

***Limnología del embalse el Cadillal
(Tucumán, Argentina).
I. Variables morfométricas
y físico-químicas***

Beatriz TRACANNA (1),
Alicia VILLAGRA DE GAMUNDI (2),
Claudia SEELIGMANN (3),
Cecilia LOCASCIO DE MITROVICH (4),
Edmundo DRAGO (5)

RESUMEN

El objeto de la presente investigación fue contribuir al conocimiento del embalse, para inferir posteriormente, las relaciones del medio ambiente sobre el plancton y los peces.

Los parámetros estudiados se refieren a datos sedimentológicos, meteorológicos, térmicos y ópticos. La composición química de las aguas se determinó en base a datos de salinidad, conductividad eléctrica, pH, iones mayores, oxígeno disuelto y nutrientes.

Integrando las variables mencionadas cuyos resultados provienen de 26 meses de muestreo (I-1987 hasta II-1989) se caracterizó al embalse como subrectangular alargado en sentido N-S, monomítico cálido, con aguas bicarbonatadas-sulfatadas-sódicas-cálcicas (1987) a sulfatadas-bicarbonatadas-sódicas-cálcicas (1988), con un período de aguas bajas (oct.-nov.-dic.) y uno de aguas altas (feb.-mar.-abr.) y una fuerte influencia de los sólidos suspendidos aportados por sus tributarios.

PALABRAS CLAVES : Limnología — Geomorfología — Físico-química — Embalse — America del Sur — El Cadillal — Argentina.

ABSTRACT

**LIMNOLOGY OF THE EL CADILLAL RESERVOIR (TUCUMAN, ARGENTINA).
I. MORPHOMETRIC, PHYSICAL AND CHEMICAL FEATURES**

The aim of this research was to study the reservoir to infer the influence of the environment on the plankton and fishes. The parameters studied include sedimentary, meteorological, thermal and optical data. Salinity, conductivity,

(1), (2), (3), (4) *Facultad de ciencias naturales de la U.N.T., Miguel Lillo. 205, 4000 San Miguel de Tucumán, Argentina.*

(1) *Instituto de botánica de la fundación Miguel Lillo.*

(5) *Instituto nacional de limnología, José Maciá 1933, 3016 Santo Tomé, Santa Fé, Argentina.*

* Este trabajo fue realizado conforme al convenio suscripto entre el Gobierno de la provincia de Tucumán y la universidad nacional de Tucumán.

pH, major ions, dissolved oxygen and nutrients were determined over a 26-month period of sampling (I-1987 to II-1989). The reservoir is subrectangular N-S, hot monomictic, with bicarbonated-sulphated-sodium-calcic waters (1987) to sulphated-bicarbonated-sodium-calcic waters (1988), with a period of low water (Oct.-Nov.-Dec.) and one of high water (Feb.-Mar.-Apr.) and a marked influence of suspended solids from its tributaries.

KEY WORDS : Limnology — Physical-chemistry — Fresh waters — Reservoirs — South America — El Cadillal — Argentina.

RÉSUMÉ

LIMNOLOGIE DE LA RETENUE EL CADILLAL (TUCUMAN, ARGENTINE). I. MORPHOMÉTRIE ET PHYSICO-CHIMIE

L'étude a été entreprise pour étudier les relations entre l'environnement et les peuplements. Les conditions climatiques, thermiques et optiques, de même que la sédimentation, sont présentées. Les caractéristiques chimiques de l'eau ont été étudiées pendant 26 mois (janvier 1987 à février 1989), par la mesure des variables suivantes : salinité et conductivité, pH, ions majeurs, oxygène dissous et éléments nutritifs. La retenue est sub-rectangulaire, orientée nord-sud, monomictique chaude. Les dominances ioniques ont évolué de bicarbonaté-sulfaté-sodique-calcique, en 1987 à sulfaté-bicarbonaté-sodique-calcique en 1988. Les eaux sont hautes de février à mars, avec un étiage d'octobre à décembre ; les solides en suspension dépendent fortement des apports par les rivières.

Mots clés : Limnologie — Physico-chimie — Eaux douces — Lacs de barrage — Amérique du Sud — El Cadillal — Argentine.

INTRODUCCIÓN

Mediante el estudio periódico de los parámetros físico-químicos que condicionan a las comunidades planctónicas y piscícolas, se intenta evaluar el estado actual de los embalses de la provincia de Tucumán en franca tendencia a la eutrofización. Posteriormente, se establecerán comparaciones regionales y locales de los distintos cuerpos de agua y de las comunidades que los habitan.

Se decidió estudiar el embalse El Cadillal como un primer paso a la investigación de otras obras de embalse, ya que representa una prioridad al abastecer de agua potable al 70 % de la población, por la presión antrópica como consecuencia de su proximidad a la Capital y por la provisión de agua para riego y energía.

Como antecedentes de trabajos realizados en el área estudiada citamos entre otros: IAP-UNT (1967); CFI (1962); DIAZ RUEDA, O. (1988); referidos a algunas características ecológicas y recopilación o medición de datos abióticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de enero de 1987 y hasta febrero 1989 se realizó el trabajo de campaña, obteniéndose mues-

tras mensuales y estacionales (fig. 1). Las muestras de agua fueron extraídas de la superficie y de profundidad (50 cm del fondo) mediante distintos tipos de muestreadores: botellas de Van-Dorn y Ruttner y trampa de Schindler Patalas. Cabe señalar que las marcadas fluctuaciones hidrométricas del embalse, impiden el acceso a la zona 1 en ciertas épocas del año, modificando el diseño del muestreo original.

Los datos meteorológicos fueron suministrados por la Estación Experimental Agro Industrial «Obispo Colombes» de Tucumán (EEAOC) ubicada a 15 km del embalse. Los datos sedimentológicos e hidrológicos (nivel hidrométrico, volumen, caudales de entrada y salida) fueron proporcionados por Agua y Energía Eléctrica (A y EE) (Regional NOA).

Las variables físico-químicas consideradas fueron estimadas por los siguientes métodos:

Temperatura (°C): mediante lecturas en termómetro de máxima y digital marca Altronix modelo TPA-1 con termosonda.

Transparencia (m): por medio del disco de SECCHI.
pH: se determinó generalmente en campaña con un peachimetro digital portátil marca Altronix modelo TPA-1.

Oxígeno disuelto (mg l⁻¹): método de WINKLER modificado (APHA, 1971). El porcentaje de saturación se calculó en base al nomograma de MORTIMER (1957).

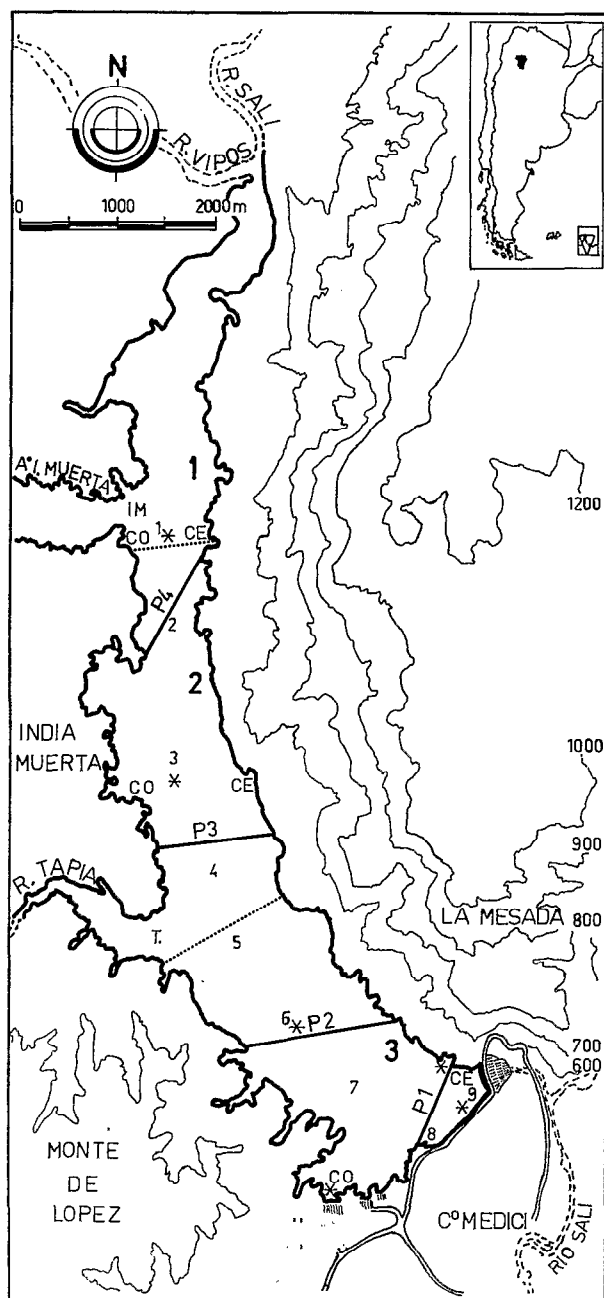


FIG. 1. — Mapa del Embalse El Cadillal. Zonificación (1-3) (...). Transecto de los batigramas (P1-P4). Estaciones de Muestreo : a) Mensuales (*); b) Estacionales : Costa Este (CE), Costa Oeste (CO) de las Zonas 1 y 2, Río Tapia (T) y Arroyo India Muerta (IM); c) Sólidos disueltos y suspendidos (1-9, CO, CE, IM, T).

Carte du barrage El Cadillal. Zones (1-3) (...). Tracé des bathygrammes (P1-P4). Stations de prélèvement d'eau : a) Mensuelles (*); b) Saisonnières : berge est (CE), berge ouest (CO) des zones 1 et 2, rivière Tapia (T) et ruisseau India Muerta (IM); c) Matières dissoutes et en suspensions (1-9, CO, CE, IM, T).

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) con conductímetro marca Metrom mod. 660.

Dureza total (mg l^{-1}) : mediante el método de VERSENATO.

Carbonatos (mg l^{-1}) : por titulación con H_2SO_4 0,025 N, indicador fenolftaleína.

Bicarbonatos (mg l^{-1}) : con H_2SO_4 0,025 N, indicador anaranjado de metilo o heliantina.

Cloruros (mg l^{-1}) : con AgNO_3 , según método de MOHR.

Sulfatos (mg l^{-1}) : por diferencia entre la sumatoria de cationes y aniones en miliequivalentes/litro.

Calcio (mg l^{-1}) : volumétricamente con EDTA, indicador murexida.

Magnesio (mg l^{-1}) : por diferencia entre dureza total (EDTA con indicador negro de eriocromo T) y la determinación de calcio.

Sodio y Potasio (mg l^{-1}) : por fotometría de llama.

Nitritos (mg l^{-1}) : colorimétricamente con ácido sulfanílico y clorhidrato de α -naftilamina.

Nitratos (mg l^{-1}) : método de la Brucina.

Amoníaco (mg l^{-1}) : colorimétricamente por nesslerización directa.

Fluor (mg l^{-1}) : técnica de Lamar.

Sólidos disueltos (mg l^{-1}) : por evaporación de muestra centrifugada a 4000 r.p.m. y secado a 180°C .

Sólidos en suspensión (mg l^{-1}) : filtrado con filtros de vidrio poroso con capacidad de retención de partículas mayores de $1\mu\text{m}$.

Sedimentos de fondo : por difracción de rayos X.

La evaluación de sólidos disueltos y suspendidos fue realizada por el Prof. E. DRAGO en el Departamento Entorno Físico (INALI-CONICET, Sto. Tomé, Santa Fé) y los sedimentos de fondo por la Lic. R. OVEJERO DE INDRI (Fac. Cs. Nat. U.N.T.) mediante difracción.

Los datos de conductividad eléctrica, residuo salino, aniones y cationes fueron determinados en los laboratorios de la Dirección de Conservación de Suelos de la Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Tucumán y en la Sección Suelos y Nutrición Vegetal de la Estación Experimental Agro Industrial «Obispo Colombes» (EEAOC). NO_2^- , NO_3^- y NH_4^+ en el Departamento Laboratorios de la Dirección Provincial de Obras Sanitarias.

Los coeficientes de correlación linear simple entre pares de variables se calcularon utilizando el coeficiente de PEARSON. Se verificó el requisito de la normalidad de los datos (comprobación efectuada mediante χ^2) por medio de transformaciones empleando variadas funciones : $\log(x)$: conductividad (zona 3, superficie), sodio (zona 3, profundidad); $\chi^2.a$: volumen (zona 3, profundidad); $\exp.(x)$: pH

(zona 3, superficie). Las variables que no pudieron ser normalizadas fueron excluidas de la matriz de correlación (cuadros IV-V).

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EMBALSE

El embalse El Cadillal está situado 26 km al norte de la ciudad de San Miguel de Tucumán en la circunscripción administrativa de Tafi Viejo entre los 65° 7' W y 26° 40' S (fig. 1).

El «cajón» El Cadillal abarca la llamada Cuenca tectónica Tapia Trancas que limita al este con las Sierras de Medina, al oeste con estribaciones aisladas y las Cumbres Calchaquies, por el sur con las elevaciones de El Cadillal, Saladillo y el extremo nororiental de las Sierras de San Javier y al norte se prolonga en la provincia de Salta.

El embalse tiene en la actualidad una longitud de 8 km de largo y un ancho máximo de 1 km, es subrectangular alargado en sentido N-S, sin estrechamientos marcados ni interrupciones por islas, extendiéndose hasta unos 50 metros aguas arriba de la desembocadura del Arroyo India Muerta. Penetra profundamente por el cauce del Río Tapia y en grado menor por el del India Muerta, en su máximo nivel de agua. Desde este último hasta el Río Vipos el lago se halla, en la actualidad, con un alto grado de colmatación.

Existen en el sentido longitudinal dos áreas, una correspondiente a la costa este, de mayor pendiente y más regular, con la presencia en su primer tramo del cauce del Río Salí. La otra, la costa oeste, con numerosas áreas protegidas o bahías y la desembocadura de los tributarios Tapia y Arroyo India Muerta que le otorgan una mayor heterogeneidad.

La presa está emplazada en rocas sedimentarias continentales del Terciario Superior. Estas son areniscas y limos con intercalaciones de bancos de yeso (facies de sabhka). Además, en profundidad mediante perforaciones se detectaron cuerpos meláfiros.

La estructura de la zona está reflejada por un sistema de fracturas orientadas según el eje de la cuenca y otro de rumbo NE-SO que coincide con la zona del cierre (Bossi, 1969).

Análisis de difracción de rayos X de los materiales del fondo revelan una asociación de minerales de arcillas: Illita, Beidellita y Clorita.

Fitogeográficamente, la vegetación del área El Cadillal (VERVOORST, 1967; en Inst. Arq. Plan.; 1981) está representada en su sector oeste por el bosque chaqueño serrano y elementos de transición (bosque caducifolio). En su sector este, se puede dis-

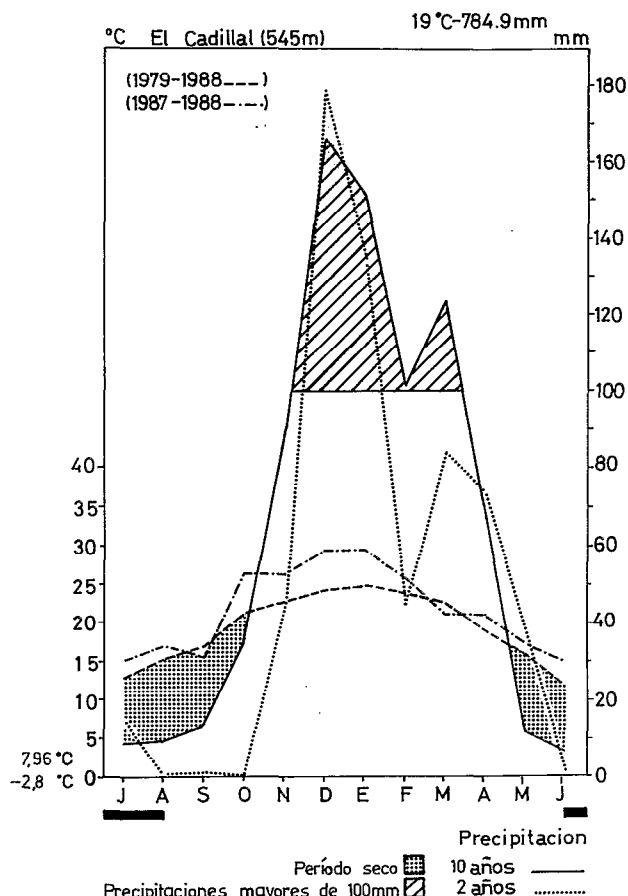


FIG. 2. — Diagrama climático de Walter.
Diagramme climatique de Walter.

tinguir el predominio del bosque caducifolio en la falda occidental, y perennifolio en las expuestas al S y SE. En las cumbres de la Sierra de Medina se extiende el bosque montano superior. Se debe destacar que el área que ocupa el embalse, no fue desmontada antes de su llenado al finalizar la obra en 1965.

CONDICIONES CLIMATICAS

El clima de El Cadillal (KÖPPEN, 1948) se encuentra incluído dentro del tipo C₂ r B₃ a, que corresponde a un clima subhúmedo-húmedo, con poca o ninguna deficiencia de agua, región térmica mesotermal y concentración estival inferior a 48 %.

El climodiagrama (1979-1988) (fig. 2) se confeccionó en base a datos cedidos por la EEAOC : preci-

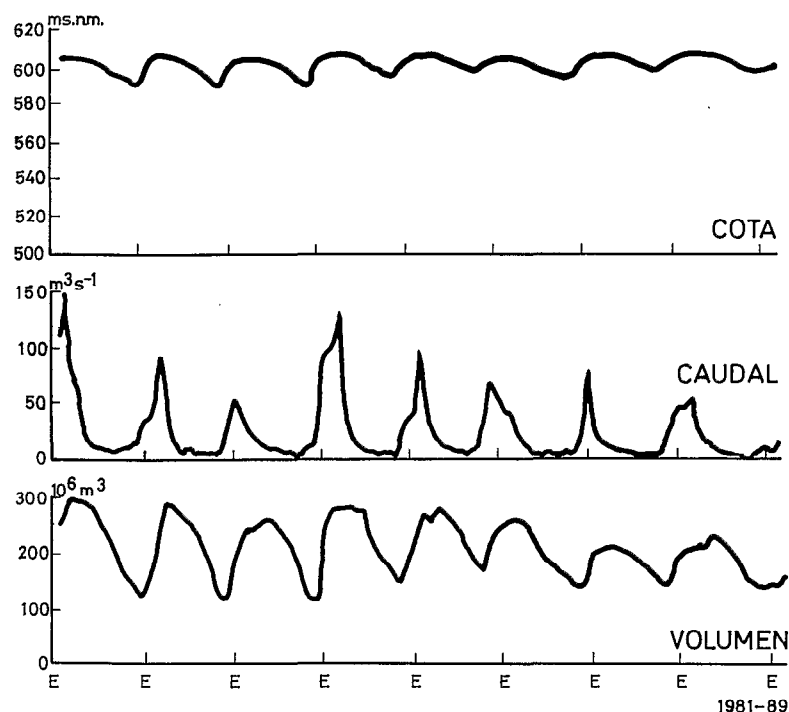


FIG. 3. — Variaciones temporales (1981-1989) del nivel, caudal y volumen del embalse El Cadillal.
 Variations (1981-1989) du niveau, débit d'eau et du volume de la retenue.

pitaciones, estación El Cadillal y temperatura, estación Capital. Se puede apreciar claramente el período seco, que se extiende desde fines de abril a principios de octubre. Las precipitaciones son abundantes en los meses de diciembre-enero y marzo con un descenso en el mes de febrero. El promedio de 55 años (1928-33; 36-43; 47-88) es de 911,3 mm y de 785 mm en el período 79-88. Se ha incluido en el diagrama una curva con valores (puntuales, mensuales) de temperatura tomados *in situ* y otra con los promedios mensuales de precipitación para los años 87-88 con una media anual de sólo 611,5 mm. En estos años se ha producido una prolongación en la duración del período seco sin precipitaciones en los meses de junio, agosto y octubre. Durante el período lluvioso, la máxima se registró en diciembre con 178,5 mm y la mínima en febrero con 43,5 mm.

CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

Los parámetros morfométricos que se detallan a continuación están referidos al año 1965 (año de finalización de obra) incluyendo la capacidad actual : a

611,5 m s.n.m. (máximo nivel del lago) la superficie del agua es de 1360 Ha y el volumen de $350 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ y 607,5 m s.n.m. (umbral del vertedero) de 1295 Ha y $302 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

A máximo nivel el desarrollo de la línea de costa es de 2,9, el perímetro 38 km, la profundidad máximo 50 m y la media 27,8 m.

HIDROLOGIA

El embalse El Cadillal se halla incluido en la cuenca hidrográfica del Río Salí o Grande. Este nace con el nombre de río Tala (límitrofe entre las provincias de Salta y Tucumán) y se llama Salí desde su confluencia con el río Candelaria. Al ingresar en la provincia de Santiago del Estero, toma el nombre de Río Dulce.

La cuenca imbrífera del Río Salí hasta El Cadillal, tiene una superficie de 4700 km^2 (C.F.I., 1962). El caudal medio (1981-88) es de $24,85 \text{ m}^3 \text{ seg.}^{-1}$ con una media mensual mínima, para el mismo período, de $1,90 \text{ m}^3 \text{ seg.}^{-1}$ (octubre 82) y una media mensual máxima de $146,84 \text{ m}^3 \text{ seg.}^{-1}$ (febrero 81).

COMPORTAMIENTO HIDROLOGICO

Se analizaron los datos de nivel hidrométrico, caudal y volumen correspondientes al periodo 1981-88, observándose que una de las características sobresalientes del embalse, está dada por una marcada variación del nivel de agua.

Al considerar el rango de variación anual del nivel hidrométrico, el valor promedio fue de $\bar{X} = 13,76$ m con un máximo de 18,8 metros (1981) y un mínimo de 10,51 metros (1987-88), este último correspondiente a los años de muestreo (fig. 3).

Los valores promedios anuales de volumen variaron entre un máximo de $241 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (1985) y un mínimo de $195 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (1987).

La relación entre el máximo nivel del lago y los volúmenes mínimos anuales, determinaron una reducción de hasta tres veces su volumen en noviembre del 81 y para el periodo de estudio, de 2,36 (nov. 87) y 2,35 (nov. 88). Se nota diferencia en los valores de volumen para el verano 87-88 respecto al 88-89. En el primer caso incrementó desde 182 (dic. 88) a $212,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (ene. 88) mientras que en el segundo periodo de 148,6 (dic. 88) a $154,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (ene. 89) (fig. 3).

Los caudales medios mensuales del Río Sali, afluente más importante del embalse, variaron entre un máximo de $146,9 \text{ m}^3 \text{ seg.}^{-1}$ (feb. 81) a un mínimo de $1,90 \text{ m}^3 \text{ seg.}^{-1}$ (oct. 82). En diciembre del 88 y enero del 89 disminuyeron en forma significativa con respecto a los mismos meses para los años 87-88, ya que, para los primeros se registraron caudales de 6,2 y $12,1 \text{ m}^3 \text{ seg.}^{-1}$ y para los últimos, de 26,3 y $45,7 \text{ m}^3 \text{ seg.}^{-1}$ (fig. 3). Esto estaría influenciado por el cambio de aporte de las precipitaciones para esa época, de 256 mm (dic. 87) a 101 mm (dic. 88), lo que implicó cambios importantes en los sólidos disueltos, suspendidos y en la transparencia.

La tasa de renovación media (bruta) varió entre un rango de 2,58 (1983) y 5,33 (1984) lo que indica algo más de 5 volúmenes por año.

SEDIMENTACIÓN EN EL EMBALSE

Relevamientos batimétricos realizados por A y EE durante 1988 permitieron determinar el volumen de sedimentos acumulados en 22 años y 4 meses (1966-1988) (ARENAS y CASANOVA, 1988).

Durante este periodo el volumen sedimentado fue de $61,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. De este total, $52,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ se depositaron por sobre la cota 562, es decir que hay un grado de colmatación de 20,26 % del volumen total ($302 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) y 17,96 % del volumen útil ($290,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$). Además se puede inferir que en el

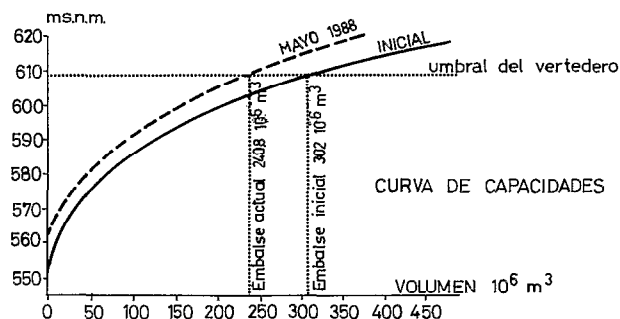


FIG. 4. — Curva de capacidades del embalse El Cadillal.
Courbe de capacité de la retenue.

espacio correspondiente al volumen muerto ($11,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) se han acumulado $9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ restando sin ocupar $2,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ o sea, el 21,7 % del mismo.

La tasa promedio de sedimentación es entonces $2,74 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$, considerablemente más alta en relación a otros antecedentes de embalses argentinos (DRAGO y DEPETRIS, 1974 (a), (b), 1975). El espesor medio referido a la superficie del embalse es de 4,73 m el cual representa un espesor medio anual de sedimentación de $21,1 \text{ cm año}^{-1}$ siempre suponiendo que el proceso haya tenido características lineales.

La figura 4 muestra las curvas de capacidades de 1966-1988, donde se aprecia la acumulación de sedimento en el embalse. La figura 5 indica la sedimentación ocurrida en los perfiles transversales entre 1966 y 1988.

SÓLIDOS DISUELTOS Y SUSPENDIDOS

Se realizaron muestreos puntuales para sólidos suspendidos y disueltos, conforme a una transecta longitudinal media N-S, en las costas este y oeste de las tres zonas y en la desembocadura de los tributarios (fig. 1).

La concentración de sólidos suspendidos (fig. 7) disminuye desde la zona 1 a la 3, debido a una sedimentación del material, evidenciado por una relación promedio (para los tres periodos en superficie) de 2,5 veces menor en la Olla que el valor de entrada y de 7,54 para profundidad (nov. 88). Sin embargo, en la estación 9 se detecta una mayor concentración que en la Olla debido probablemente a la succión de la Toma.

En los dos periodos de aguas bajas se nota una marcada diferencia en los valores de concentración. Los mínimos y máximos se dieron para las estaciones 8 y 3 respectivamente en los dos años. En noviembre

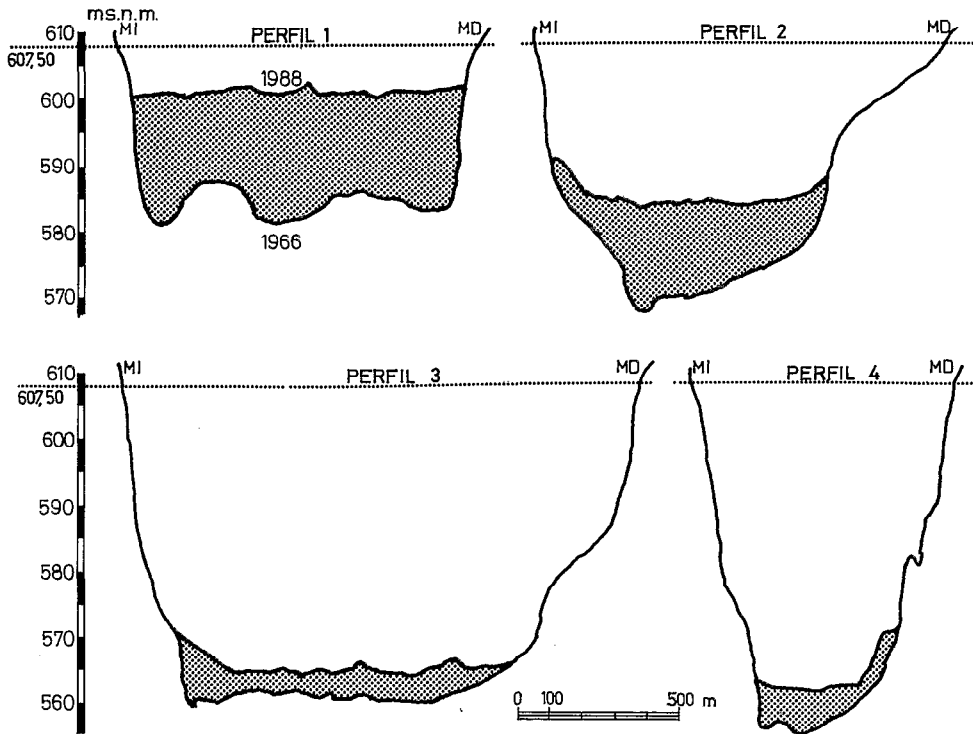


FIG. 5. — Perfiles transversales (1966-1988) en distintas zonas del embalse.
Profils transversaux (1966-1988) dans des différentes zones de la retenue.

del 87 fueron de 20 mg l^{-1} y para noviembre del 88 de 16 mg l^{-1} y 44 mg l^{-1} . Este desfase fue provocado posiblemente por los fuertes vientos, altas precipitaciones y aumento de caudal registrados en noviembre del 87, causando resuspensión del sedimento, diluciones importantes y arrastre. De esta manera las concentraciones para este período se asemejarían a las de marzo de 1988, culminación del período de aguas altas, con un valor mínimo de 18 mg l^{-1} (estación 5) y máximo de 69 mg l^{-1} (estación 2).

La figura 6 muestra las variaciones de concentración de sólidos suspendidos en la costa oeste del embalse para los distintos períodos de aguas altas y bajas (nov. 87, mar. 88 y nov. 88). Se aprecia un valor máximo en la zona 1 coincidente con la estación 1 de la transecta media del embalse (62 mg l^{-1}) disminuyendo hacia el Sur.

Las mayores concentraciones de sólidos suspendidos corresponden a la costa este (fig. 6) lo que se debería, al menos en el primer tramo del embalse, a la influencia del río Salí.

Los valores de sólidos suspendidos se incrementan en profundidad en la mayoría de las estaciones de

noviembre 88 (fig. 7), fluctuando entre máximos de 152 mg l^{-1} (costa este, zona 2) y 129 mg l^{-1} (estación 3, zona 2) y mínimo de $17,1 \text{ mg l}^{-1}$ (estación 8 zona 3).

El contenido de sales disueltas está relacionado en forma inversa con el caudal, por lo que es menor durante las crecientes (mar. 88) por el efecto de dilución. La mínima concentración para este período fue de 313 mg l^{-1} (estación 4) y la máxima de 344 mg l^{-1} (estación 6).

En noviembre 87, finalización del período de aguas bajas, la mayor concentración se dió en la estación 3 (391 mg l^{-1}) y la menor en la estación 8 (372 mg l^{-1}).

En noviembre 88, los valores fluctuaron entre $679\text{--}716 \text{ mg l}^{-1}$ (estación 6). Nuevamente se hace evidente, como para sólidos suspendidos, la influencia del aumento de caudal para el año 87 (fig. 7).

La figura 6 muestra las variaciones de concentración de sólidos disueltos en la costa este y oeste del embalse para los distintos períodos de aguas altas y bajas, observándose en las curvas una marcada dirección N-S.

Los valores de sólidos disueltos disminuyen con la profundidad, ésto se observa en todas las estaciones

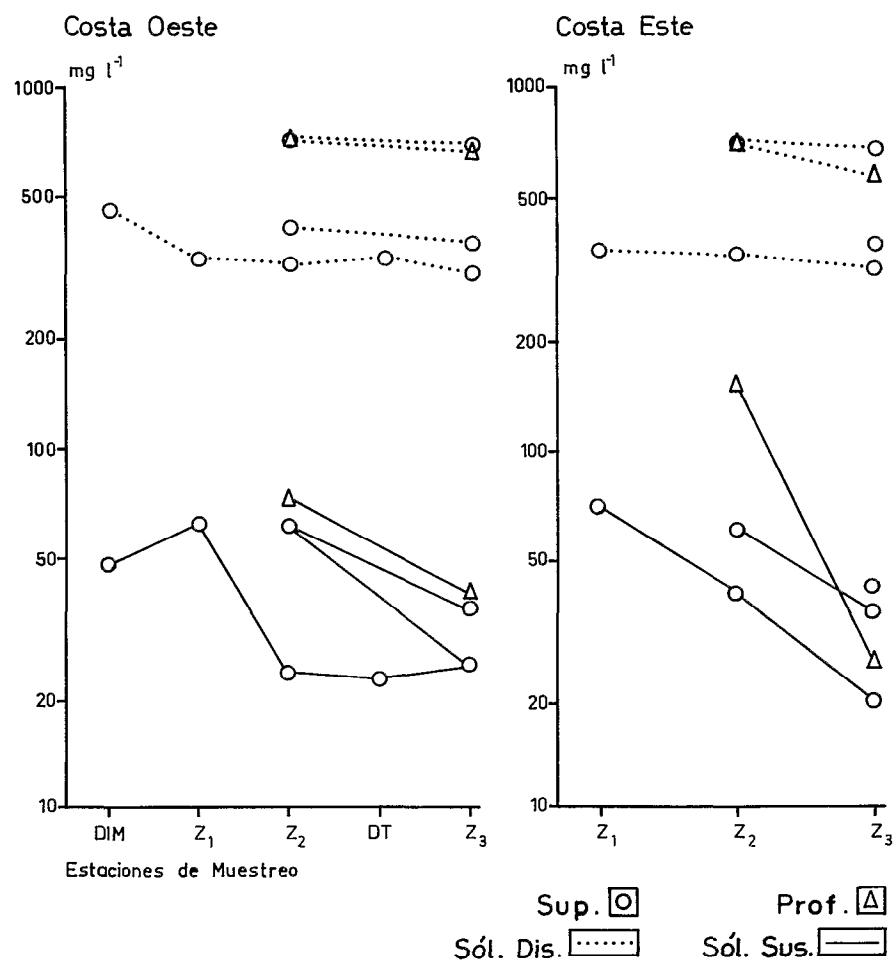


FIG. 6. — Sólidos suspendidos y disueltos : variaciones de concentración en las costas Este y Oeste del embalse en los períodos de aguas altas (IV-88) y bajas (XI-87, 88).

Matières dissoutes et en suspension : variations des concentrations près des berges est et ouest de la retenue ; période de crue (IV-88) et étiage (XI-87, 88).

de muestreo de noviembre 88 variando en la transecta media entre 591 y 709 mg l^{-1} , estación 6 y 3, respectivamente.

TRANSPARENCIA

La transparencia del embalse aumenta, desde la zona 1 a la 3 (fig. 8). Los factores determinantes de

las variaciones se deberían, en la Cola (zona 1) a la alta concentración de sólidos en suspensión y en la Olla (zona 3) al fitoplancton.

La zona 2, intermedia, se ve mayormente afectada por los sólidos en suspensión dado que recibe material alóctono de dos tributarios.

Las variaciones temporales presentan una correlación negativa con la creciente de los ríos y consecuente aumento de sólidos en suspensión, lo que se manifiesta aún más en el período estival.

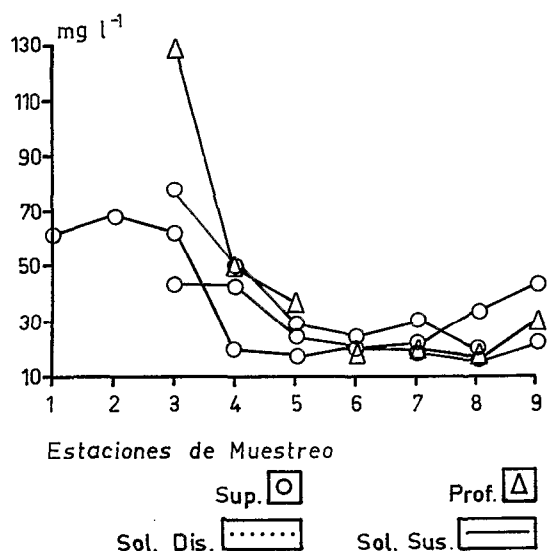
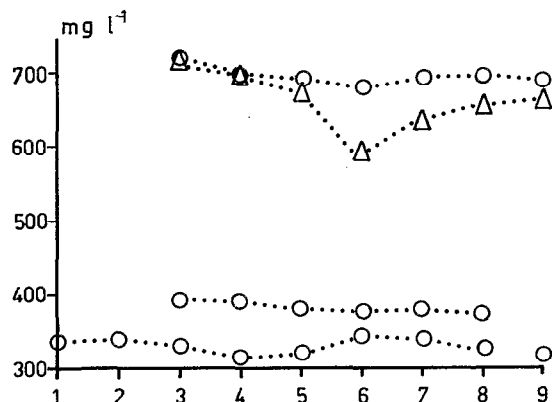


FIG. 7. — Sólidos suspendidos y disueltos: variaciones de concentración en el transecto medio del embalse en los períodos de aguas altas (IV-88) y bajas (XI-87, 88).

Matières dissoutes et en suspension: variations de concentrations dans l'axe de la retenue; période de crue (IV-88) et étiage (XI-87, 88).

CUADRO I

Relación transparencia (m)-Sólidos en suspensión (mg l^{-1})
Relation transparence (m)-matière en suspension (mg l^{-1})

Periodo de aguas	Altas (28/III/88)		Bajas (9/XI/87-22/XI/88)	
	Sol. Susp.	Secchi	Sol. Susp.	Secchi
Zona 1	62	0.25	-	-
Zona 2	63	0.31	65-44	0.17-0.33
Zona 3	22	0.42	31-19	0.35-0.46

Se consideraron los datos anuales de Secchi correspondientes a las costas E y O de las tres zonas, no pudiéndose estimar diferencias significativas entre ellas (cuadro I). También se trabajó con las lecturas estacionales de las mismas dando una diferencia significativa (prueba $t = 0,05$) sólo para verano, con valores de $X : 0,43$ para la costa E y $X : 0,96$ para la costa O. La causa probable de la misma podría atribuirse a la crecida del Río Salí cuyo cauce se extiende sobre la costa E.

Se calculó el índice de correlación entre sólidos en suspensión y transparencia, con un $r : -0,88$, un t altamente significativo y un $r^2 : 77\%$ ($n = 7$).

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

En base al comportamiento térmico determinado en la zona 3 (Olla), durante los 25 meses de mues-

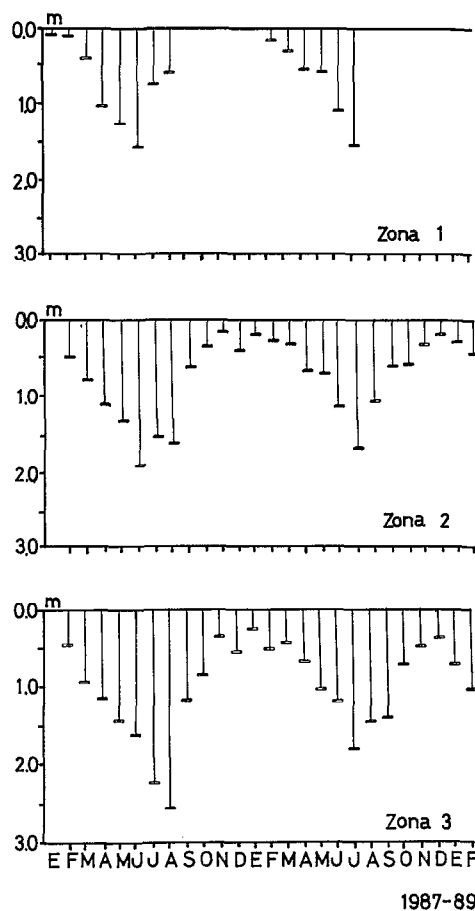


FIG. 8. — Transparencia: variaciones temporales de SECCHI. Transparence: variations saisonnières; mesures effectuées avec un disque de SECCHI.

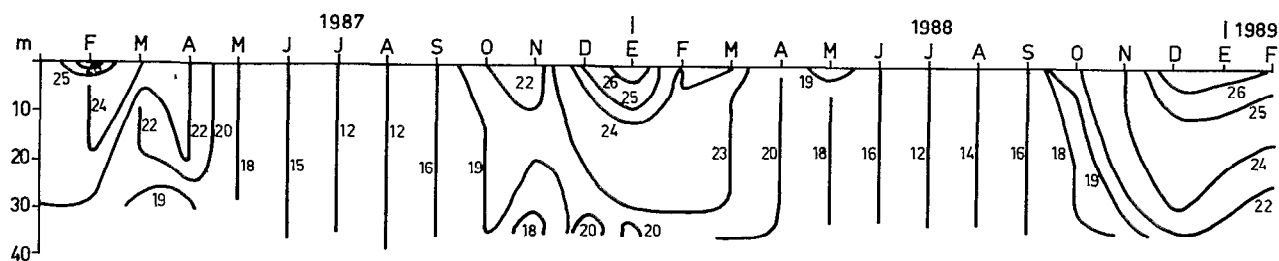


FIG. 9. — Perfiles térmicos : diagrama profundidad-tiempo de las isoterms (°C) en el embalse.
Diagramme profondeur-temps de la température de l'eau.

treo, se puede clasificar a El Cadillal como un lago monomítico cálido (HUTCHINSON, 1957), es decir presenta un sólo periodo de circulación anual relativamente largo (abril-setiembre), con temperaturas siempre superiores a los 4 °C, categoría a la que pertenecen la mayoría de los embalses del norte y centro argentino (BOLTOVSKOY y FOGGETTA, 1985).

La estratificación térmica se establece en el periodo de los meses cálidos (setiembre-abril). Los mayores gradientes de temperatura determinaron entre 5 y 15 metros (mar. 87) y entre 10 y 30 metros (feb. 89) lo que implicaría un metalimnión amplio (fig. 9).

Durante enero-febrero, se midieron las máximas temperaturas en las tres zonas con valores de 30 °C en la zona 1 en superficie, y 25 °C en aguas profundas (5 m) en la zona 2. Los valores mínimos se regis-

traron durante julio-agosto con 11,5 °C para superficie en la zona 1 y 10 °C en profundidad (9 m) en la zona 2.

La amplitud térmica entre superficie y profundidad fue máxima (6 °C) en noviembre de 1987 en la zona más profunda (Olla), coincidiendo con la estratificación, la cual luego disminuye hasta desaparecer en el mes de abril, donde comienza el periodo homotérmico (fig. 10).

Dadas las características regionales, con pocos cambios estacionales, se calcularon las temperaturas medias del embalse para verano (sup. : 24,3 °C; prof. : 21,7 °C) e invierno (sup. : 16,1 °C; prof. : 14,8 °C) notándose un conspicuo calentamiento superficial de las aguas de setiembre a octubre, con una diferencia de hasta 8 °C (fig. 9).

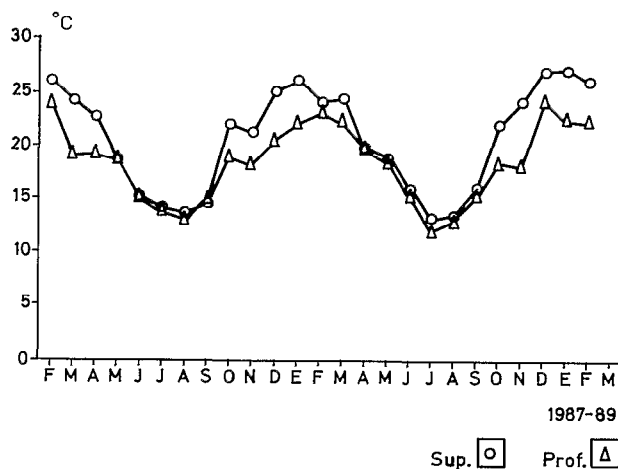


FIG. 10. — Variaciones térmicas : zona 3 (Olla) en superficie y profundidad registradas en días de muestreo.
Variations thermiques enregistrées en surface et en profondeur dans la zone 3 (Olla).

OXÍGENO DISUELTO

Los valores máximos de oxígeno disuelto del embalse se midieron en la zona 3 (ago. 88) durante los meses de invierno, con 8,65 mg l⁻¹ en superficie y 8,4 mg l⁻¹ en profundidad (45 m). También se detectó una marcada disminución hacia primavera y verano, la que coincide con el aumento de la temperatura del agua.

Los mínimos registrados corresponden al verano, con 5,6 mg l⁻¹ (feb. 89) en profundidad en la zona 2 y 1,86 mg l⁻¹ en profundidad en la zona 3 (feb. 89).

Durante el periodo invernal, cuando se produce una isoterminia en toda la columna de agua, el oxígeno presenta, entre superficie y fondo, una diferencia de sólo 0,25 mg l⁻¹.

En verano, durante la estratificación térmica, este valor se incrementa a 4,77 mg l⁻¹; para este periodo la curva de distribución del oxígeno disuelto sería de tipo clinograda.

De los valores de saturación calculados, usando el

CUADRO II

Oxígeno disuelto (mg l^{-1}) : valores promedio estacionales (X) y porcentajes de saturación (% S)
Oxygène dissous (mg l^{-1}) : moyennes saisonnières (X) et pourcentage de saturation (% S)

		Invierno		Primavera		Verano	
		X	% S.	X	% S.	X	% S.
Zona 1	sup.	8,4	88				
	prof.	8,39	85				
Zona 2	sup.	7,83	80	6,84	81	5,86	77
	prof.	8,38	82	6,76	81	5,6	76
Zona 3	sup.	8,65	89	7,33	88	6,66	90
	prof.	8,4	82	6,56	73	1,86	23

nomograma de MORTIMER (cuadro II) se deduce que no se registró sobresaturación de oxígeno en el embalse y se llegó a valores bastante bajos hasta un 23,5 %.

pH, DUREZA Y ALCALINIDAD

La concentración de iones hidrógeno osciló entre un pH de 7,3 (zona 3, ene. 88) a 8,28 (zona 1, abr. 87-zona 3, set., oct. 87) en superficie y 7,3 (zona 3, jul. 88) a 8,4 (zona 3, ene. 88) en profundidad. La media total para superficie fue de 7,97 (C.V. : 3,3 %) y para profundidad 7,95 (C.V. : 3,9 %), clara evidencia de la escasa variación estacional, como también del estrecho gradiente vertical.

Los valores registrados permiten afirmar que las aguas son «alcalinas», característica ocasionada, por la composición química de las rocas de la cuenca, las cuales presentan un predominio de bicarbonatos (fig. 11).

Los valores de dureza total (en mg l^{-1} de CO_3Ca) oscilaron entre 80 mg l^{-1} en la zona 1 superficie (ene. 87), y 260 mg l^{-1} en la zona 1 superficie (ago. 87), con un valor promedio de 183 mg l^{-1} .

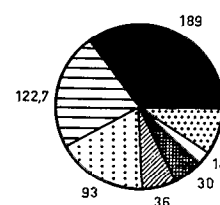
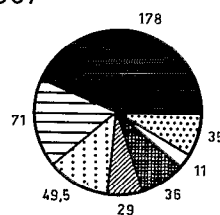
Las medias estacionales fueron máximas en invierno y primavera y mínimas en verano debido a la dilución producida por el aumento de volumen (1987 y 1988). No se observaron diferencias significativas entre los valores de superficie y profundidad. De acuerdo al rango registrado, las aguas del embalse son duras pero siempre dentro de los límites

aceptables de calidad para el consumo humano, protección de vida acuática, riego, etc.

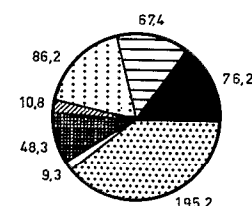
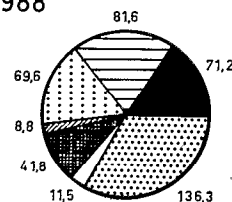
La dureza total de las aguas de El Cadillal, en comparación con otros embalses del país es alta debido al aporte de los tributarios India Muerta (1789-2536 mg l^{-1}) y Tapia (404-598 mg l^{-1}).

La alcalinidad en el embalse fluctuó entre 0,78 meq. l^{-1} zona 2 superficie (ene.-feb. 88) y 4,38 meq. l^{-1} zona 3 (nov. 88) en superficie. El valor promedio fue de 2,60 meq. l^{-1} . Al igual que la dureza, se observó homogeneidad vertical y una cierta estabilidad de los valores estacionales.

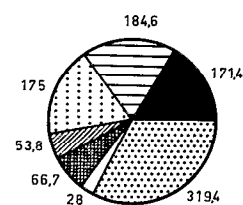
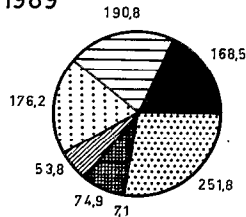
1987



1988



1989



SUPERFICIE

PROFUNDIDAD

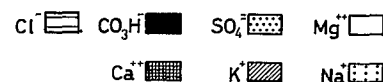


FIG. 11. — Relaciones iónicas (mg l^{-1}), en superficie y profundidad de la zona 3 : veranos 1987-1989.

Compositions ioniques exprimées en mg l^{-1} en surface et en profondeur de la zone 3 de 1987 à 1989.

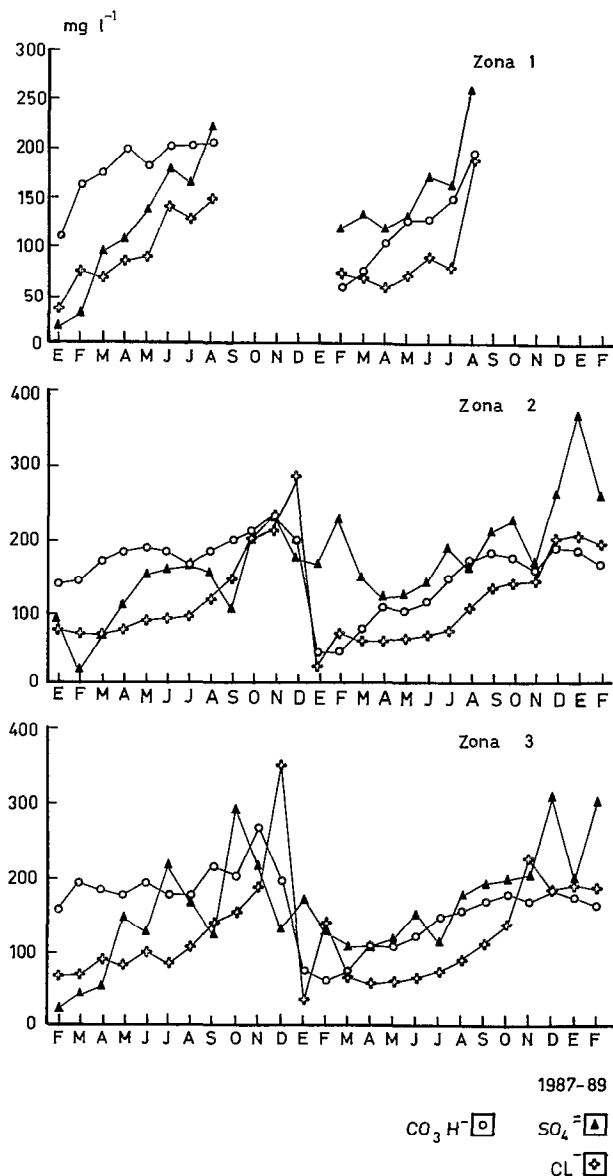


FIG. 12. — Variaciones temporales de los aniones en el embalse (1987-1989), en superficie y profundidad.
Variations des anions en surface et en profondeur de la retenue; période 1987-1989.

RELACIONES IÓNICAS

De acuerdo a la predominancia de iones se puede caracterizar a las aguas del embalse para 1987 como bicarbonatadas-sulfatadas-sódicas-cálcicas y para 1988 como sulfatadas-bicarbonatadas-sódicas-cálcicas (fig. 12). El incremento de los sulfatos podría

deberse a la marcada disminución de las precipitaciones en 1988 respecto a 1987, lo que les permitiría manifestarse *in situ* en contraste con un menor aporte de los bicarbonatos al embalse por parte de los tributarios. La distribución estacional de los aniones mostró variaciones en 1987 donde el orden cambió de bicarbonatos > cloruros > sulfatos para

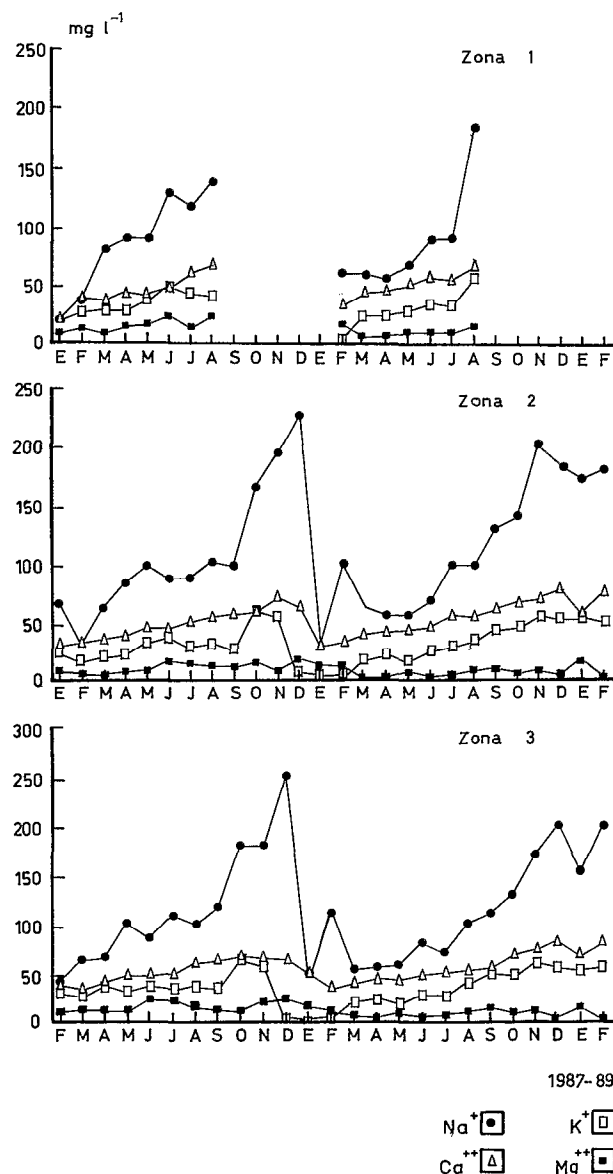


FIG. 13. — Variaciones temporales de los cationes en el embalse (1987-1989), en superficie y profundidad.
Variations des cations en surface et en profondeur de la retenue; période 1987-1989.

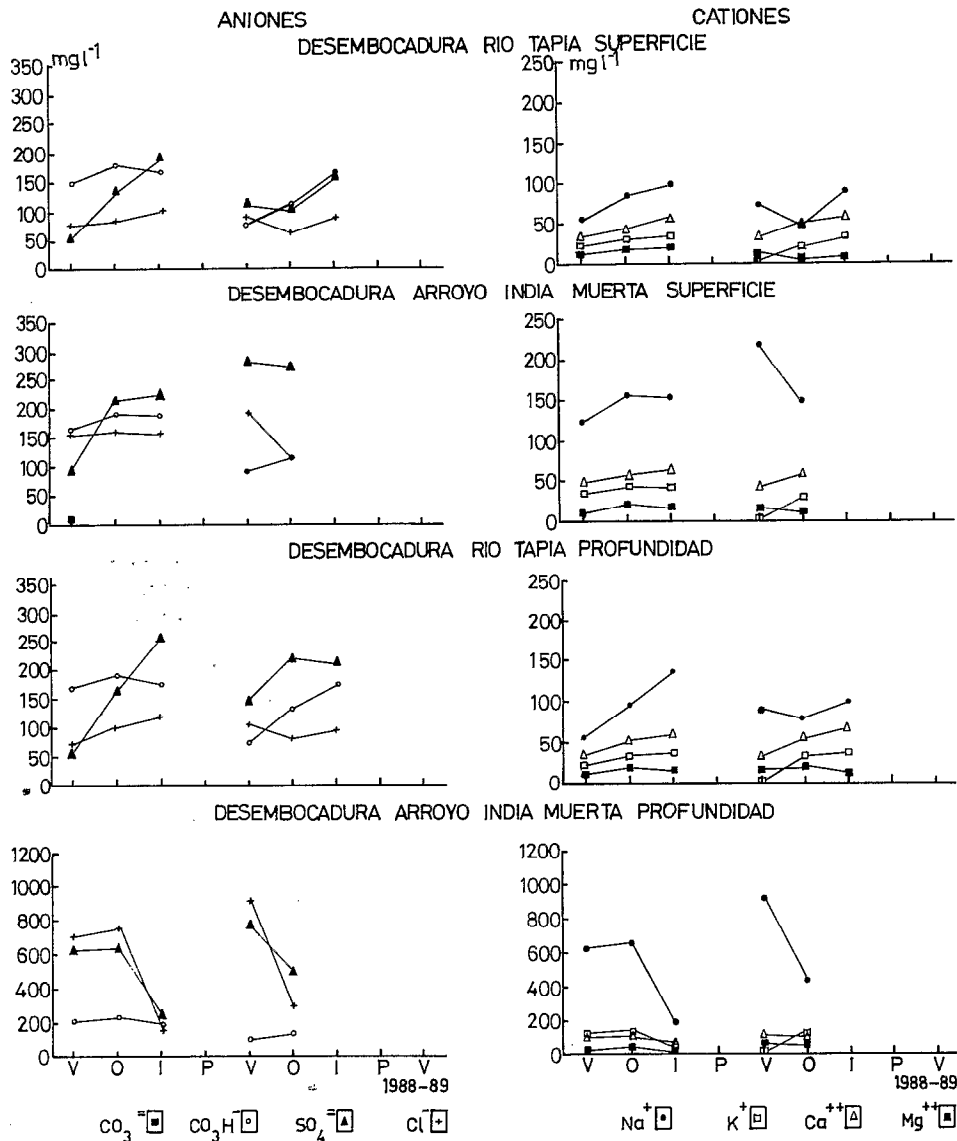


FIG. 14. — Variaciones estacionales de los aniones y cationes en las desembocaduras de los tributarios Arroyo India Muerta y Río Tapia (sin agua : primavera 87-88 y verano 89 ambas-desembocaduras; invierno 88 Arroyo I. Muerta).

Variations saisonnières des anions et cations dans les embouchures des tributaires Tapia et India Muerta. Les interruptions correspondent aux étiages.

el verano a sulfatos > bicarbonatos > cloruros o, sulfatos > cloruros > bicarbonatos para primavera del mismo año. En 1988 las relaciones aniónicas se matuvieron casi estables.

En los cationes, se registró la secuencia sodio > calcio > potasio > magnesio a excepción del verano donde el orden cambió a sodio > calcio > magnesio > potasio.

Los aniones en aguas superficiales (fig. 12), presen-

taron su máxima concentración en primavera con 267,8 mg l⁻¹ para bicarbonatos, 313,0 mg l⁻¹ para sulfatos y 355 mg l⁻¹ para cloruros. Las menores concentraciones se registraron en verano con 45,7 mg l⁻¹ para bicarbonatos, 19 mg l⁻¹ para sulfatos y 25 mg l⁻¹ para cloruros.

Con respecto a los cationes (fig. 13) el más abundante en casi todo el periodo de estudio fue el sodio, fluctuando entre 284 mg l⁻¹ a 25 mg l⁻¹. Le sigue en

importancia el calcio, cuyos valores oscilaron entre 82,4 mg l⁻¹ y 34 mg l⁻¹. Al tercer lugar lo ocupa el potasio, con valores que variaron entre 64,0 mg l⁻¹ y 1,17 mg l⁻¹. Por último, las fluctuaciones del magnesio fueron de 23,3 mg l⁻¹ a 1,2 mg l⁻¹.

En profundidad las concentraciones iónicas no manifestaron diferencias significativas respecto a las superficiales en los años 87-89.

Para evaluar los aportes del arroyo India Muerta y del Río Tapia que desaguan en el embalse propiamente dicho, se consideraron las relaciones iónicas estacionales en sus desembocaduras. En ambos casos, no hubo constancia en el orden de predominancia de los iones, pero, los mayores valores absolutos de cloruros, sulfatos y sodio se registraron en profundidad en la desembocadura del arroyo India Muerta.

Entre los cationes también se notan altos valores en profundidad. En superficie se observaron concentraciones iónicas notablemente menores a las de fondo e incluso a las limnéticas del embalse (fig. 14).

En la desembocadura del río Tapia se evidencian tenores de aniones y cationes comparativamente más bajos que los del embalse, aunque la caracterización general de sus aguas tuvo cierta coincidencia con las del mismo para 1987-89 (fig. 14).

Con respecto a los compuestos nitrogenados, los valores absolutos de los nitratos oscilaron entre un máximo en verano de 3,8 mg l⁻¹ en profundidad y un mínimo en primavera de 0,03 mg l⁻¹ en profundidad. No se observó una tendencia entre los tenores registrados en superficie y profundidad ni en las distintas zonas del embalse, pero se evidenció una variación temporal con una marcada disminución de hasta 8,24 veces desde el invierno a primavera, para volver a aumentar en verano en una proporción de hasta 10,2 veces.

Los nitritos fluctuaron entre un máximo de 1 mg l⁻¹ (invierno) en superficie hasta su ausencia en profundidad (primavera) en la misma zona. A diferencia de los nitratos, se observa un ligero aumento de invierno a primavera con una disminución poco marcada en verano.

El amonio estuvo presente en tenores bajos, inferiores a 0,05 mg l⁻¹ llegando a 0,10 mg l⁻¹ (invierno).

Las relaciones porcentuales entre estos tres compuestos se mantuvieron estables en invierno 88 y verano 89, con alta proporción de nitratos en superficie y profundidad y muy bajos valores de amonio en el fondo, lo que nos permite inferir que el embalse no posee ni aún en los periodos de estratificación, medios anóxicos con alta descomposición, típicos de lagos con elevado grado de eutrofia.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica, indicadora indirecta de la carga sólida soluble, alcanzó valores altos respecto a otros estudios realizados en embalses argentinos (BONETTO, *et al.* [1976], LAND DE CASTELLO [1981], MENÚ-MARQUE, *et al.* [1983], SUELDO, *et al.* [1986], entre otros).

Las lecturas oscilaron entre los siguientes valores máximos y mínimos para superficie y profundidad respectivamente : de 1 396 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 324 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y de 1 500 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 400 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

La distribución vertical mostró mayores valores en profundidad. También se observaron cambios temporales, con mínimos en verano, aumentando gradualmente hacia el invierno y máximos en primavera. Los altos valores producidos en el verano 89, fueron probablemente debido al periodo atípico de sequía (fig. 15).

Se estimaron correlaciones negativas altamente significativas con el caudal, nivel hidrométrico y volumen y positivas con todos los iones, especialmente con el sodio y el cloro. En la zona 1 (cola) la correlación fue significativa con los iones mayores; en la zona 2 no se dio con el magnesio y en la zona 3 tampoco con el magnesio, bicarbonato y potasio.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De la consideración de los aspectos geográficos y físico-químicos mencionados precedentemente surgen las siguientes conclusiones :

— El embalse El Cadillal es subrectangular alargado y tiene orientación N-S, coincidente con la frecuencia de los vientos dominantes. Está emplazado sobre rocas sedimentarias continentales del Terciario Superior. Es de superficie moderada (1 295 Ha.) y embalsa, a cota máxima (607,5 m) 302,10⁶ m³ una profundidad media de 27,8 m.

El clima de la zona corresponde al tipo subhúmedo-húmedo, con promedio de precipitación anual de 784,9 mm (1987-88), concentrados en diciembre-enero.

— Las marcadas variaciones del comportamiento hidrológico anual determinaron volúmenes mínimos en primavera y máximas en verano-otoño. El retraso de la temporada estival lluviosa en el período 88-89 causó muy bajos niveles de agua.

— Desde el punto de vista térmico, se puede caracterizar al embalse como lago de tipo monomítico cálido, con un marcado aumento de temperatura de las aguas superficiales de setiembre a octubre.

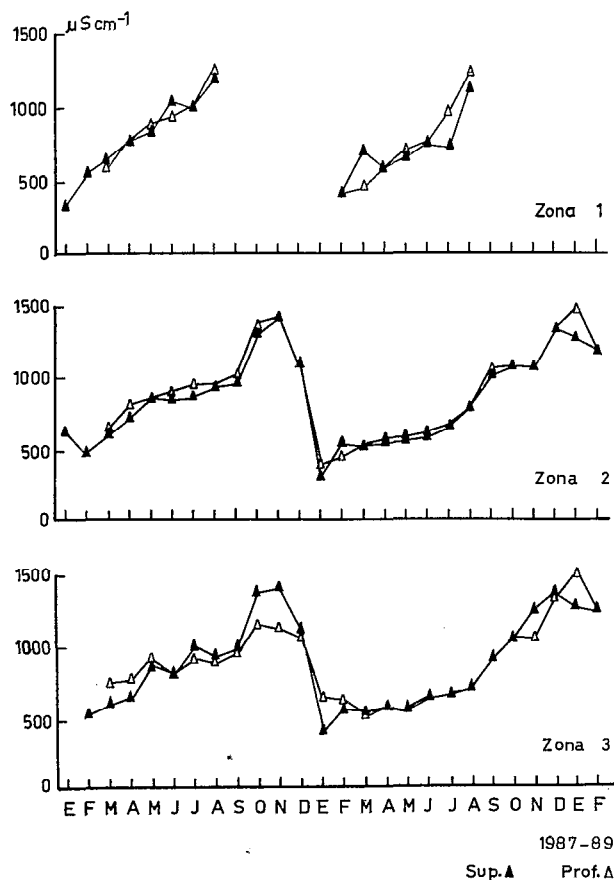


FIG. 15. — Conductividad eléctrica : variaciones temporales en el embalse, en superficie y profundidad.
Variations dans la retenue de la conductivité en surface et en profondeur.

— Estudios sobre el volumen de los sedimentos acumulados entre 1967 y 88, estiman que el embalse presenta una colmatación del 20,26 % del volumen total y 17,96 % del volumen útil, con una alta tasa promedio de sedimentación de $2,74 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ (ARENAS y CASANOVA, 1988).

La concentración de sólidos suspendidos disminuye desde la zona 1 a la 3 en una relación promedio de 2,5 y 7,4 veces menor en la olla que en la cola para superficie y profundidad respectivamente. Los altos valores de los sedimentos suspendidos en la estación 3 (fig. 1) se deber a los aportes de los ríos Sali y Vipos que generan fracciones más gruesas que se desplazan por el fondo (corrientes de turbidez).

La transparencia se correlaciona negativamente con los sólidos suspendidos, siendo importante destacar los bajos valores de la variable con promedios de 0,7-1 m para las tres zonas.

— El oxígeno disuelto presentó valores de porcentajes de saturación superiores al 73 % sin llegar a la sobresaturación a excepción de un 23 % en profundidad (dic. 88, zona 3). Se observaron cambios temporales con registros que disminuyeron de invierno a verano, con una curva probablemente de tipo clino-grada.

Las aguas son alcalinas con un pH de entre 7,3-8,4 y una alcalinidad media de $2,60 \text{ meq.l}^{-1}$.

El valor promedio de dureza fue de 183 mg.l^{-1} y se encuentra dentro de los límites aceptables de las normas de calidad de agua.

— Según la predominancia de iones se puede caracterizar a las aguas del embalse para 1987 como bicarbonatadas (28,8 %), sulfatadas (20,9 %), sódicas (16,3 %), cálcicas (7,6 %) y para 1988 como sulfatadas (28,9 %), bicarbonatadas (21,8 %), sódicas (16,4 %), cálcicas (9,1 %). No se observaron diferencias significativas entre las concentraciones iónicas de superficie y profundidad.

Los mayores valores absolutos de los iones considerados fueron registrados en las aguas profundas de la desembocadura del Ao. India Muerta.

Las relaciones porcentuales de nitratos, nitritos y amonio se mantuvieron estables en invierno y verano con elevada proporción de nitratos y bajos valores de amonio.

En base a la suma de los aniones y cationes las concentraciones salinas variaron entre $229,5 \text{ mg.l}^{-1}$ en ene. 87, zona 1 superficie y $1046,4 \text{ mg.l}^{-1}$ en dic. 87, zona 2 profundidad.

Al comparar datos de conductividad y residuo salino de otros ambientes argentinos similares ($R = 51-480 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$; $R = 21-112 \text{ mg.l}^{-1}$) respecto a los valores registrados en el embalse El Cadillal, se infiere que para este último estas variables son considerablemente más altas ($R = 324-1500 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$; $R = 215-1005 \text{ mg.l}^{-1}$).

— El análisis estadístico de las variables permite determinar que la mayor variación dentro de los parámetros físicos se registró en el caudal (C.V. : 96,9 %), el cual incidió en la transparencia (C.V. : 73,8 %, zona 1) y la profundidad (C.V. : 52,35 %, zona 2). Este último parámetro, además, estaría probablemente influenciado por la irregularidad del relieve de la zona. Con respecto a las variables químicas el pH resultó ser el más estable con un coeficiente de variación menor que el 5 % en las tres zonas siguiéndole los iones calcio y bicarbonatos (cuadro III).

— Del análisis de las matrices de correlación de las distintas zonas en superficie y profundidad se puede inferir que el volumen se correlaciona negativamente con la conductividad y los iones, lo que implica un marcado efecto de dilución con excepción de la zona 1 superficie donde afecta solamente al

CUADRO III

Datos estadísticos de las variables físico-químicas del embalse (X = media; CV = coeficiente de variaciones)
Données statistiques des variables physico-chimiques (X = moyenne; CV = coefficient de variation)

Variables	ZONA 1 (COLA)				ZONA 2				ZONA 3 (OLLA)			
	Superf.		Prof.		Superf.		Prof.		Superf.		Prof.	
	(n = 15)		(n = 12)		(n = 24)		(n = 23)		(n = 25)		(n = 24)	
	X	C.V.%	X	C.V.%	X	C.V.%	X	C.V.%	X	C.V.%	X	C.V.%
Temperat. (°C)	18,8	30	16,2	26	19,9	23	18,8	25	20,5	24	18,7	24
Transparencia (m)	0,65	74	-	-	0,75	69	-	-	1,01	59	-	-
Profundidad (m)	-	-	4,0	36	-	-	8,1	52	-	-	37,2	18
pH	7,9	3,5	7,8	4,5	8,0	2,9	7,9	4,9	8,0	3,0	7,9	3,9
Conduct. (μScm^{-1})	752,7	33	916,6	32	889,5	34	943,0	34	874,7	35	878,2	29
Res. Sal. (mg l^{-1})	504,0	31	556,7	30	604,9	32	643,5	31	598,4	33	600,2	28
HCO_3^- (mg l^{-1})	151,1	32	164,3	29	156,5	31	164,3	28	162,4	30	154,9	27
Cl^- (mg l^{-1})	93,1	44	106,2	42	121,9	53	130,7	49	124,5	57	119,9	47
SO_4^{2-} (mg l^{-1})	136,1	46	157,0	33	178,2	35	176,8	42	162,8	46	167,9	45
Na^+ (mg l^{-1})	87,3	48	100,4	44	114,6	43	121,6	44	112,9	50	110,7	35
K^+ (mg l^{-1})	31,1	40	32,9	40	34,5	49	35,5	48	35,2	49	34,2	45
Ca^{++} (mg l^{-1})	46,3	28	51,7	24	54,9	24	56,9	23	55,1	25	52,3	23
Mg^{++} (mg l^{-1})	12,2	45	14,0	43	12,4	41	13,8	68	11,9	48	13,3	71

magnesio y en profundidad al bicarbonato y al sodio. Este hecho se debe posiblemente a la escasa profundidad de la cola, la cual no se ve influenciada por las variaciones del volumen como ocurre en las otras dos zonas. La transparencia se encuentra afectada por las variaciones de este último sólo en la zona 2.

Las fluctuaciones del pH se correlacionan positivamente con las del bicarbonato en las zonas 1 y 3 en superficie, observándose además en la zona 1 la influencia del potasio.

La conductividad se encuentra en general afectada por todos los iones y en especial por el cloro, sodio y calcio. El magnesio en la zona 1 superficie y en la 3 profundidad influye también sobre ella.

El residuo salino al estar fuertemente correlacionado con la conductividad recibe un efecto similar de los iones.

Los cuadros IV-V de correlación de la zona 3 reflejan el comportamiento general de las variables del embalse.

CUADRO IV

Matriz de correlación zona 3 : superficie
Matrice de corrélation zone 3 : surface

	Vol.	Transp.	pH	Cond.	Res.sal.	CO_3H^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}
Volumen	1,00											
Transp.	0,23	1,00										
pH	-0,12	0,09	1,00									
Cond.	-0,88*	0,07	0,24	1,00								
Res. sal.	-0,87*	-0,13	0,22	0,92*	1,00							
CO_3H^-	-0,58*	0,21	0,41*	0,74*	-0,70*	1,00						
Cl^-	-0,72*	-0,29	0,13	0,73*	0,83*	0,45*	1,00					
SO_4^{2-}	-0,75*	-0,03	0,09	0,72*	0,68*	0,25	0,42*	1,00				
Na^+	-0,83*	-0,20	0,12	0,86*	0,92*	0,51*	0,92*	0,70*	1,00			
K^+	-0,72*	0,09	0,30	0,78*	0,59*	0,63*	0,28	0,63*	0,47*	1,00		
Ca^{++}	-0,91*	-0,12	-0,05	0,85*	0,78*	0,46*	0,67*	0,84*	0,82*	0,70*	1,00	
Mg^{++}	-0,10	0,21	0,07	0,20	0,35	0,43*	0,26	-0,06	0,17	-0,14	-0,09	1,00

Valores de significancia del coeficiente de correlación (r) : * $p < 0,05$.

CUADRO V

Matriz de correlación zona 3 : profundidad
Matrice de corrélation zone 3 : profondeur

	Profund.	Temp.	Vol.	pH	Cond.	Res.sal.	CO ₃ H ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Profund.	1,00												
Temp.	-0,18	1,00											
Vol.	0,68*	-0,27	1,00										
pH	0,16	-0,13	0,10	1,00									
Cond.	-0,66*	0,32	-0,90*	-0,11	1,00								
Res.sal.	-0,76*	0,31	-0,85*	0,01	0,91*	1,00							
CO ₃ H ⁻	-0,36	-0,20	-0,45*	-0,01	0,56*	0,53*	1,00						
Cl ⁻	-0,64*	0,31	-0,78*	-0,33	0,79*	0,83*	0,50*	1,00					
SO ₄ ⁼	-0,34	0,31	-0,48*	0,20	0,56*	0,51*	-0,14	0,15	1,00				
Na ⁺	-0,69*	0,32	-0,87*	-0,04	0,89*	0,95*	0,44*	0,84*	0,55*	1,00			
K ⁺	-0,35	0,03	-0,66*	0,06	0,71*	0,50*	0,50*	0,32	0,43*	0,50*	1,00		
Ca ⁺⁺	-0,40	0,29	-0,54*	-0,37	0,46*	0,39	0,28	0,45*	0,27	0,46*	0,20	1,00	
Mg ⁺⁺	-0,31	0,00	-0,33	0,19	0,58*	0,60*	0,35	0,38	0,56*	0,48*	0,25	-0,07	1,00

Valores de significancia del coeficiente de correlacion (r) : *p<0,05.

— Los análisis de los sedimentos de fondo revelan una asociación de minerales de arcillas : Clorita, Illita y Beidellita.

La Clorita y la Illita son muy comunes en rocas pelíticas y en la matriz de las grauvacas del Basamento metamórfico en las sierras del oeste de Tucumán. Por otra parte la Beidellita proviene de cuerpos de meláfros que se encuentran en el sustrato del embalse y es además arrastrada por los tributarios que recorren afloramientos de sedimentos terciarios, donde son comunes las Tobas.

— En referencia a los objetivos para los que fuera creado el embalse, se puede concluir que el agua es químicamente potable y apta para riego.

En base a las variables físico-químicas estudiadas

se incluiría a este cuerpo de agua en una etapa de madurez intermedia entre una oligotrofia-eutrofia.

Estas conclusiones serán corroboradas con el análisis planctónico e ictiológico con especial referencia a la diversidad específica y biomasa.

AGRADECIMIENTOS

Manifestamos nuestro agradecimiento al personal científico y técnico del Instituto Nacional de Limnología, Santo Tomé, Santa Fé Argentina por su apoyo incondicional. A la Lic. Adriana Aquino y a los señores Carlos RIVIÈRE y Ricardo FERNÁNDEZ por su colaboración en el trabajo de campaña y al Sr. Miguel ALMAZÁN por su participación en la etapa de finalización de las láminas.

REFERENCIAS

- A.P.H.A, 1971. — *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, 13th ed. American Public Health Association, New York, 874 p.
- ARENAS (B.) y CASANOVA (R.), 1988. — Estudios de colmatación Embalse «El Cadillal». Informe Agua y Energía Eléctrica, Tucumán, Argentina : 1-5.
- BONETTO (A.), DI PERSIA (D.), MAGLIANESI (R.), CORIGLIANO (M. del C.), 1976. — Caracteres limnológicos de algunos lagos eutróficos de embalse de la región central de Argentina. *Ecosur* 3 (5) : 47-120.
- BOLTOVSKOY (A.), FOGGETTA (M.), 1985. — Limnología física del embalse río III (Térmica, hidrología y derivaciones biológicas). *Biol. Acuát.*, 7 : 1-26.
- BOSSI (G.), 1969. — Geología y estratigrafía del sector sur del valle de Choromoro. *Act. Geol. Lill.* X (2) dos partes (texto y atlas).
- Consejo Federal de Inversiones (C.F.I.), 1962. — Recursos Hidráulicos superficiales. *Serie Evaluación de los Recursos Naturales de la Argentina (Primera etapa)* 4 (2) : 467-879.

- DIAZ RUEDA (O.), 1988. — Plan de estudios integrados de la cuenca río Salí-Dulce. Comité de cuenca Ríos Salí-Dulce, I : 401 p. II : planillas y planos.
- DRAGO (E.C.) y DEPETRIS (P.J.), 1974a. — Contribución al conocimiento morfométrico y sedimentológico del embalse río III (Córdoba). *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 5 : 29-31.
- DRAGO (E.C.) y DEPETRIS (P.J.), 1974b. — Sedimentación en el embalse San Roque (Córdoba, Argentina). *Rev. de la Asoc. Arg. de Mineralogía, Petrología y Sedimentología*, 5 (3-4) : 59-62.
- DRAGO (E.C.) y DEPETRIS (P.J.), 1975. — Sedimentación en el embalse los Molinos (Córdoba, Argentina). *Physis. Secc. B* 34 : 175-178.
- DRAGO (E.C.) y QUIRÓS (R.), 1985. — Relaciones entre variables físicas, morfométricas y climáticas en lagos patagónicos. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 16 (2) : 181-189.
- HUTCHINSON (G.E.), 1957. — A Treatise on Limnology. I. Geography, Physics and Chemistry. John Wiley & Sons. N.Y., 1016 p.
- Instituto de Arquitectura y Planeamiento, 1967. — El Cadilal. Estudio de los recursos turísticos y recreativos. Facultad de Arquitectura y Urbanismo U.N.T. — Gobierno de la Provincia de Tucumán. 44 p., 6 mapas.
- KÖPPEN (W.), 1948. — Climatología. Fondo de la Cultura Económica. 478 p. Buenos Aires.
- LAND DE CASTELLO (H.), 1981. — Algunos aspectos limnológicos abióticos de las cuencas de los ríos Limay y Neuquén, con especial referencia al embalse Ramos Mexía. *Ecosur*, 8 (16) : 1-27.
- MENÚ-MARQUE (S.A.), FERNÁNDEZ (H.F.), MIGUEL DE GONZÁLEZ (M.B.), 1983. — Estudio limnológico del embalse La Florida-San Luis. Dirección Nacional de Pesca Continental y Subsecretaría de Estado de Asuntos Agrarios (San Luis). 15 p., 20 fig.
- MORTIMER (C.H.), 1957. — The oxygen of air-saturated fresh waters, and aids in calculating percentage. *Mill. Int. Ver. Limnol.*, 6 : 20.
- PERERA (C.H.), RODRIGUEZ VAQUERO (H.), GRAIEB (O.J.), CASTELLANO (R.R.) y LUJÁN (J.C.), 1985. — Envejecimiento por colmatación, eutrofización-distrofización del embalse de río Hondo. Superior Gobierno de la Provincia de Santiago del Estero. 55 p.
- SUELDO (C.) y QUINTEROS (J.O.), 1986. — Estudio limnológico de los embalses de la provincia de Salta : Presa General Manuel Belgrano. Universidad Nacional de Salta. Consejo de Investigación : 5-26.
- VERVOORST (F.B.), 1981. — Mapa de las comunidades vegetales de la Prov. de Tucumán. En LAURENT (R.F.) y TERÁN (E.M.), 1982. Lista de los anfibios y reptiles de la provincia de Tucumán. *Miscelanea*, 71 : 8-9.