹)			0,88-5,5	0,18-6,2	0,22-1,32	0,13-4,8		0,8-3,6

* Datos obtenidos de: Ziesler y Ardizzone, 1979; Thomasson, 1958; Bruno Videla, 1944; Campos *et al.*, 1978; Cabrera *et al.*, 1977.

BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1975. *Standard Methods for the Examination of Water And Wastewater*. 14th Ed., New York,: 1193 pp.
- BIRGE, E. A., 1916. The work of the wind in warming a lake. *Trans. Wisc. Acad. Sci. Arts Lett.*, 18: 341-391.
- BLANTON, J. O., 1973. Some comparisons in the thermal structures of lakes Wood, Kamalka, Okanagan, Skahe, Osoyoos, Brit. Columbia. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 30 (7): 917-925.
- BONETTO, A.A.; DIONI, W. y DEPETRIS, P., 1971. Investigaciones limnológicas en la cuenca del río Manso y lago Mascardi. Publ. Fund. Bariloche Dept. Rec. Nat. n° 4: 62 pp.
- BONETTO, A.A.; DI PERSIA, H.; MAGLIANESI, R. y CORIGLIANO, M., 1976. Caracteres limnológicos de algunos lagos eutróficos de la región central de Argentina. *Ecosur*, 3 (5):47-120.
- BRUNO VIDELA, H., 1944. Algunos controles efectuados sobre peces existentes en la región de los lagos. *Rev. Agrón. & Veter. UBA*, XI, 1: 3-34.
- CABRERA, S.; MONTECINO, V.; VILA, I.; BAHAMONDE, N.; BAHAMONDES, I. et al. 1977. Características limnológicas del embalse Rapel. Act. Semin. Med. Amb. & Repres. OEA, Montevideo, Uruguay: 40-61.
- CAMPOS, H.; ARENAS, J.; STEFFEN, W. y AGÜERO, G., 1978 a. Estudios limnológicos en el lago Pirehúico. *Med. ambiente*. 3 (2): 76-88.
- 1978 b. Physical and chemical limnology of lake Riñihue. *Arch. Hydrobiol.* 84 (4): 405-429.
- CORDINI, R., 1939. El lago Nahuel Huapi. Bol. Dir. Miner. Geol. Nac. Buenos Aires, n° 47: 56pp.
1964. El lago Lacar del Parque Nacional Lanín. *Anal. Parq. Nac. Buenos Aires*, 10 (2): 111-133.
- DRAGO, E., 1974. Estructura térmica del lago Mascardi. *Physis, B*, 31 (87): 207-216, Buenos Aires.
- GIBBS, R.J., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science, N.Y.* 170: 1 088-1 090.
1973. Mechanisms of trace metal transport in rivers. *Science, N.Y.* 180: 71-73.
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S. y OHNSTAD, M.A., 1978. *Methods for Physical & Chemical Analysis of Fresh waters*. IBP Handbook n° 8. Blackwell Sc. Pub.: 214 pp, London.
- GREEN, J.D., 1975. Heat budgets. En *New Zealand Lakes*, ed. Jolly & Brown, Auckland Univ. Press., 106-109, New Zealand.
- HEM, J.D., 1978. *Study and interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters*. US Geol. Survey. Water Sup. Paper 1 473.
- HIDRÓNOR, S.A., 1979. Informe estadístico anual 1978, Buenos Aires.
1980. Informe estadístico anual 1979, Buenos Aires.
1981. Informe estadístico anual 1980, Buenos Aires.
- HUTCHINSON, G.E., 1975. *A Treatise on Limnology. I. Geography and Physics of Lakes*. John Wiley & Sons: 540 pp, New York.
- LIVINGSTONE, D.A., 1964. *Chemical Composition of Rivers and Lakes*. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 440G, Data of Geochemistry. 6th. Ed.: 61 pp.
- LÖEFFLER, H., 1959. Limnologische Untersuchungen an chilenischen und peruanischen Binnenwässer. *Ark Geofys.* 3 (10): 155-254.
- QUARLERI, P., 1978. Hidrogeomorfología. En: Informe final 1° etapa. Plan de Estudios Ecológicos de la cuenca del río Negro. (PEECRN).
- THOMASSON, K., 1959. Nahuel Huapi. Act. Phytogeograph. Sue., 42:83 pp.
- VAN DOMSELAAR, Z.G. y GARCÍA, C.V., 1978. Clima. En: Informe final 1° Etapa PEECRN.
- ZIESLER, R y ARDIZZONE, G.D., 1979. Las aguas continentales de América Latina. Doc. Tec. COPESCAL, FAO: 141 pp, Roma.