

**AISLAMIENTO TEMPORAL DEL SUBSISTEMA ALHUE: UNA RESPUESTA A LA
 HIDROLOGIA DEL EMBALSE RAPEL.**

Manuel Contreras L.¹, Hernán Villagrán N.²
& Carlos Salazar³

¹ Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias,
Universidad de Chile, Casilla 653, Santiago, Chile.

² Escuela de Ciencias del Mar, Facultad de Recursos Naturales,
Universidad Católica de Valparaíso.

³ Departamento de Estudios Hidrológicos. Subdepartamento Planificación de Recursos Hídricos
Dirección General de Aguas. Ministerio Obras Públicas.

RESUMEN

El análisis de la morfología y el régimen hidrológico permiten reconocer la existencia de tres áreas naturales en el embalse Rapel (34° 10' S, 71° 29' W), con características estructurales y funcionales diferentes. La tasa de renovación anual (r) estimada para las cubetas, señalan que las cubetas S y NW se comportan hidrológicamente como un sistema lótico ($r=12,36$), en cambio, la cubeta NE presenta una dinámica típica de sistemas lénticos ($r=1,16$). El embalse Rapel presenta un balance hidrológico anual negativo de $919,223 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$. Entre los factores más importantes que conforman la hidrodinámica del embalse Rapel se encuentran la morfología y la acción del viento. La estructura batimétrica impone restricciones topográficas al flujo del agua y la acción del viento sobre el cuerpo de agua genera corrientes superficiales con velocidad promedio de 14 cm/s. La morfología conjuntamente con el efecto eólico determinan el aislamiento temporal del flujo de la cubeta NE en relación a la circulación general del embalse, produciendo una celda de circulación vertical asimétrica con un transporte lateral creciente hacia la zona de menor profundidad.

ABSTRACT

CONTRERAS M, H VILLAGRAN & C SALAZAR (1994) The temporal isolation of the Alhue subsystem: a response to Rapel's reservoir hydrology. *Medio Ambiente* 12 (1): 41 - 49.

The study of the morphology and the hydrological regime shows the presence of three natural areas at Rapel Reservoir (34° 10' S, 71° 29' W). They have different structure and functional characteristics. The estimated annual renewal rate (r) for the basins, indicates that S and NW areas behave hydrologically as a lotic system ($r=12,36$), meanwhile, the NE region is a typical lentic system ($r=1,16$). Rapel impoundment presents a negative annual hydrological balance of $919,223 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$. Morphology and wind action are the most important factors in determining the reservoir hydrodynamic. The bathymetric structure imposes topographic restrictions to the water flow and the wind action generates superficial currents with an average velocity of 14 cm/s. The morphology and the wind action determine a temporal isolation of the NE basin in relation with the general circulation of the reservoir, and they produce an asymmetric vertical circulation with an increasing lateral transport towards the shallower areas.

INTRODUCCION

La dinámica de los movimientos del agua en embalses, depende en gran parte de las características de sus respectivas cuencas de avenamiento, del ciclo hidrológico particular, de su morfología y del régimen climático al cual están expuestos. La interrelación entre estos factores determinan patrones específicos

en la dinámica de los procesos físicos (Hutchinson 1957, Reed 1970), químicos (Wright 1967, Imboden & Schwarzenbach 1985, Wetzel & Likens 1991) y biológicos (Reynolds *et al.* 1986, George & Edwards 1976, Webster 1990, Contreras 1992), que ocurren en estos sistemas. La transferencia de la energía del viento al agua bajo las restricciones batimétricas, da lugar a un espectro de perturbaciones, tanto en super-

ficie como en el fondo de los embalses, generando desde movimientos a nivel molecular hasta aquellos que comprometen la circulación completa de la masa de agua. La relevancia ecológica de los movimientos del agua y la turbulencia generada por este proceso, no ha sido siempre considerada en su debida magnitud (Margalef 1983, Wetzel & Likens 1991).

El propósito de este trabajo es caracterizar la dinámica hidrológica de los distintos subsistemas presentes en el embalse Rapel, como base para interpretar los procesos biológicos descritos para el ecosistema (Cabrera *et al.* 1977, Vila 1980, Vila *et al.* 1986).

MATERIALES Y METODOS

Morfometría

El Mapa batimétrico se configuró con 55 registros acústicos obtenidos con un ecosonda FURUNO FE-411 con 200 KHz de frecuencia y un transductor con un ángulo de transmisión de 9°. Una carta topográfica del Instituto Geográfico Militar (1:25.000), permitió delimitar el perímetro de este cuerpo de agua. La ubicación de los ecogramas en el mapa topográfico se efectuó fijando los transectos en puntos notables de la ribera, y la orientación se realizó mediante un compás lensático. Los parámetros morfométricos se calcularon de acuerdo con Lind (1985). El área fue calculada con un planímetro polar y la línea de costa fue determinada usando un rotómetro.

Balance Hídrico

La precipitación directa en el área del embalse fue obtenida de los registros existentes en la estación Puente Arqueado (ENDESA 1951-1980) y la tasa de evaporación desde el espejo de agua del embalse Rapel a partir de los registros mensuales de la estación Rapel y Melipilla (MOP 1963-1991). Los registros de gastos medios mensuales de los diferentes afluentes, efluentes y nivel hidrométrico del embalse fueron obtenidos a partir de las estadísticas del Departamento de Hidrología de ENDESA (1950-1990).

Se calculó el balance hídrico del embalse Rapel según la siguiente ecuación (Wetzel & Likens 1991):

$$Q + P + S + E = V/t \text{ (m}^3\text{/t)}$$

donde:

- Q = Carga hidrológica total desde los tributarios en el período de tiempo
- P = Precipitaciones directas sobre el lago en el mismo período de tiempo
- S = Gasto promedio mensual de la central hidroeléctrica
- E = Evaporación desde la superficie del lago durante el mismo período de tiempo
- V/t = Cambio de volumen del lago (positivo o negativo)

Circulación

El proceso de observación de corrientes se realizó en la zona de confluencia de la cubeta NE y S, durante los días 10-11 de agosto y 16-17 de noviembre de 1991. Los períodos de medición fueron lo suficientemente largos para permitir el seguimiento de la acción diaria del viento sobre el embalse. Se utilizaron derivadores superficiales de cruceta y subsuperficiales de cortina (Figura 1), de acuerdo con las características dinámicas y especificaciones propuestas por Vachon (1974, 1982). El posicionamiento inicial y despliegue de los trazadores se enmarcó en la metodología propuesta por Villagrán & Domínguez (en prensa). La determinación de la posición espacio-temporal de los trazadores, se realizó cada 15 minutos desde puntos notables en la costa por triangulación utilizando teodolitos (Wild, mod. T16).

El programa de observación se realizó en dos etapas: la primera, enfocada a analizar las respuestas horizontales de la cubeta NE a la acción del viento, utilizando derivadores superficiales del tipo cruceta. Y la segunda consistió en buscar respuestas en profundidad, haciendo uso simultáneamente de derivadores de cortina y crucetas (Figura 2).

El posicionamiento vertical de los derivadores subsuperficiales en la columna de agua se realizó con el ecosonda. Las velocidades medias se calcularon determinando los desplazamientos en la carta topográfica y los intervalos de tiempo transcurridos entre mediciones.

RESULTADOS

Morfología

El embalse Rapel tiene forma dendrítica (Figura 3) y un desarrollo de línea de costa de 6,94. Con una superficie de 82, 57 km² y un volumen de 0,667 km³ (cota 103,5 m s.n.m.), formado por tres cubetas principales. La cubeta NE es la de menor profundidad media (Cuadro 1) y corresponde al valle de inundación del estero Alhué con una microcuenca de drenaje de 788 km², y su eje principal orientado EW. La cubeta S corresponde al tramo superior del antiguo río Rapel, formado por la confluencia de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, con áreas de drenaje de 6.481 y 3.089 km², respectivamente. Estos tributarios de régimen nival aportan el 97% del agua que entra al embalse anualmente, con un importante arrastre de sólidos suspendidos, que se acumulan en la zona de confluencia de los afluentes remodelando permanentemente la morfología de esta cubeta. La cubeta NW es la de mayor profundidad y menor extensión, presentando una configuración vertical en "V", característica de zonas precordilleranas. Se ubica en el tramo medio del antiguo río Rapel, aguas abajo de la confluencia de las cubetas S y NE, siendo limitada al NW con el muro de la Central Hidroeléctrica Rapel.

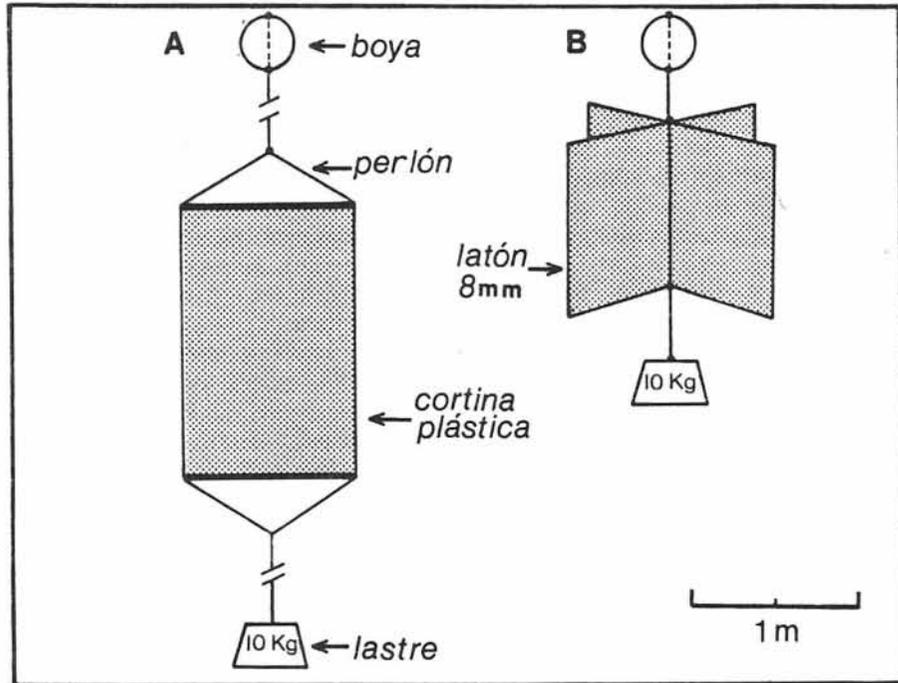


FIGURA 1
Descripción a escala de los derivadores. A: derivador de cortina; B: derivador de cruceta.

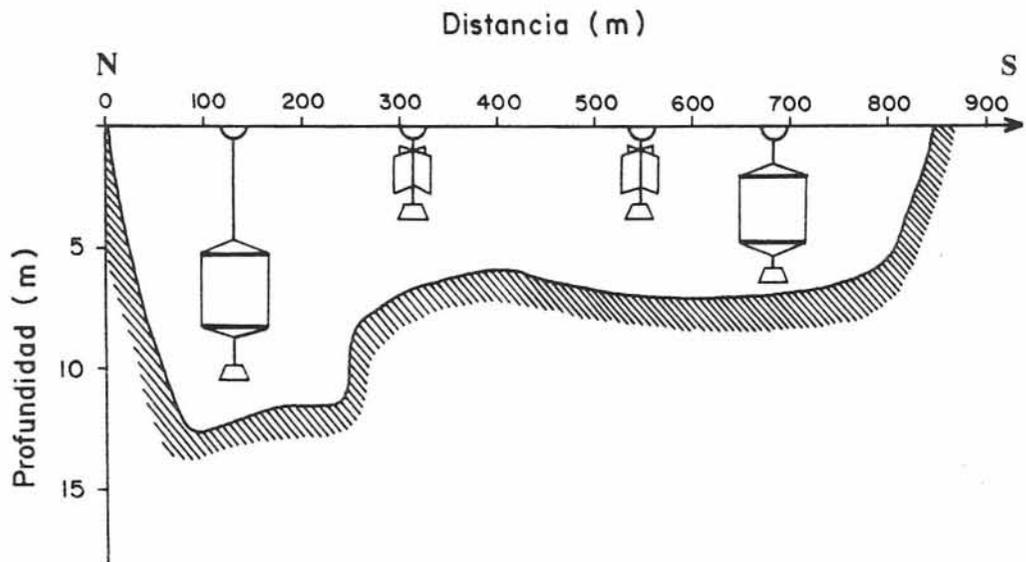


FIGURA 2
Disposición espacial de los derivadores en un corte batimétrico de la zona de estudio (los derivadores no están a escala)

Caracterización hidrológica

La red de drenaje de la cuenca del embalse Rapel está constituida principalmente por los ríos Cachapoal, Tinguiririca y el estero Alhué. Los dos primeros, sus principales afluentes, drenan gran parte de la cuenca, incluyendo los sectores cordilleranos y precordilleranos. En la zona baja de la hoya existe una gran cantidad de afluentes secundarios, entre los cuales se destaca el estero Alhué, cuya cuenca se desarrolla a partir de los cordones precordilleranos que separan el río Cachapoal de la cuenca del río Maipo.

Los ríos Cachapoal y Tinguiririca presentan un régimen hidrológico de carácter pluvio-nival (Cuadro 2), observándose este comportamiento más marcado en el río Cachapoal, con caudales medios mensuales que alcanzan máximos de 180 m³/s en julio y 120 m³/s en diciembre. La componente nival del río Tinguiririca es menos marcada, con valores mensuales máximos de 40 m³/s en diciembre y 100 m³/s en julio. La cuenca del estero Alhué, por su conformación, presenta un régimen hidrológico principalmente fluvial con caudales mensuales máximos de 19 m³/s en julio.

La precipitación, registrada en el embalse, presenta una amplia variación tanto estacional como interanual (Cuadro 2), a nivel medio mensual fluctúa entre un mínimo de 2 mm en febrero y 160 mm en julio. El promedio anual es de 640 mm, estimándose valores de 830 mm, 610 mm, 440 mm y 380 mm para probabilidades de excedencia anual de 20, 50, 80 y 90%, respectivamente. Los antecedentes de evaporación registrados en la Central Rapel muestran valores medios mensuales que varían entre 25 y 200 mm, para junio y enero, con un total anual medio de 1200 mm (Cuadro 2). En relación al régimen sedimentométrico, el gasto sólido total anual que ingresa al embalse alcanza a 6,1 millones de toneladas, un 54% proviene del río Cachapoal y un 31% al río Tinguiririca. Se ha estimado que el gasto sólido afluente al embalse se ha incrementado en 600% en el período comprendido entre 1962-1984 y que el 96% del total corresponde a gasto sólido en suspensión.

Balance hídrico anual

La estimación del aporte hídrico al embalse por precipitación directa, se basó en los registros de la

CUADRO 1
Parámetros morfométricos del Embalse Rapel, según las diferentes cubetas (103,5 m s.n.m.)

		NE	S	NW
Area	(km ²)	27,413	37,4	14,766
Volúmen	(km ³)	0,1153	0,2099	0,3417
Perímetro	(km)	57,4	93,6	72,8
Z máxima	(m)	17,0	24,0	75,0
Largo máximo	(m)	10,1	17,6	5,75
Ancho máximo	(km)	5,6	3,58	1,5
Ancho medio	(km)	2,71	2,12	3,09
Z medio	(m)	4,206	5,61	19,23
Desarrollo volúmen		0,247	0,233	0,256
Desarrollo línea costa		3,09	4,317	4,872

CUADRO 2
Valores medios mensuales de los gastos hídricos afluentes y efluentes del embalse Rapel

	CA (m ³ /s)	TI (m ³ /s)	AL (m ³ /s)	AF (m ³ /s)	RA (m ³ /s)	AV (m ³ /10 ⁶)	E (mm)	P (mm)
Enero	97,8	24,9	0,2	123,7	158,4	32,2	202	2
Febrero	50,3	10,1	0,2	64,1	105,1	24,4	167	0
Marzo	41,1	7,4	0,3	55,0	112,4	17,0	139	11
Abril	45,7	13,3	0,5	76,6	122,4	43,6	188	26
Mayo	83,5	48,0	2,2	146,4	200,5	87,1	43	99
Junio	150,0	93,7	16,2	299,9	400,4	5,9	25	155
Julio	177,0	102,0	19,5	399,8	483,2	43,8	27	138
Agosto	145,0	98,8	14,6	303,8	338,1	8,2	39	111
Septiem.	94,1	61,5	7,2	194,5	245,4	7,8	61	48
Octubre	50,0	23,4	3,8	110,3	156,9	10,5	94	30
Noviemb.	76,7	31,5	1,5	135,7	164,7	33,7	137	12
Diciemb.	117,0	37,7	0,6	174,6	207,4	76,9	176	7

CA : Cachapoal AL : Alhue RA : Central Rapel E : Evaporación embalse
TI : Tinguiririca AF : Afuentes al embalse AV : Variación volúmen embalsado P : Precipitación

estación Puente Arqueado (ENDESA), distante 16 km al SE de la confluencia de los ríos Cachapoal y Tinguiririca. El área del embalse se consideró constante con 82,47 km², durante el período comprendido entre mayo y agosto, donde se concentra el 85% del total de agua caída anualmente. La precipitación anual promedio es de 640 l/m². Se consideró como aporte hídrico superficial solamente los cursos permanentes: ríos Cachapoal, Tinguiririca y estero Alhué, con caudales promedios anuales de 115,62, 67,89 y 4,049 m³/s, respectivamente (Cuadro 3).

Las pérdidas por evaporación desde el espejo de agua del embalse Rapel están basados en los registros mensuales de la estación Melipilla (D.G.A), distante 90 km al N del embalse. La tasa de evaporación anual

promedio es de 1300 l/m², no se considera en esta estimación la pérdida por evapotranspiración, debido a que no existen mediciones directas de esta variable en la zona, pero es posible señalar que debería ser mínima por el escaso desarrollo de vegetación, acuática y ribereña en el embalse. La eliminación de agua a través de las compuertas de la Central Rapel, se estimó a partir de los registros de la estación Rapel en Corneche (ENDESA) aguas abajo del muro, con un gasto anual promedio de 216, 8 m³/s.

El embalse Rapel presenta importantes fluctuaciones mensuales en el nivel hidrométrico (Cuadro 2). El volúmen del embalse es regulado mensualmente según la demanda energética del sistema interconectado

CUADRO 3
Balance hídrico anual promedio del Embalse Rapel (1980-1991).

Entrada	m ³ x 10 ⁶	% del total
Precipitación	52,78	0,9
Afluentes		
Río Cachapoal	3645,94	61,1
Río Tinguiririca	2141,26	35,86
Estero Alhué	127,7	2,14
Total	5967,68	100
Salida		
Evaporación	107,2	1,54
Efluente		
Río Rapel	6839,0	98,46
Total	6946,2	100

central y el régimen pluviométrico de las cuencas de avenamiento del embalse, de esta forma los niveles hidrométricos mínimos se registran cuando las precipitaciones son máximas.

La tasa de renovación anual (r) estimada para las diferentes cubetas S y NW, se comportan hidrológicamente como un sistema lótico (r=12,36). En cambio, la cubeta NE presenta una dinámica típica de sistemas lénticos (r=1,16). El embalse Rapel presenta un balance hídrico negativo de 978, 52 x 10⁶ m³/año (Cuadro 3).

Circulación

Con la acción de los vientos predominantes la tendencia general de las corrientes superficiales en la zona de confluencia de las cubetas es en dirección NE, hacia el sector Alhué (Figura 4). Se registraron velocidades promedios del orden de 20 cm/s (0 m) y 14 cm/s (5 m), este último valor fue usado como respuesta vertical promedio de la columna de agua, ya que los efectos de la fricción en superficie debido al viento son

compensados por la fricción de fondo. La información disponible de la intensidad del viento no permiten obtener los valores máximos desarrollados en el período de estudio. Sin embargo, utilizando el valor máximo observado de 5 m/s y un factor de viento del orden del 2% (Wetzel, 1981), el valor de 14 cm/s se ajusta a lo esperado. Con la disposición espacial utilizada con los trazadores superficiales, no se detectaron respuestas horizontales (Figura 2), que dieran lugar a un patrón de circulación más complejo. En general, los movimientos no fueron uniformes, detectándose mayores cambios en la velocidad media para los derivadores ubicados cerca de la ribera, debido al efecto de la topografía circundante sobre el viento local.

En el estrato más profundo de la zona en estudio, la respuesta del derivador ubicado en el cauce del antiguo estero Alhué (7 m), manifiesta una tendencia contraria al movimiento de los derivadores superficiales, con velocidades promedio del orden de los 5 cm/s. En condiciones sin viento se observó que los

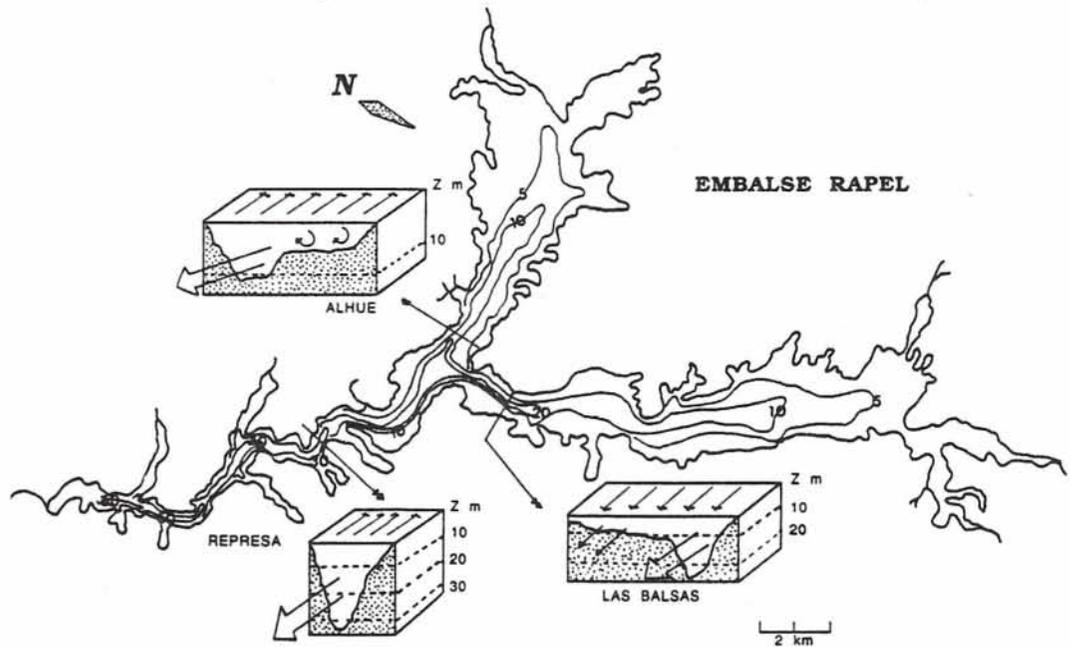


FIGURA 3
 Mapa batimétrico del embalse Rapel. Las secciones transversales corresponden a los modelos de circulación propuestos para las diferentes cubetas bajo la acción del viento.

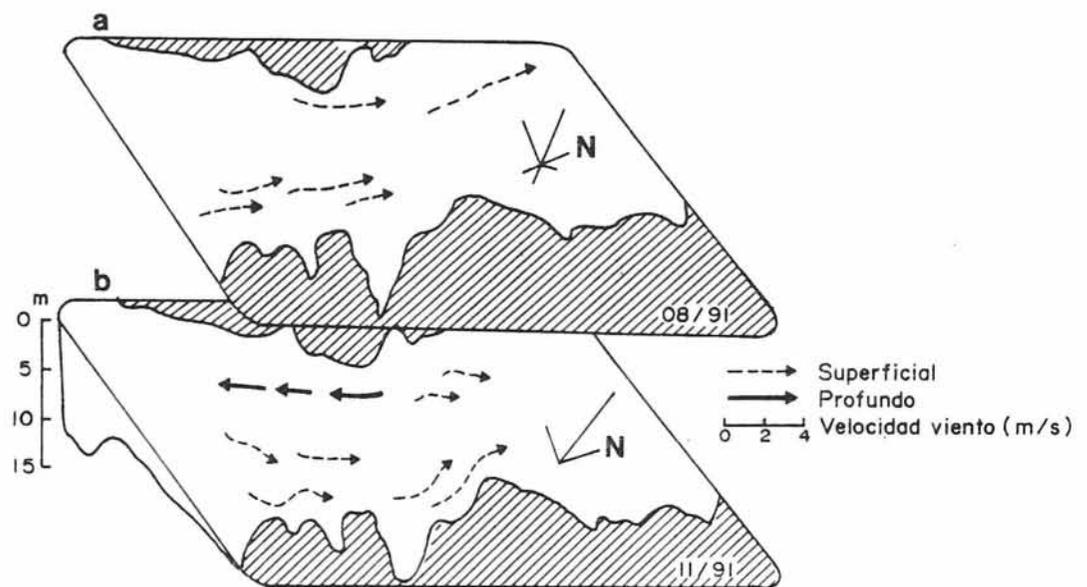


FIGURA 4
 Patrón de circulación del agua en la zona de estudio con distintas intensidades de viento (registros obtenidos tres veces al día: 08:00, 14:00 y 19:00 hrs). a: transporte horizontal en sentido inverso del balance de disección gravitacional. b: celda de circulación vertical asimétrica.

derivadores superficiales se desplazan en dirección NW, siguiendo el curso natural de las aguas, en cambio, el derivador profundo permanecía detenido. Este hecho sugiere que la evacuación de la cubeta NE es superficial, no comprometiéndose aguas más profundas. Pero, bajo la acción de los vientos predominantes, se invierte el sentido de desplazamiento de los derivadores superficiales y el subsuperficial avanza lentamente en el sentido gravitacional (Figura 3).

DISCUSION

La morfología del embalse Rapel está estrechamente asociada a la orografía regional, valles de inundación con basamento de material fluvio-glacial y pendientes moderadas (Karzulovic 1960), dan cuenta de su forma dendrítica y elevado desarrollo litoral. El aporte de sólidos en suspensión desde los afluentes remodela permanentemente el relieve subacuático, siendo más evidente en la cubeta S, con una tasa de embancamiento 5,5 veces mayor que la cubeta NE (Benítez 1984). Esto es particularmente relevante para la estimación de los parámetros morfométricos, si consideramos que el gasto de sólidos de los ríos Cachapoal y Tinguiririca ha aumentado en 600% desde las estimaciones realizadas al entrar en funcionamiento el embalse (Benítez 1984).

Cabrera *et al.* (1977) reconoce la existencia de tres áreas naturales en el embalse, de acuerdo con la topografía circundante y la calidad del agua. Estas zonas concuerdan con las descritas en este estudio, pero difieren de los parámetros morfométricos calculados para ambas cubetas, probablemente debido a la utilización de métodos más precisos. El análisis de la morfología de las distintas cubetas indica que la profundidad media y la orientación espacial del eje principal de estos sistemas serían los factores determinantes en la acción diferencial de los efectos de los agentes externos (radiación solar e intensidad de los vientos) en el cuerpo de agua (Dominguez *et al.* 1976), siendo la cubeta NE la más afectada por estas variables.

El embalse Rapel presenta un balance hidrológico negativo, en donde los ríos Cachapoal y Tinguiririca aportan entre el 70% y 95% del total del caudal que ingresa superficialmente al embalse, correspondiendo entre el 60% y 90% del caudal efluente del embalse Rapel, observándose los menores porcentajes para los meses finales del período de estiaje. Considerando que el efecto conjunto de la precipitación y evaporación varía entre 1% y 3% del total efluente, se puede deducir que el resto del caudal saliente del embalse se obtiene a través de las variaciones del volumen almacenado y probablemente por la incorporación adicional de agua desde la capa freática a la cubeta del embalse.

Entre los factores más importantes que influyen en la hidrodinámica del embalse Rapel se encuentra la morfología y la acción del viento. La estructura batimétrica impone restricciones al flujo, de modo que las condiciones de continuidad se satisfagan en todos los puntos (Smith 1979). El viento impone ritmos a una variedad de fenómenos que actúan en escalas diferentes tanto espaciales como temporales. La interacción entre ambos agentes es compleja siendo, a menudo, muy difícil definir los patrones de circulación de un sistema (Wetzel 1981).

La utilización de derivadores se centró en la caracterización de los procesos de intercambio de agua entre la cubeta de la zona Alhué y el resto del embalse. Por lo tanto, las trayectorias descritas permiten postular que, existiría una celda de circulación vertical comprometiendo una capa del orden de los 5 metros de profundidad, entrando hacia la cubeta NE y una salida profunda en forma de un chorro en la zona del antiguo cauce del estero, que dan lugar a una celda de circulación vertical cerrada. No es una situación frecuente en lagos de baja profundidad, ya que en éstos se prioriza una respuesta superficial a lo largo de los bordes del lago (George & Edwards 1976). En cuerpos de agua someros los procesos de circulación pueden ser exitados por variaciones de profundidad perpendiculares al sentido espacial del esfuerzo del viento. Sin embargo, en los lagos las condiciones de uniformidad se satisfacen debido a que las escalas espaciales, en un sentido geométrico, son mucho menores que aquellas típicas de los sistemas climáticos. Por lo tanto, es posible despreciar variaciones en el campo de viento (Simons 1980). El resultado de tal interacción consiste en la generación de giros horizontales, debido a que el esfuerzo del viento por unidad de masa es menor en la zona profunda que en la zona más baja del sistema (Simons 1980). Sin embargo, en la zona de estudio se observa una disminución de la profundidad en el mismo sentido de la acción de los vientos predominantes. Esta situación debería generar vorticidad horizontal como resultado de una aceleración diferenciada a lo largo de la sección transversal de la cubeta, efecto que no es detectado dado el ancho medio de la zona en estudio (800 m). Como consecuencia de lo anterior, una capa superficial del orden de los 5 metros sería impulsada en el sentido inverso del balance de disección gravitacional, de tal manera que el balance del volumen se realizaría necesariamente bajo los 6 metros de profundidad, en el antiguo cauce del estero Alhué. Las condiciones de homogeneidad térmica favorecerían tal respuesta batimétrica, generando un movimiento inverso a la tendencia superficial (Csanady 1982, Contreras 1992). La velocidad máxima del chorro se daría a una profundidad mayor que la registrada con el derivador profundo de tal forma que

permita compensar los efectos de superficie. La existencia de una variación longitudinal de la profundidad en el sentido del viento predominante genera complejas interacciones en el borde adyacente a la región somera definida por el valle de inundación del estero Alhué, provocando un transporte lateral creciente hacia la zona de menor profundidad, forzando al agua a girar verticalmente, estructurando de esta manera una celda asimétrica de circulación en el antiguo cauce del estero Alhué por las restricciones batimétricas.

Este tipo de interacciones resulta en un aislamiento temporal de la cubeta NE en relación a la circulación general del embalse bajo condiciones con viento. La escala temporal del aislamiento dependería de la frecuencia y duración de los eventos de viento y el comportamiento hidrológico del estero Alhué en el tiempo. De hecho, el aislamiento planteado daría lugar a un tiempo de residencia medio en la cubeta NE mayor que el calculado en este estudio bajo condicio-

nes de evacuación en estado estacionario.

El estudio realizado sobre las características hidrológicas del embalse Rapel ha puesto en evidencia la importancia del proceso de circulación del agua como factor ecológico, agente determinante en la distribución y abundancia espacio-temporal de la comunidad planctónica (George & Edwards 1976, Webster 1990, Reynolds *et al.* 1986), conjuntamente con la dispersión de sustancias químicas y resuspensión de material particulado en el embalse (Wright 1967, Imboden & Schwarzenbach 1985).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la profesora Irma Vila por la revisión de este trabajo, a Hernán Thielemann y Tatiana Cuevas por su ayuda en los trabajos de terreno. Esta investigación fue financiada con los proyectos Fondecyt 1074/91 y DTI B3049.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BENITEZ A (1984) Estimación de la sedimentación en el embalse Rapel. División de Estudios Hidrológicos. ENDESA. 90 p.
- CABRERA S, V MONTECINO, I VILA, N BAHAMONDE, I BAHAMONDES, I BAREND, R RODRIGUEZ, R RUIZ & D SOTO (1977) Características limnológicas del embalse Rapel. Chile Central. Seminario Medio Ambiente y Represas. 40-61 p.
- CONTRERAS M (1992) Desplazamientos diarios de *Odontesthes bonariensis* (Valenciennes) en el embalse Rapel (Pisces: Atherinidae). Tesis Magister en Ciencias Biológicas. Universidad de Chile. 82 p.
- CSANADY G T (1982) Circulation in the Coastal Ocean. Reidel Publ. Co., 279 pp.
- DOMINGUEZ P, L ZUÑIGA & G LEMBEYE (1976) Condiciones químicas y físicas de la Laguna El Plateado Chile. Noticiario Mensual Museo Nacional Historia Natural. Chile. **235**: 3-11 p.
- GEORGE D G & R W EDWARDS (1976) The effect of wind on the distribution of chlorophyll and crustacean plankton in a shallow eutrophic reservoir. *J. Appl. Ecol.* **13**: 667-690.
- HUTCHINSON G E (1957) A treatise on Limnology. John Wiley and Sons, Inc. Vol I: 1015 p.
- IMBODEN D M & R P SCHWARZENBACH (1985) Spatial and temporal distribution of chemical substances in lakes: modelling concepts. In: *Chemical Processes in Lakes* (Ed.). Werner Stumm. John Wiley and Sons.
- LIND O T (1985) Handbook of common methods in Limnology. Kendall and Hunt Publishing Company. 200 p.
- KARZULOVIC K J (1960) Antecedentes geológicos en la zona de la central hidroeléctrica Rapel ENDESA (mimeografiado).
- MARGALEF R (1983) Limnología. Ediciones Omega, España. XVI, 1009 p.
- REED E B (1970) Annual heat budgets and thermal stability in small mountain lakes, Colorado. U.S.A. Schweiz. *Z. Hydrol.* **32**: 397-404.
- REYNOLDS C S, V MONTECINO, M E GRAFF & S CABRERA (1986) Productivity and dynamics of a *Melosira* population of an impoundment in Central Chile. *J. Plankton Res.* **8**(4): 715-740.
- SIMONS T J (1980) Circulation models of lakes and inland seas. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences* **203**: 146 pp.
- SMITH I R (1979) Hydraulic conditions in isothermal lakes. *Freshwater Biology* **9**: 119-145.
- VACHON W A (1974) Improving drifting buoy performance by scale model drogue testing. *Marine Technology Society Journal* **8**: 58-62.
- VACHON W A (1982) Drifters. *Pub. air-sea Interaction, Instruments and Method*. Ed. by F. Dobson, L. Hasse and R. Davis. Plenum-Press. 201-217 pp.
- VILA I (1980) Actual state of development of limnological studies of reservoirs and lakes of Central Chile, especially on diagnosis and evaluation of the biological potential of lakes and reservoirs of Central Chile (MAB-

- 5, Chile). Proceeding of the First Workshop for the Promotion of Limnology in Developing Countries. Ed. Mori, S. y I. Ikusima. 127-130 p.
- VILA I, V MONTECINO, H MUHLHAUSER & S CABRERA (1986). Diagnóstico y evaluación del potencial biológico de lagos naturales y artificiales de Chile Central. *Amb. y Des.*, Vol 2(1): 127-137 p.
- VILLAGRAN H & P DOMINGUEZ (en prensa) Utilización de derivadores y distribución de corrientes en el embalse Peñuelas (Valparaíso, Chile). *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso*.
- WEBSTER I T (1990) Effect of wind on the distribution of phytoplankton cells in lakes. *Limnol. Oceanogr.* 35(5): 989-1001.
- WETZEL R G (1981) *Limnología*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona. 679 p.
- WETZEL R G & G LIKENS (1991) *Limnological analyses*. Springer Verlag New York Inc. 391 p.
- WRIGHT J C (1967) Effect of impoundment on productivity, water chemistry and heat budgets of rivers. In: *Reservoir Fisheries Resources*, Symp. Am. Fish. Soc. Spec. Public., 188-199 p.
-