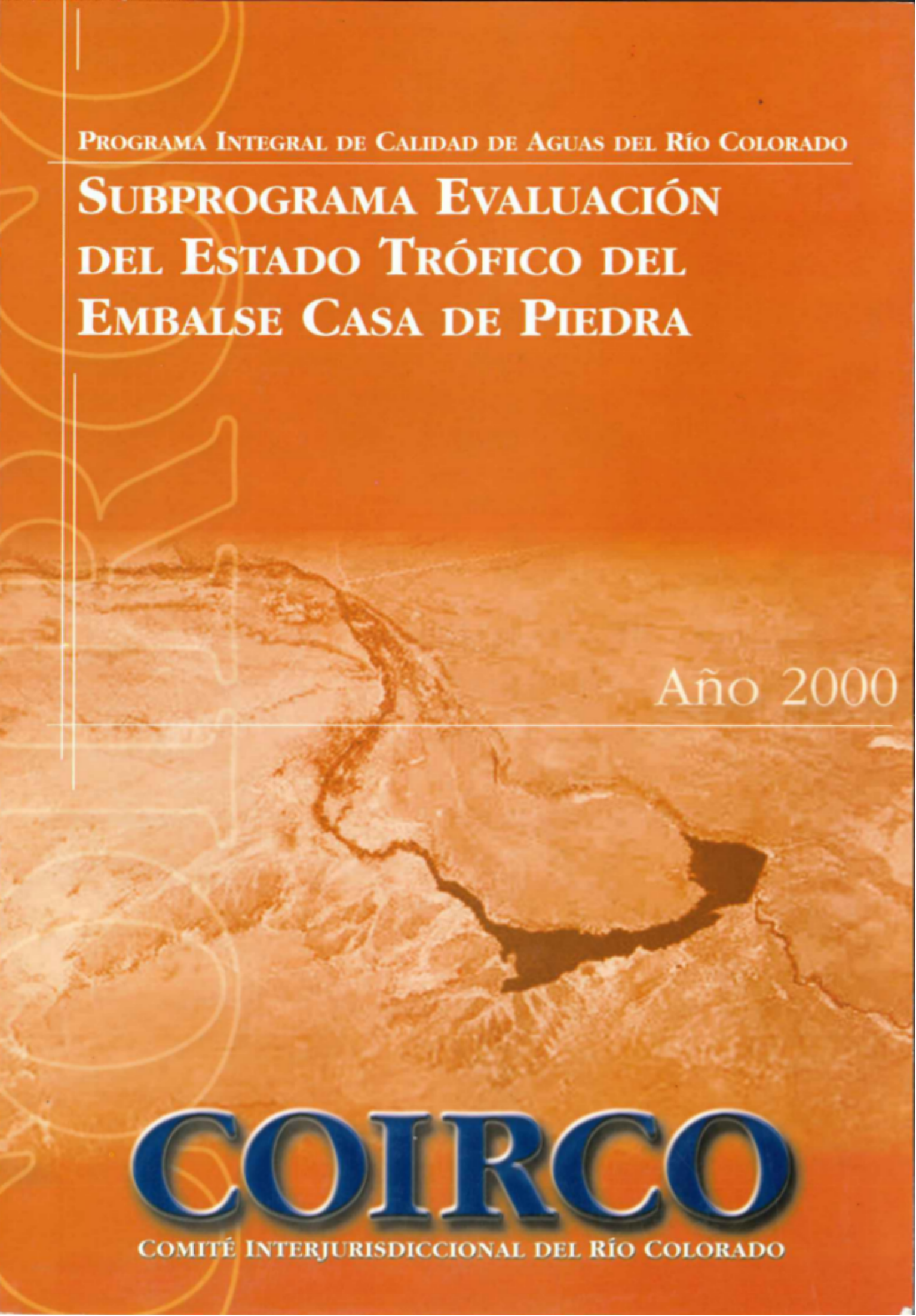
PROGRAMA INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUAS DEL RÍO COLORADO

SUBPROGRAMA EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DEL EMBALSE CASA DE PIEDRA



Año 2000

COIRCO

COMITÉ INTERJURISDICCIONAL DEL RÍO COLORADO

Evaluación del Estado Trófico del Embalse Casa de Piedra

año 2000

Aprobada su ejecución por el Comité Ejecutivo del COIRCO, que integran las Provincias de Buenos Aires, La Pampa, Mendoza, Neuquén y Río Negro, y la Nación, en su reunión de fecha 3 de diciembre de 1999 (Acta Nº 449), y financiada por las Provincias propietarias de la Presa Embalse Casa de Piedra, Buenos Aires, La Pampa y Río Negro y la Nación.

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado

COIRCO

Cuenca del Río Colorado

Ubicación geográfica y vistas de la Presa y Embalse Casa de Piedra

TABLA DE CONTENIDOS

I. Introducción 1
II. Area de estudio 2
II.1. Características morfométricas del embalse Casa de Piedra e hidrológicas del Río Colorado 3
II.2. Datos de la cuenca 3
II.3. Estaciones de muestreo y frecuencia 5
II.4. Parámetros medidos 6
II.5. Metodología de muestreo y preservación de las muestras 7
II.6. Metodologías analíticas 8
III. Características físico-químicas del agua del embalse 9
IV. Evaluación del estado trófico 12
IV. 1 Parámetros indicadores del estado trófico del embalse 12
IV. 2 Categorización trófica del embalse Casa de Piedra 17
IV. 3 Fitoplancton 17
IV. 4. Investigación del origen de la coloración de las aguas 19
V. Predicción de la evolución de estado trófico del embalse 24
V.1. Cargas de nutrientes 24
V.1.a Aportes del río Colorado 24
V.1.b. Aporte atmosférico 27
V.1.c. Carga interna 29
V.1.d. Cargas totales de nutrientes al embalse desde diferentes fuentes 31
V.2. Exportación de Fósforo total (PT) por el río Colorado 32
V.3. Aplicación de modelos predictivos 33
VI. Conclusiones 35
VII.Recomendaciones 36
Referencias 37

I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio tuvo por objeto efectuar un diagnóstico preliminar del estado trófico del embalse Casa de Piedra y evaluar la aplicabilidad de modelos predictivos de la evolución de dicho estado en función de las cargas de nutrientes que recibe desde diferentes fuentes.

La gestión de la calidad del agua del embalse es de fundamental importancia para asegurar sus usos en el futuro, tanto en dicho cuerpo hídrico como aguas abajo del mismo, e involucra el manejo de las distintas fuentes de nutrientes en la cuenca que lo alimenta.

La actividad agrícolo-ganadera y las descargas urbanas presentes en el área incrementan las cargas de nutrientes ingresantes que, por ser altamente biodisponibles, pueden acelerar procesos de eutroficación en el embalse.

El conocimiento de la dinámica de los nutrientes en la cuenca, en particular los de origen antrópico, y su comportamiento y efectos en el embalse, es necesario para un adecuado manejo de las fuentes, tendiente a atenuar sus efectos en la evolución del estado trófico de dicho cuerpo de agua.

Con ese propósito, el Comité Interjurisdiccional del Río Colorado había iniciado en 1992 una serie de análisis de muestras de agua del embalse, emprendiendo en 1997 una evaluación preliminar de las cargas de nutrientes de origen antrópico al embalse (Alcalde et al., 1997) y en el curso del año 2000 puso en marcha un programa que tuvo por objeto evaluar otras fuentes de nutrientes (río Colorado y atmosférica) y hacer una primera estimación de la potencialidad de los sedimentos de fondo para actuar como carga interna. Además, se proyectó llevar a cabo mediciones sistemáticas de parámetros indicadores con el fin de efectuar un diagnóstico del estado trófico presente y ensayar la aplicabilidad de modelos predictivos de su evolución futura.

II. AREA DE ESTUDIO

El área bajo estudio estuvo comprendida entre el último tramo del río Colorado antes del embalse Casa de Piedra (altura Pasarela Medanito), el embalse mismo y el río Colorado en la descarga del embalse (Fig 1).

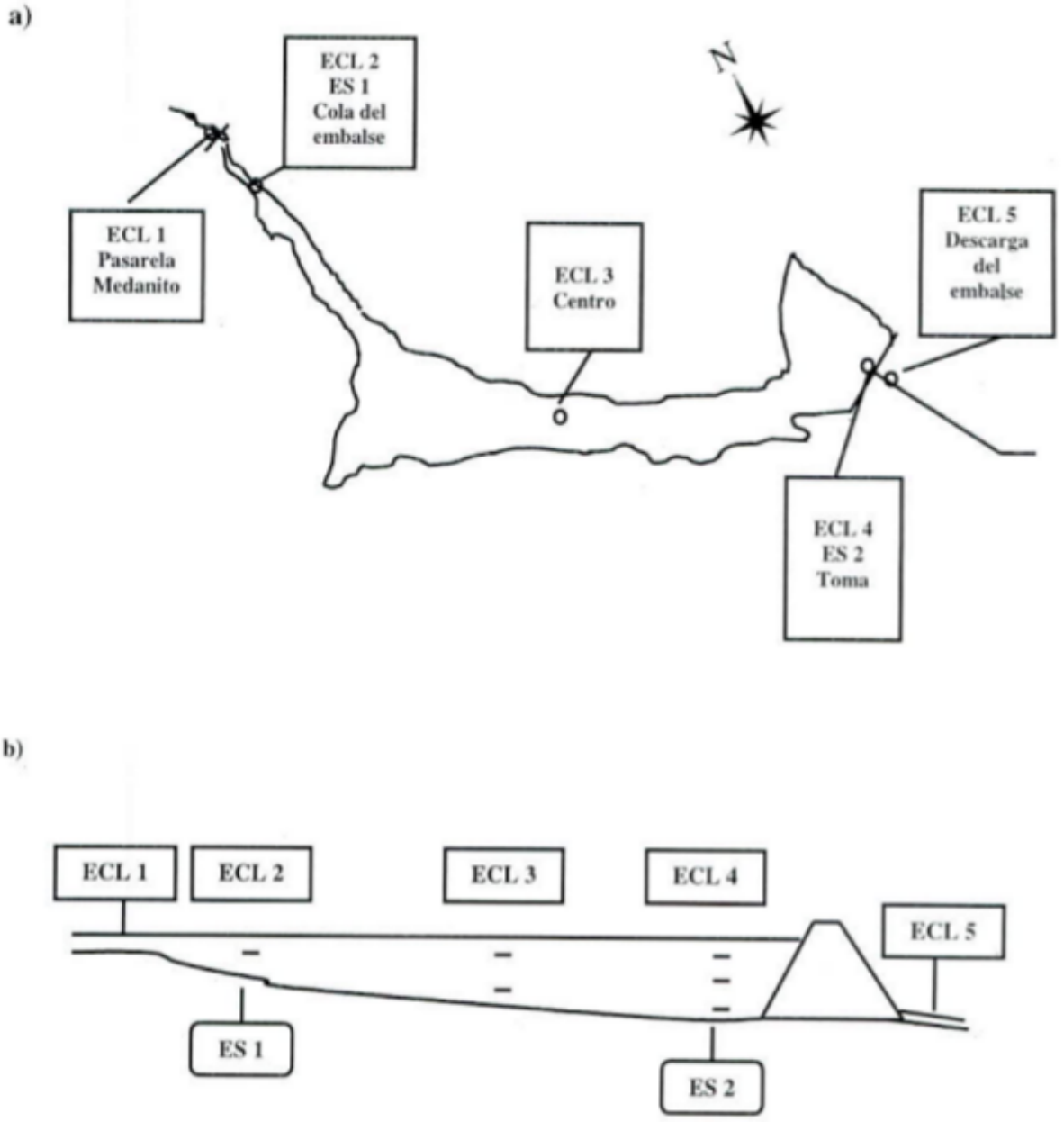


Fig. 1 – Estaciones de muestreo de agua (ECL) y sedimentos (ES) en el embalse Casa de Piedra y en el río Colorado aguas arriba y aguas abajo del embalse. a) planimetría; b) perfil longitudinal

II.1 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DEL EMBALSE CASA DE PIEDRA E HIDROLÓGICAS DEL RÍO COLORADO

En la Tabla 1 figuran las características morfométricas e hidrológicas del embalse Casa de Piedra, que corresponden a la situación observada durante el período comprendido entre el 1º de enero y el 31 de diciembre del año 2000.

Tabla 1. Características morfométricas e hidrológicas del embalse Casa de Piedra

Superficie (km^2)	202
Volumen (hm^3)	2.062
Profundidad media (m)	10,2
Tiempo de residencia del agua (año)	0,5

La Tabla 2 muestra las características hidrológicas del río Colorado.

Tabla 2. Características hidrológicas del río Colorado en la estación de aforo Buta Ranquil

Caudal medio anual histórico (m^3/s)	147
Caudal medio anual en el período de estudio (m^3/s)	145
Derrame anual en el periodo de estudio (hm^3)	4.573

II.2 DATOS DE LA CUENCA

La superficie de la cuenca de aporte al río Colorado aguas arriba del embalse Casa de Piedra es de 19.300 km^2.

Los registros de la estación meteorológica ubicada a la altura del dique del embalse Casa de Piedra indicaron que la temperatura máxima correspondió al mes de enero (37,3 °C), mientras que la mínima se produjo en el mes de julio (-5,4 °C). La precipitación pluvial en el área del embalse correspondiente al año 2000 fue de 355,2 mm en la localidad de Catriel y de 428,4 mm en la Presa Embalse Casa de Piedra.

La Tabla 3 muestra los asentamientos poblacionales en las áreas ribereñas del río Colorado, aguas arriba del embalse Casa de Piedra.

Tabla 3. Asentamientos poblacionales en las márgenes del río Colorado aguas arriba del embalse Casa de Piedra

Localidad	Habitantes	Sistema cloacal
Rincón de los Sauces	14.000	no
25 de Mayo	11.000	si
Catriel	15.000	si
Total	**40.000**	

La superficie cultivada en la actualidad aguas arriba del embalse Casa de Piedra es de alrededor del 16 % de la superficie potencialmente regable (Tabla 4).

Tabla 4. Areas bajo riego y potencialmente regables aguas arriba del embalse Casa de Piedra

Provincia	Area bajo riego actual (ha)	Area potencialmente regable (ha)
La Pampa	7.215	50.000
Neuquén	180	7.000
Río Negro	5.353	24.300
Total	**12.748**	**81.300**

La Pampa: El Sauzal y 25 de Mayo; Neuquén: Rincón de Los Sauces, Rincón Colorado y Octavio Pico; Río Negro: Valle Verde, Peñas Blancas y Catriel.

Tabla 5. Registro de lluvias en el área de estudio (año 2000)

Mes	Lluvias (mm)		
	Catriel	25 de Mayo	Casa de Piedra
Enero	55,5	32,7	59,4
Febrero	17,0	60,5	73,0
Marzo	8,5	39	28,8
Abril	16,2	21,4	2,6
Mayo	89,5	93,1	92,8
Junio	19,5	12,5	10,6
Julio	24,5	17	20,0
Agosto	32,0	30	-
Setiembre	15,5	15,3	27,4
Octubre	62,5	52	81,6
Noviembre	12,0	17,4	32,2
Diciembre	2,5	2	-
Total	**355,2**	**392,9**	**428,4**

II.3. ESTACIONES DE MUESTREO Y FRECUENCIAS

En el área bajo estudio se establecieron cinco estaciones (Fig. 1a), dos situadas en el río, aguas arriba y aguas abajo del embalse y tres en el interior del mismo (Fig. 1a). La ubicación geográfica de los sitios elegidos para los muestreos fue posicionada mediante GPS (Tabla 6)

Tabla 6. Ubicación de las estaciones de muestreo

Estación N°	Sitio	Coordenadas
CL 1	Pasarela Medanito	S 38° 01,575 W 67° 52,740
CL 2	Cola Embalse	S 38° 09,422 W 67° 40,050
CL 3	Centro del Embalse	S 38° 14,986 W 67° 33,353
CL 4	Toma del Embalse	S 38° 12,658 W 67° 11,585
CL 5	Descarga del Embalse	S 38° 12,915 W 67° 11,060

En las estaciones antes mencionadas se efectuaron muestreos de columna líquida (CL 1 a CL 5) y de sedimentos de fondo (estaciones S 1 y S 2) (Fig. 1b).

Las estaciones dentro del embalse fueron ubicadas en la cola, en el centro y en la toma. En la estación del centro del embalse se obtuvieron muestras en dos niveles (superior

y fondo) y en la toma en tres niveles (superior, medio y fondo) y en las restantes estaciones se obtuvo una muestra en cada una de ellas (Fig. 1b)

En la columna líquida se llevaron a cabo muestreos con una frecuencia bimestral, mientras que los sedimentos de fondo fueron muestreados en una sola oportunidad.

En la estación CL 3 se hicieron muestreos destinados a investigar el origen de la coloración de las aguas del embalse.

Además, fueron instalados colectores de precipitación atmosférica en proximidades de la toma del embalse, los cuales fueron retirados con frecuencia bimestral.

II. 4. PARÁMETROS MEDIDOS

En la columna de agua se llevaron a cabo mediciones *in situ* mediante un medidor multiparámetro *Hydrolab Minisonde Surveyor 4®* y muestreos para análisis en laboratorio.

Los parámetros medidos *in situ* fueron: pH, temperatura ambiente, temperatura del agua, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y transparencia (disco de Secchi). Las mediciones de transparencia se llevaron a cabo en las estaciones CL 2, CL 3 y CL 4. En las estaciones CL 3 y CL 4 se efectuaron perfiles de temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, conductividad eléctrica y pH.

En el laboratorio se llevaron a cabo determinaciones de fósforo total (PT), nitrógeno total (NT), nitrógeno de nitrato ($N\text{-}NO_3^-$), nitrógeno de nitrito ($N\text{-}NO_2^-$), nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH_4^+$), clorofila ***a***, sílice y sólidos suspendidos totales (SST). Las determinaciones de clorofila ***a*** fueron llevadas a cabo sólo en las estaciones CL2, CL3, CL4 y CL5. En muestras obtenidas en la estación CL 3 – superior se efectuaron determinaciones cuantitativas de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) disueltos y determinaciones cualitativas de dichos elementos en los sólidos suspendidos. En esta estación se determinó también la densidad de fitoplancton con identificación de especies.

En las muestras de agua de lluvia obtenidas mediante los colectores de precipitación construidos como se ha indicado en Pedrozo *et al.* 1997a, se llevaron a cabo mediciones *in situ* de volumen colectado, temperatura, pH y conductividad y en el laboratorio determinaciones de PT y NT.

En los sedimentos de fondo extraídos en las estaciones S-1 y S-2 (igual localización que las estaciones de columna líquida CL 2 y CL 4), se llevó a cabo la determinación del fraccionamiento del fósforo y de la composición textural.

II. 5. METODOLOGÍA DE MUESTREO Y PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

En cada una de las estaciones de muestreo se obtuvieron muestras de agua para la determinación de nutrientes, SST y clorofila *a*.

Para la determinación de nutrientes se extrajeron muestras de 1 L de agua, fueron envasadas en recipientes de plástico sometidos a limpieza manteniéndolos sumergidos durante 12 hs. en solución de ácido clorhídrico, grado analítico, al 5% y posterior enjuague con agua desionizada. Las muestras para análisis de nutrientes fueron obtenidas manualmente en las estaciones de río y en las superficiales y mediante una botella de Van Dorn para las extracciones en profundidad. Para la determinación de SST se extrajeron manualmente muestras de 2 L de agua, envasándose en bidones de polietileno lavados con el procedimiento general de limpieza (lavado con detergente, enjuague con agua corriente, enjuague con agua destilada).

Para la determinación de clorofila *a* se filtraron de 2 a 3 L de agua a través de filtro de membrana GF/C Whatman.

Para la investigación del origen del color de las aguas se extrajeron dos tipos de muestras: una de 2 L fijada con solución Lugol-acético para la determinación de densidad de fitoplancton e identificación de especies y otra de 2 L para la investigación cuali y cuantitativa de calcio y magnesio. Ambos tipos de muestras fueron envasadas en recipientes de polietileno previamente sometidos al procedimiento general de limpieza.

Las muestras de sedimentos de fondo de las estaciones S 1 y S 2 fueron obtenidas mediante draga tipo Eckman. En cada una de las estaciones se obtuvieron aproximadamente 4 kg de sedimentos, siendo envasados en bolsas de polietileno previamente sometidas al mismo procedimiento de limpieza que las botellas destinadas a las muestras para análisis de nutrientes.

Todas las muestras fueron preservadas en campo, refrigeradas a temperatura inferior a 4 °C y enviadas inmediatamente al laboratorio en idénticas condiciones. Las muestras líquidas para el análisis de nutrientes fueron congeladas a –18 °C y remitidas al laboratorio en esas condiciones.

II. 6. METODOLOGÍAS ANALÍTICAS

Las diferentes determinaciones analíticas fueron llevadas a cabo en el Laboratorio del Grupo de Estudios de Calidad de Aguas y Recursos Acuáticos del Centro Regional Universitario Bariloche de la Universidad Nacional del Comahue (CRUB).

Las determinaciones de PT se llevaron a cabo sobre la muestra sin filtrar mediante la oxidación ácida con persulfato de potasio y valoración del fósforo como fósforo reactivo soluble por reducción del complejo fosfomolíbdico y lectura espectrofotométrica (APHA, 1992). El NT fue determinado por medio de oxidación básica y posterior reducción del nitrato a nitrito en columna de cadmio (Mackereth *et al.* 1978; Grasshoff et al. 1983).

$N\text{-}NO_3^-$ + $N\text{-}NO_2^-$ se determinó por reducción a nitrito en columna de cadmio y diazotización (APHA, 1992); $N\text{-}NO_2^-$ por formación del complejo azoico (APHA, 1992); $N\text{-}NO_3^-$ fue determinado por diferencia. $N\text{-}NH_4^+$ fue analizado por el método del fenato (APHA, 1992).

El contenido de sílice fue determinado por el método estándar 4500-Si (APHA 1992) del azul de heteropoly modificado para adaptarlo a un rango de concentración de sílice más alto. La modificación consistió en disminuir la sensibilidad del método por eliminación del bisulfito de sodio como reductor (Universidad de Columbia, CRUB).

El Ca^{2+} y el Mg^{2+} fueron analizados mediante complexometría con EDTA y EGTA respectivamente (APHA, 1992).

Los SST fueron medidos por el método gravimétrico (APHA, 1992).

La clorofila ***a*** y feopigmentos fueron analizados mediante extracción con acetona al 90% y medición espectrofotométrica, empleando para el cálculo las ecuaciones propuestas APHA (1992).

El fraccionamiento de fósforo se llevó a cabo mediante el método propuesto por Hieltjes y Lijklena (1980). La textura se determinó por el método del densímetro (Ingram, 1971); (Galehouse, 1971). El carbono se cuantificó volumétricamente después de una digestión con agua oxigenada al 30 % y ácido sulfúrico concentrado (Carter, 1993).

III. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA DEL EMBALSE

La Tabla 7 muestra los valores medios registrados para los distintos parámetros medidos durante el período de estudio (año 2000) en el embalse Casa de Piedra y en el río Colorado aguas arriba y aguas abajo del embalse.

Tabla 7. Parámetros físico-químicos e indicadores de estado trófico en el embalse Casa de Piedra y en el río Colorado aguas arriba y aguas abajo (año 2000)

Parámetro	ECL 1	ECL 2	ECL 3	ECL 4	ECL 5
PH	8,1	8,2	8,3	8,3	8,2
Conductividad (µS/cm)	1066,5	1099,7	1020,4	1042,8	1051,3
Temperatura (°C)	8,7-19,5	7,0-21,3	6,1-21,2	7,4-22,5	7,1-21,5
Oxígeno disuelto (mg/L)	-	9,0 (s)	9,0 (s)	8,9 (s)	-
Oxígeno disuelto (mg/L)	-	-	-	8,5 (m)	-
Oxígeno disuelto (mg/L)	-	-	8,5 (f)	8,2 (f)	-
Disco de Secchi (m)	-	0,15	1,21	2,76	-
SST (mg/L)	86,8-1762,5	26,8-426,8	< LC	< LC	< LC
Fósforo Total (µg/L)	881,3	339,5	29,8	20,4	24,0
Nitrógeno Total (µg/L)	1094,9	654,1	116,4	369,7	103,6
$N\text{-}NO_3^-$ (µg/L)	38,3	25,7	12,0	0,7	2,1
$N\text{-}NO_2^-$ (µg/L)	1,6	1,5	1,2	0,7	1,1
$N\text{-}NH_4^+$ (µg/L)	9,9	2,9	4,5	4,3	7,3
Sílice (mg/L)	17,6	17,9	16,5	15,4	15,5
Clorofila *a*	-	0,70	1,90	1,25	1,88

Los valores de temperatura y SST corresponden al rango registrado en cada estación en el período de estudio, los restantes son valores medios del período. En las estaciones CL3 – CL4 los valores son promedios anuales en el perfil vertical, a excepción del oxígeno disuelto para el cual se muestran las concentraciones en cada nivel. (s): superficie; (m) medio; (f): fondo. LC = 20,6 mg/L.

Perfiles térmicos y de oxígeno disuelto

De acuerdo con los perfiles térmicos realizados en las estaciones CL 3 (centro) y CL 4 (toma), en el período febrero-noviembre de 2000 no se observó estratificación en el embalse Casa de Piedra. En las mediciones realizadas el mes de noviembre en la estación CL 4, se registró una inflexión en el perfil de temperatura entre los 19,5 m y los 24 m de profundidad, determinado por una disminución de la temperatura de 16,81 a 14,51 °C (Fig. 2), llegando en el fondo a 12,67 °C. Esta variación fue acompañada por un cambio similar en el perfil del oxígeno disuelto expresado como porcentaje de saturación (Fig. 3).

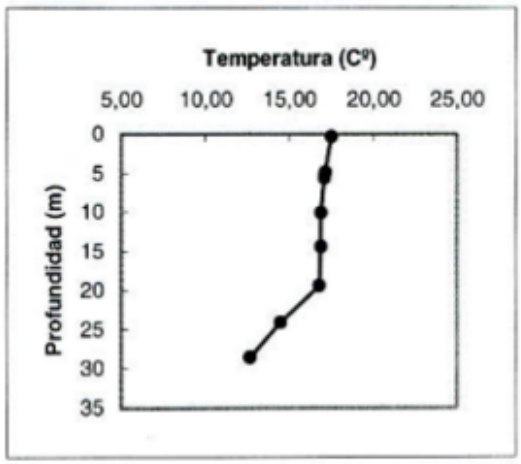


Fig. 2 – Perfil térmico registrado en la estación CL 4 en el mes de noviembre

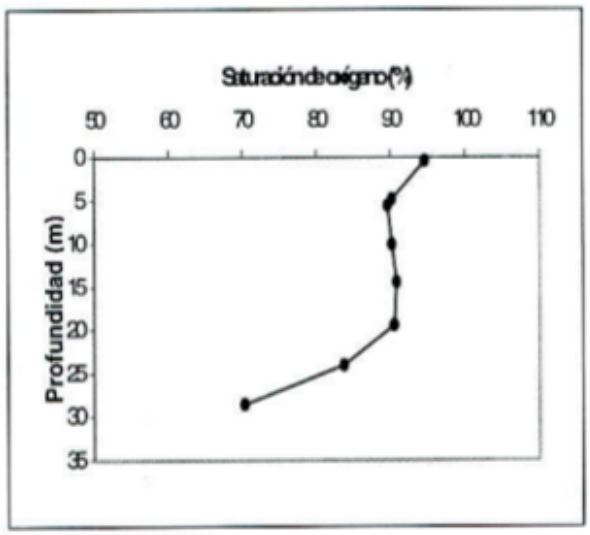


Fig. 3 – Perfil del oxígeno disuelto expresado como % de saturación en la estación CL 4 registrado en el mes de noviembre.

En la estación CL 3, donde la profundidad total es menor, se observó un cambio similar en el perfil térmico (Fig. 4) y en el del porcentaje de saturación de oxígeno (Fig. 5) pero más moderado.

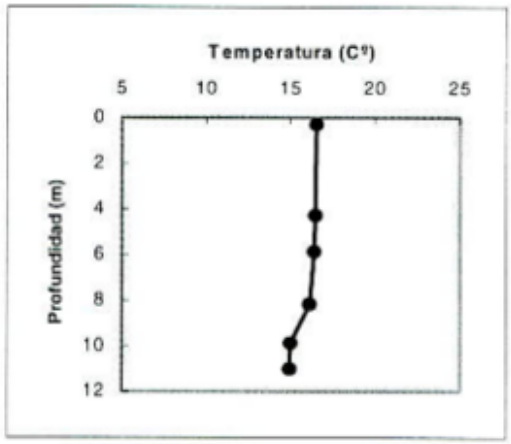


Fig. 4 – Perfil térmico en la estación CL 3 registrado en el mes de noviembre.

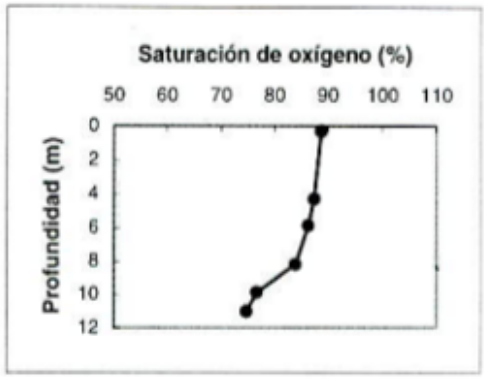


Fig. 5 - Perfil del oxígeno disuelto expresado como % de saturación en la estación CL 3 registrado en el mes de noviembre.

IV. EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO

IV. 1 PARÁMETROS INDICADORES DEL ESTADO TRÓFICO DEL EMBALSE

La tabla 8 muestra los valores medios de los indicadores de estado trófico (fósforo total, transparencia y clorofila *a*) en las estaciones CL 3 (centro del embalse) y CL 4 (toma del embalse) y el promedio general de ambas

Tabla 8. Valores medios de fósforo total, clorofila *a* y transparencia en el embalse

Sitio	Fósforo total (µg/L)	Clorofila *a* (mg/m^3)	Transparencia (m)
ECL 3	29,8	1,91	1,21
ECL 4	20,4	1,25	2,76
Promedio	**25,1**	**1,6**	**1,99**

La variación hallada en las estaciones de muestreo localizadas en el sentido del eje mayor del embalse, para los indicadores de estado trófico y SST, expresados como promedios anuales para el período de estudio, se muestra en las figuras 6 a, b, c y d.

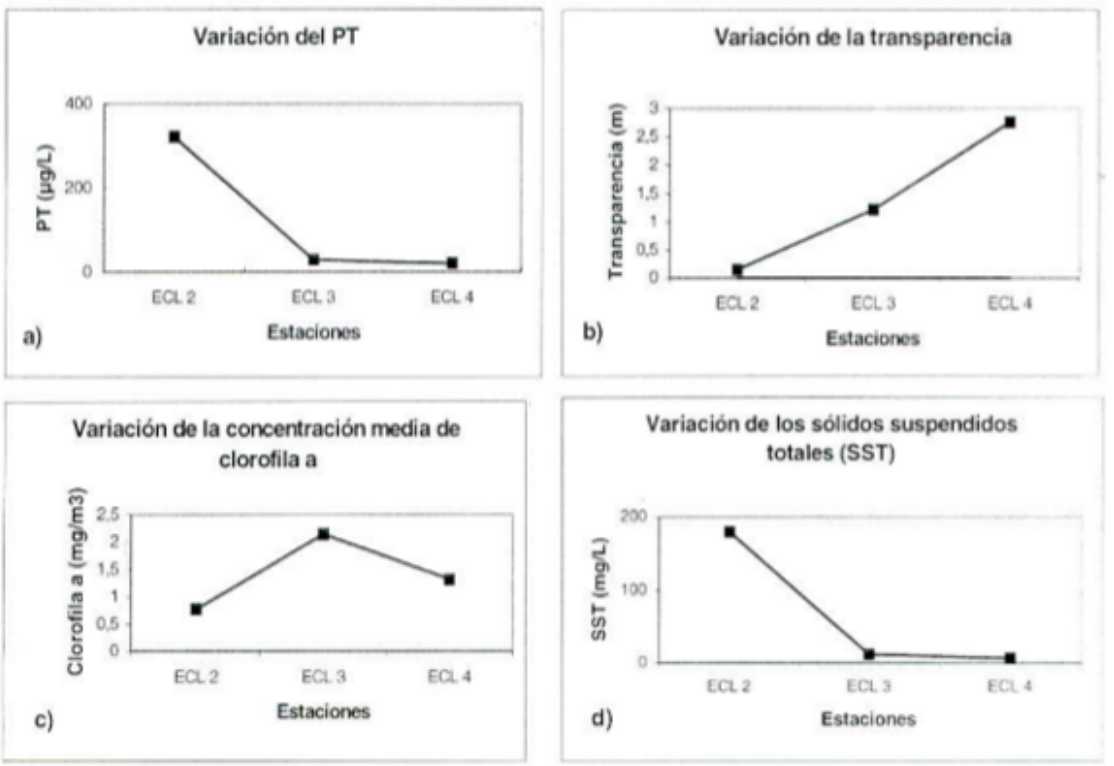


Fig. 6 – Variación de los indicadores de estado trófico y de los sólidos suspendidos totales (SST) a lo largo del embalse (a: fósforo total; b: transparencia; c: clorofila *a*; d: SST).

Fósforo total

En la estación CL 2 (cola del embalse), se observan mayores concentraciones de PT (en un orden de magnitud) que las registradas en las estaciones CL 3 y CL 4. Existe una fuerte correlación directa (r = 0,825) entre el PT y los SST en la cola del embalse (Fig. 7), la cual parece deberse tanto a la influencia del ingreso del río Colorado en las primeras porciones del embalse, como al elevado contenido de fósforo que presenta el material particulado transportado por el río.

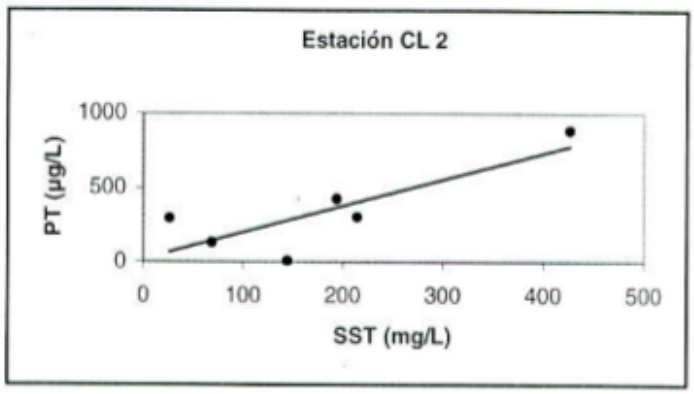


Fig. 7 – Relación entre los sólidos suspendidos totales (SST) y el fósforo total (PT) en la estación CL 2 (cola del embalse)

En las estaciones CL 3 y CL 4 los valores de PT disminuyen sensiblemente (Fig. 6a), estando los SST por debajo del límite de cuantificación del método. La concentración de PT media en el embalse en base a los valores registrados en las estaciones CL 3 y CL 4 es 25,1 µg/L (Tabla 8).

Transparencia

La transparencia (profundidad del disco de Secchi) se incrementa progresivamente a lo largo del eje mayor del embalse (Fig. 6b) como consecuencia de la sedimentación del material particulado, como lo indica la variación de los SST (Fig. 6d).

En la estación CL 2 la transparencia está marcadamente disminuida por el material particulado transportado por el río, mostrando una alta correlación inversa (r = 0,979) con los SST (Fig. 8). La transparencia en la estación CL 3 no se correlaciona con el contenido de SST ni con la concentración de clorofila *a*. En la estación CL 4 – Sup tampoco se observa

correlación de la transparencia con esos dos parámetros. Probablemente, esté vinculada en estas dos estaciones a la turbidez inorgánica del agua.

El valor medio de la transparencia en el embalse, en base a los registros de la estaciones CL 3 y CL 4, es 1,99 m (Tabla 8)

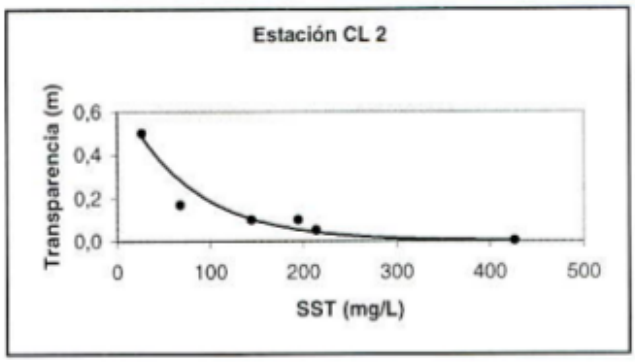


Fig. 8 - Relación entre los sólidos suspendidos totales (SST) y la transparencia en la estación CL 2 (cola del embalse)

Clorofila *a*

La concentración media de clorofila ***a*** en el embalse, en base a los valores registrados en las estaciones CL 3 y CL 4, es 1,6 mg/m^3 (Tabla 8). Los valores más elevados de clorofila ***a*** se registraron en la estación CL 3 en el mes de agosto (Fig. 9).

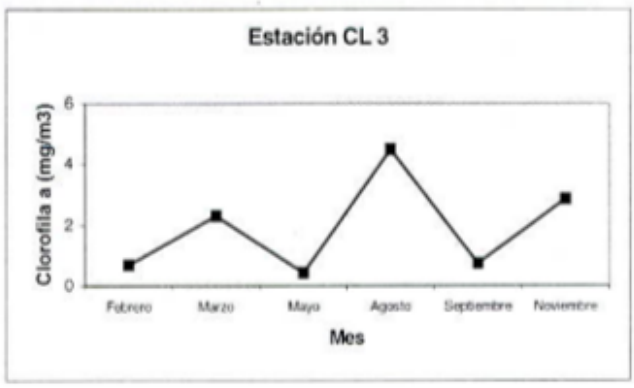


Fig. 9 - Variación de la clorofila a en la estación CL 3 (centro del embalse) a lo largo del período de estudio.

El PT y la clorofila *a* presentaron una alta correlación directa (r = 0,982) en la estación CL 4 (Fig. 10), no así el NT y la clorofila *a*.

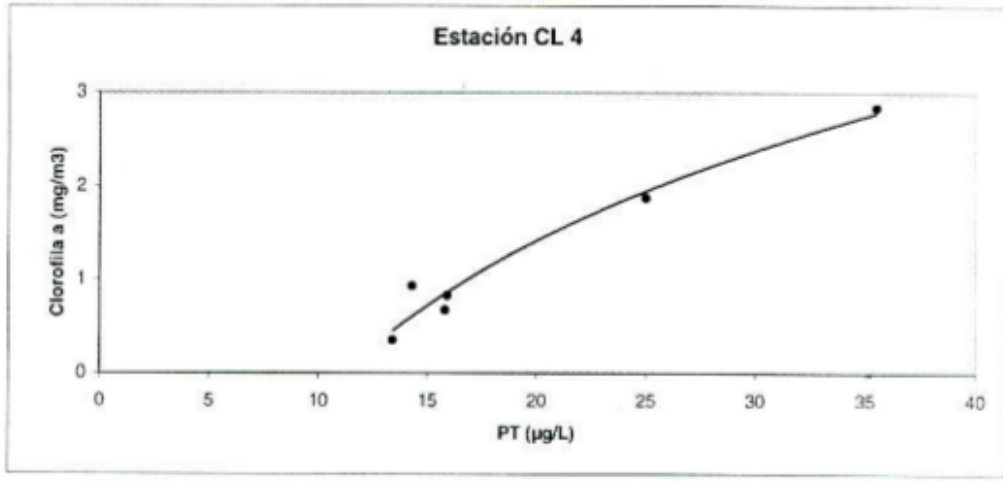


Fig. 10 – relación entre el PT y la clorofila *a* en la estación CL 4 (toma del embalse).

No se observó una correlación entre la transparencia y la concentración de clorofila *a* en la estación CL 3 (centro del embalse) ni en la estación CL 4 (toma del embalse) (Figs. 11 y 12).

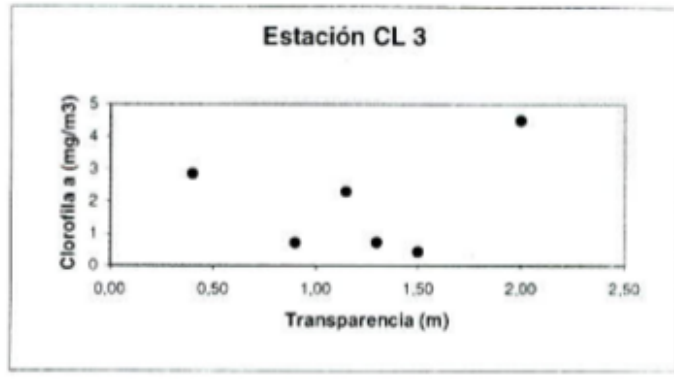


Fig. 11 - Relación entre la concentración de clorofila a y la transparencia en la estación CL 3 (centro del embalse)

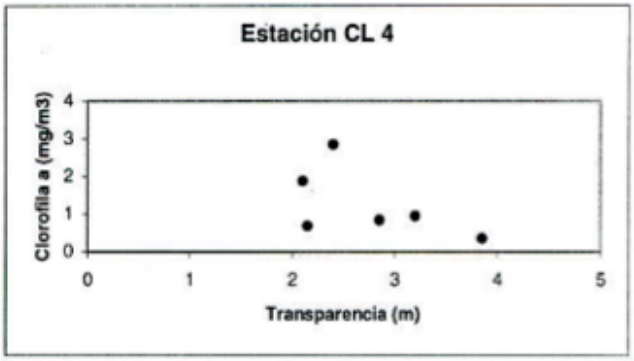


Fig. 12 - Relación entre la concentración de clorofila *a* y la transparencia en la estación CL 4 (toma del embalse)

Relaciones N/P y Si/P

Se observaron relaciones molares N/P variables. En la estación CL 3 la relación N/P fue de 8, mientras que en la CL 4 fue de 38. Las relaciones Si/P en ambas estaciones fueron muy elevadas, en concordancia con las altas cargas de sílice que recibe el embalse.

IV. 2 CATEGORIZACIÓN TRÓFICA DEL EMBALSE CASA DE PIEDRA

En la Tabla 9 figuran las caracterizaciones tróficas para cuerpos de agua dulce según diferentes autores.

Tabla 9.- Caracterización del estado trófico

	Wetzel (1975)		Vollenweider (1968)	
	PT (µg/L)	Prof. disco de Secchi (m)	Biomasa de fitoplancton (g/m^3)	Clorofila a (mg/m^3)
Ultra-oligotrófico	<1-5	>4,6	<1	<2
Oligotrófico	-	>4,6	1-3	<2
Oligo-mesotrófico	5-10	4,5-3,8	-	2,1-2,9
Mesotrófico	10-30	3,7-2,4	3-5	3-6,9
Meso-eutrófico	10-30	2,3-1,8	-	7-9,9
Eutrófico	30-100	<1,7	5-10	<10
Hipereutrófico	<100	-	>10	-

Tomado de Pedrozo *et al.* 1997b

De acuerdo con los valores consignados en la Tabla 9, el embalse Casa de Piedra es oligotrófico por la concentración de clorofila ***a***, meso-eutrófico por la transparencia y mesotrófico por la concentración de fósforo total. No obstante, la significación de estos indicadores debe ser evaluada con cautela debido a la existencia de factores perturbadores.

Como se mencionó más arriba, la transparencia en la zona lacustre del embalse no se correlaciona con la concentración de clorofila ***a*** (Figs. 11 y 12), por lo tanto, no es la densidad de fitoplancton el único factor que la determina. En otras palabras, la baja transparencia no es consecuencia exclusiva del desarrollo de algas. Posiblemente sea este factor, la baja transparencia, el que limita el desarrollo algal, ya que el contenido de nutrientes (fósforo) no es escaso. Las mediciones efectuadas sugieren que se trataría de un embalse con limitación por luz debido a la presencia de turbidez inorgánica en el agua.

Por lo expuesto, en forma preliminar se clasificará al embalse Casa de Piedra como oligotrófico a mesotrófico, hasta tanto se disponga de mayor número de datos.

IV. 3 FITOPLANCTON

La determinación de la densidad de fitoplancton en la estación CL 3 con identificación de especies ha puesto de manifiesto que las algas fitoplanctónicas dominantes durante la mayor parte del año pertenecen a la clase *Bacillariophyceae* (diatomeas), con presencia de *Dynophyceae* (dinoflagelados) de febrero a marzo y aparición esporádica de *Cyanophyceae* (cianobacterias) en bajas densidades.

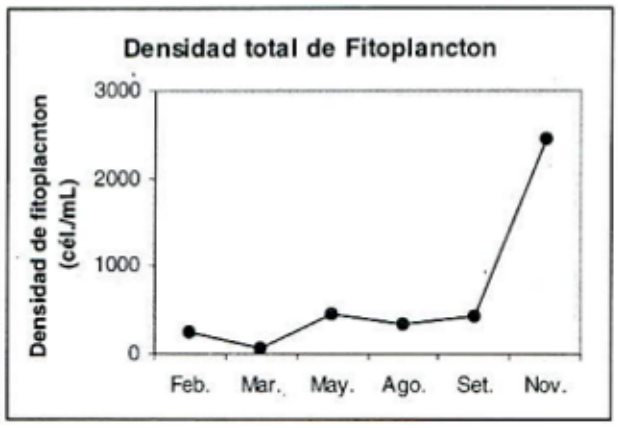


Fig. 13 - Variación de la densidad de total de fitoplancton en la estación CL 3 a lo largo del período de estudio.

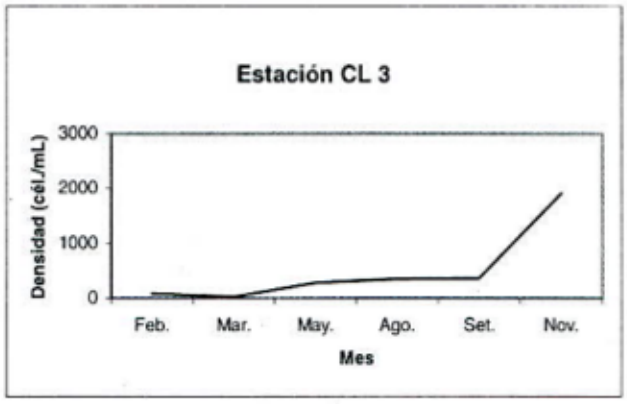


Fig. 14 - Variación de la densidad de *Bacillariophyceae* a lo largo del período de estudio.

IV.4. INVESTIGACIÓN DEL ORIGEN DE LA COLORACIÓN DE LAS AGUAS

Durante un vuelo de inspección efectuado sobre el embalse en diciembre de 1998 pudo observarse en el agua una coloración verdosa comparable a la que producen las floraciones algales. Sin embargo, los valores relativamente bajos de clorofila ***a*** registrados en esa fecha (1,54 mg/m^3) no sugerían que fuera la biomasa algal la responsable de dicha coloración.

Por tal motivo, se consideró entonces la hipótesis de que fueran las sales de calcio o magnesio en estado de sobresaturación (no medidas en ese momento) las que podrían otorgar al agua ese color característico (Ongley, 1998)

Tabla 10. Solubilidad de diferentes sales inorgánicas en agua

Compuesto	Solubilidad (g/100 mL agua) @ 18°C
Carbonato de calcio ($CaCO_3$)	**0,0013**
Carbonato de magnesio ($MgCO_3$)	**0,10**
Carbonato de potasio (K_2CO_3)	108,00
Carbonato de sodio (Na_2CO_3)	19,39
Cloruro de calcio ($CaCl_2$)	73,19
Cloruro de magnesio ($MgCl_2$)	55,81
Cloruro de potasio (KCl)	32,95
Cloruro de sodio (NaCl)	35,86
Sulfato de calcio ($CaSO_4$)	**0,20**
Sulfato de magnesio ($MgSO_4$)	35,43
Sulfato de potasio (K_2SO_4)	11,11
Sulfato de sodio (Na_2SO_4)	16,83

Los valores de solubilidad destacados en negrita corresponden a las sales menos solubles en agua.

Del listado de sales (probablemente incompleto) que teóricamente podrían formarse por combinación de los aniones y cationes principales (Tabla 10) las menos solubles en agua son los carbonatos de calcio y de magnesio y el sulfato de calcio. De éstas, en base a la composición iónica del agua del embalse, la que tendría mayor probabilidad de formarse es el carbonato de calcio, seguido por el carbonato de magnesio y por el sulfato de calcio.

De acuerdo con los valores de pH observados en el embalse (Tabla 11) la concentración de CO_3^{2-} sería insuficiente para la precipitación de $CaCO_3$, dado que ésta requiere para producirse (a 18 °C), en virtud de su producto de solubilidad, una concentración de $CO_3^{=}$ de 7,8 mg/L y de Ca^{+2} de 5,2 mg/L.

De igual modo debería descartarse la precipitación de carbonato de magnesio y de sulfato de calcio porque requieren concentraciones muy elevadas de los iones respectivos.

En la Fig. 15 se muestra la especiación del carbono inorgánico en función del pH del agua.

Tabla 11. Calcio y magnesio disuelto y particulado en agua (estación CL 3 – Sup.) en relación con otros parámetros físico-químicos

Mes	Ca particulado (µg/L)	Ca disuelto (mg/L)	Mg particulado (µg/L)	Mg disuelto (mg/L)	pH	Temp. Agua (°C)	Secchi (m)	Clorof. *a* (mg/m3)
Febrero	10,9	91,5	23,8	8,6	8,47	21,15	0,90	0,69
Marzo	19,9	98,4	0,6	7,8	8,22	20,68	1,15	2,29
Mayo	3,0	103,3	16,0	7,4	8,14	12,72	1,50	0,41
Agosto	37,5	119,9	29,9	9,2	8,74	6,14	2,00	4,49
Setiembre	5,6	106,6	17,3	8,1	8,25	10,66	1,30	0,72
Noviembre	21,5	84,1	21,2	9,9	8,19	16,53	0,40	2,84

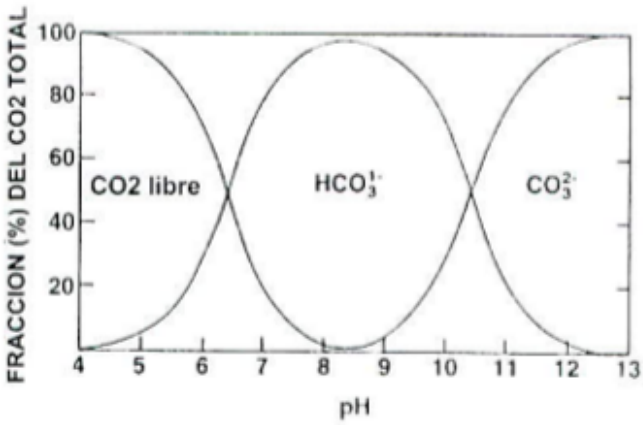


Fig. 15 – Especiación del carbono inorgánico (Wetzel 1975, tomado y adaptado de CWQG, 1993)

Dado que la solubilidad del calcio en agua disminuye con el incremento de la temperatura y del pH, cabría esperar una mayor precipitación de carbonato de calcio con un aumento en dichos parámetros y, como ya fuera dicho, una consecuente disminución de la transparencia.

Las relaciones halladas entre los parámetros vinculados a la precipitación de sales registrados en el año 2000 no explican con claridad tal causalidad. Se ha observado una correlación directa (r=0,70) entre el pH y el calcio particulado (Fig. 16), pero no así entre éste último y la temperatura (Fig. 17).

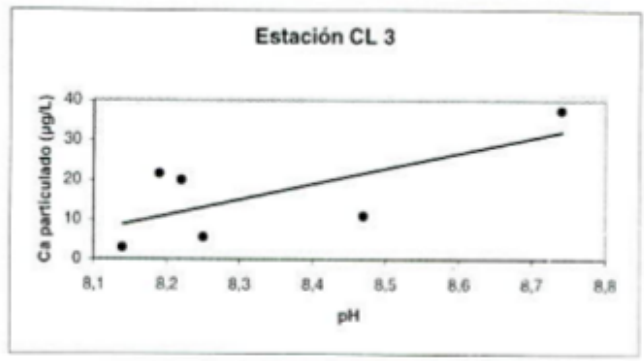


Fig. 16 – Relación entre el pH del agua y el calcio particulado en la estación CL 3 (centro del embalse)

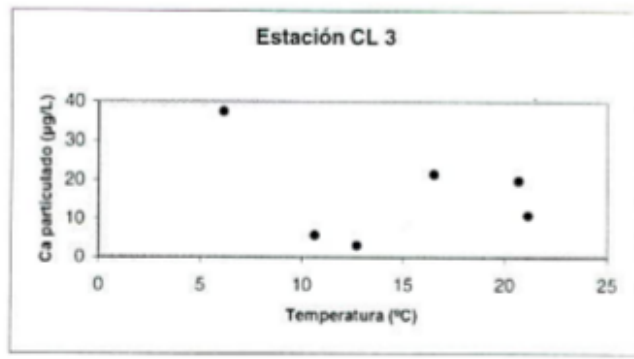


Fig. 17 – Relación entre la temperatura del agua y el calcio particulado en la estación CL 3 (centro del embalse)

Considerando la influencia de estas variables sobre la transparencia se encontró una correlación inversa (r= 0,78) entre ésta y la temperatura (Fig. 18), pero no se detectó vinculación con el pH ni con el calcio particulado (Figs. 19 y 20).

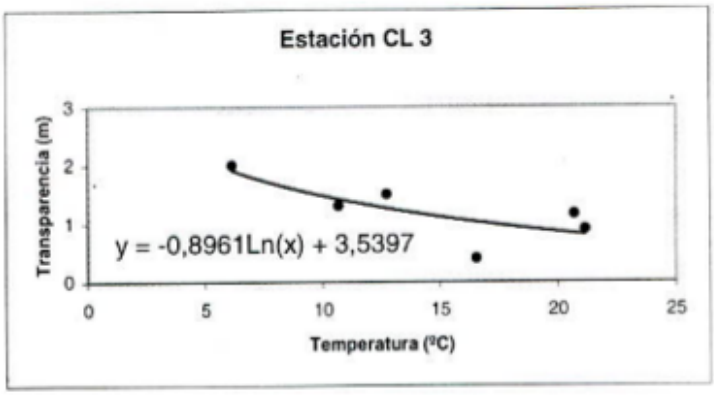


Fig. 18 – Relación entre la temperatura del agua y la transparencia en la estación CL 3 (centro del embalse).

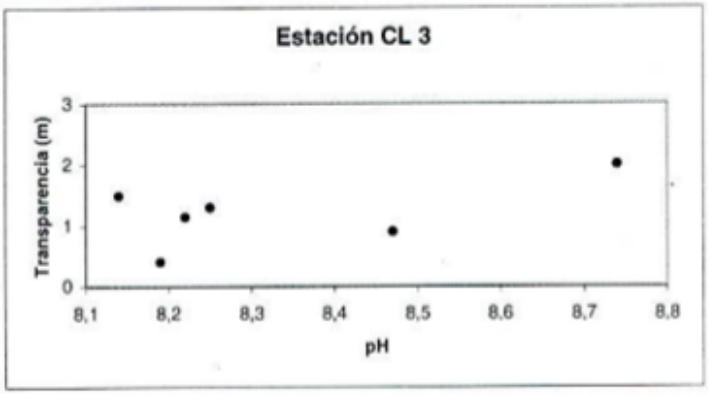


Fig. 19 – Relación entre el pH de agua y la transparencia en la estación CL 3 (centro del embalse).

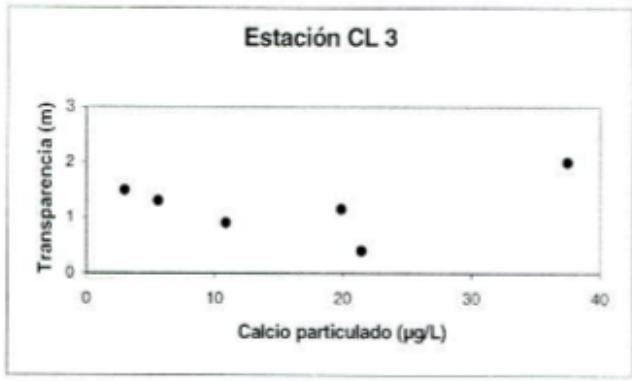


Fig. 20 – Relación entre el calcio particulado y la transparencia en la estación CL 3 (centro del embalse).

Por otra parte, se ha observado que la biomasa algal no estaría condicionando la penetración de la luz en el embalse, dado que no se ha hallado una correlación entre la concentración de clorofila ***a*** y la transparencia (Fig. 21). Por el contrario, si se tiene en cuenta que el máximo valor registrado de clorofila ***a*** fue coincidente con la mayor medición del disco de Secchi (Tabla 11) puede sugerirse que la luz está ejerciendo una limitación sobre el desarrollo algal (fitoplancton).

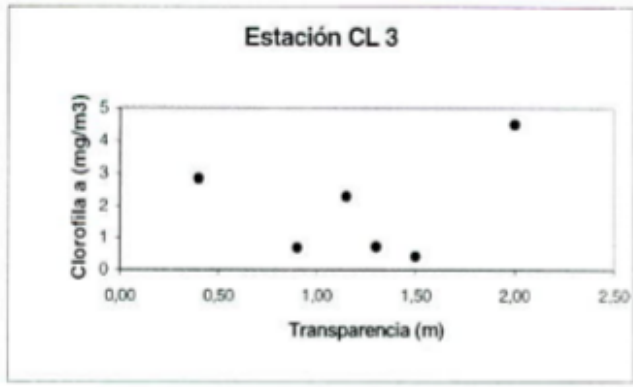


Fig. 21 – Relación entre la transparencia y la clorofila a en la estación CL 3 (centro del embalse).

Si bien no se han observado relaciones entre los diferentes parámetros entre sí y con respecto al calcio particulado que indicaran que la precipitación de carbonato de calcio estaba ocurriendo, no se puede descartarlo como el origen de la coloración de las aguas del embalse. Es posible que la condición del agua del embalse observada en este estudio haya

sido diferente de la que prevalecía en diciembre de 1998, en oportunidad de realizar el vuelo de inspección y de la cual no existen datos.

V. PREDICCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE ESTADO TRÓFICO DEL EMBALSE

V.1. CARGAS DE NUTRIENTES

V. 1.a Aportes del río Colorado

La Tabla 12 muestra las concentraciones medias y las cargas anuales de fósforo, nitrógeno y sílice ingresantes al embalse Casa de Piedra por el río Colorado, registradas en la estación CL 1 (Pasarela Medanito).

Tabla 12. Concentraciones de nutrientes ingresantes al embalse por el río Colorado (Estación CL 1 – Pasarela Medanito) y cargas anuales

Nutriente	Concentración media	Carga anual (t/año) (*)
Fósforo total (mg/m^3)	881	4.541
Nitrógeno total (mg/m^3)	1.095	4.667
Sílice (g/m^3)	17,6	76.237

(*) Calculada a partir de las concentraciones de fósforo total en el ingreso al embalse y el derrame bimensual correspondiente a la fecha de muestreo.

En base a los derrames bimensuales del año ingresantes al embalse y a los correspondientes registros de concentraciones de nutrientes medidos, la carga anual de PT fue de 4.541 toneladas y la de NT fue de 4.667 toneladas (Tabla 12). Estas cargas resultaron muy superiores (dos órdenes de magnitud) a las que provienen de las principales fuentes antropogénicas (agrícola y urbana), las cuales fueron medidas con anterioridad (Alcalde *et al.*, 2000).

El contenido de PT ingresante al embalse (estación CL 1) mostró una alta correlación directa ($r = 0,92$) con los SST del río (Fig. 22), para los cuales se registraron altas concentraciones en el período de estudio (Tabla 7). La diferencia observada entre la carga total de fósforo ingresante al embalse por el río Colorado y la originada en fuentes

antropogénicas podría provenir de un importante aporte de material particulado cuyo origen estaría vinculado a la escorrentía superficial, la erosión de márgenes o la resuspensión de sedimentos de fondo. No obstante, cabe destacar que los aportes del drenaje agrícola han sido medidos en los drenes y no se cuenta con una estimación del aporte subsuperficial directo al río, si es que el mismo es de proporciones significativas.

Con relación a la diferencia observada en las cargas de NT antropogénicas medidas con anterioridad y los valores registrados en el ingreso al embalse en el período de estudio, la misma no estaría asociada al material particulado, ya que no se halló una correlación entre el NT y los SST (Fig. 23).

No se observó asociación entre el caudal del río Colorado y las concentraciones de SST, PT y NT ingresantes al embalse (Figs. 24, 25 y 26).

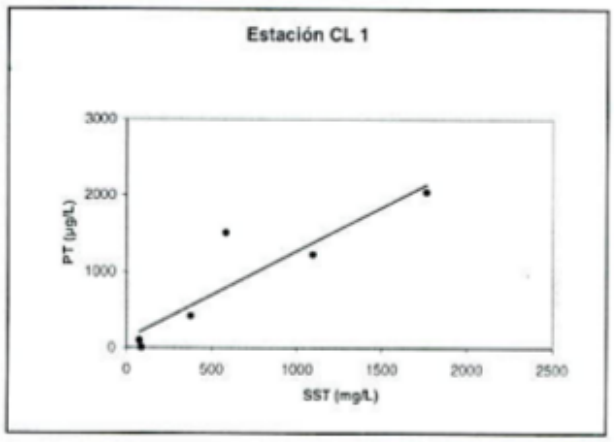


Fig. 22 - Relación entre los SST y el PT en el ingreso al embalse (estación CL 1 – Pasarela Medanito).

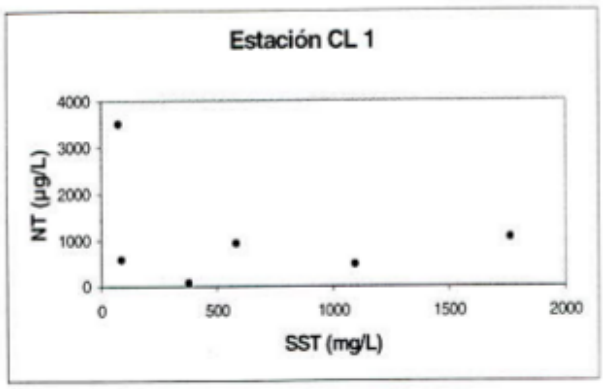


Fig. 23 – Relación entre los SST y el NT en el ingreso al embalse (estación CL 1 – Pasarela Medanito).

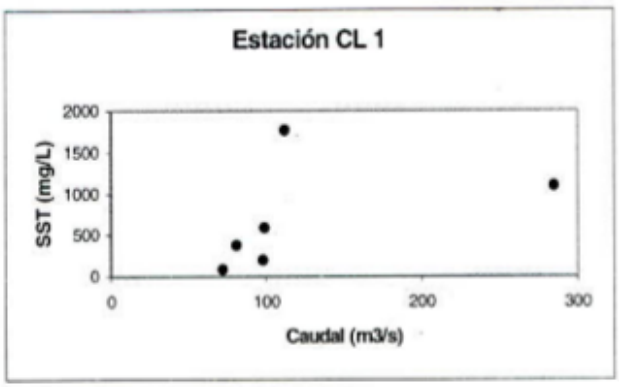


Fig. 24 – Relación entre el caudal del río Colorado y los SST en el ingreso al embalse (estación CL 1 – Pasarela Medanito)

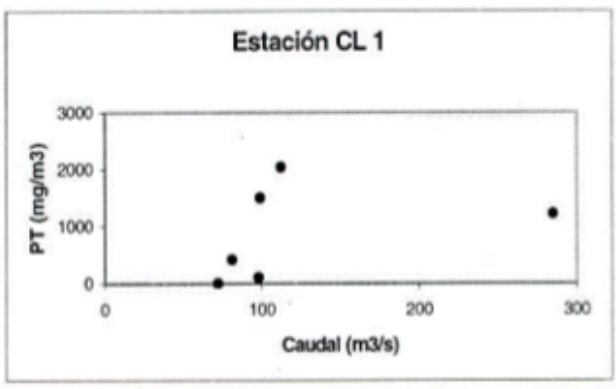


Fig. 25 – Relación entre el caudal del río Colorado y el PT en el ingreso al embalse (estación CL 1 – Pasarela Medanito)

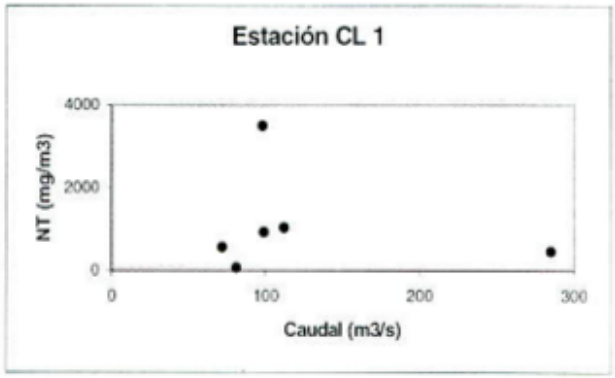


Fig. 26 - Relación entre el caudal del río Colorado y el NT en el ingreso al embalse (estación CL 1 – Pasarela Medanito).

V.1.b. Aporte atmosférico

En la Tabla 13 se muestran los volúmenes de agua de lluvia colectados durante el período de estudio en el área del dique del embalse Casa de Piedra y las concentraciones promedio de PT y NT.

Tabla 13. Volúmenes y características físico-químicas del agua de lluvia colectada

Mes	Volumen de agua de lluvia colectado (L)	PT promedio en el agua de lluvia (µg/L)	NT promedio en el agua de lluvia (µg/L)	pH	Conductividad (µS/cm)
Marzo	16,60	49,3	202,4	8,86	36,3
Mayo	25,05	21,5	21,5	-	-
Agosto	19,55	33,5	1.567,7	7,68	52,0
Setiembre	24,90	68,5	3.844,2	6,12	43,2
Noviembre	31,55	185,3	1.321,1	8,71	18,1

Cálculo de la carga anual por precipitación atmosférica

La precipitación calculada en base al volumen total de agua de lluvia colectada en el período comprendido entre el 17 de febrero y el 9 de noviembre de 2000 fue de 657,7 mm, valor que supera ampliamente el promedio del registro anual de las estaciones

meteorológicas de Casa de Piedra y 25 de Mayo, el cual fue de 439,1 mm. Por lo tanto, se utilizó este último valor para el cálculo de las cargas anuales de PT y NT al embalse, adoptándose un área de 202 km^2 para este cuerpo de agua, correspondiente al período de estudio.

Dado que el período de colección de agua de lluvia comenzó el 17 de febrero de 2000, extendiéndose hasta el 9 de noviembre del mismo año, se estimaron los aportes por precipitación atmosférica de la siguiente manera:

- período 01 enero a 16 febrero: en base a una precipitación (promedio de Casa de Piedra y 25 de Mayo) de 91,4 mm se calcularon las cargas de PT y NT, empleando los valores de estos nutrientes medidos en marzo (49,3 y 202,4 µg/L, respectivamente)

- período 09 de noviembre a 31 de diciembre: en base a una precipitación (promedio de Casa de Piedra y 25 de Mayo) de 2,9 mm se calcularon las cargas de PT y NT, empleando los valores de estos nutrientes medidos en noviembre (185,3 y 1321,1 µg/L respectivamente)

Para el período en que se llevó a cabo la colección de agua de lluvia (17 de febrero a 9 de noviembre) se empleó para el cálculo de las cargas de nutrientes el valor promedio de las precipitaciones de 25 de Mayo y Casa de Piedra en dicho período, el cual fue de 344,8 mm, y las concentraciones medidas de PT y NT en el período febrero-noviembre (71,6 y 1391,4 µg/L, respectivamente).

Tabla 14. Aportes atmosféricos de PT y NT al embalse Casa de Piedra

Período	Carga de PT (t)	Carga de NT (t)
01/01 – 16/02	0,91 (estimada)	3,7 (estimada)
17/02 – 08/11	4,99 (calculada)	96,9 (calculada)
09/11 – 31/12	0,109 (estimada)	0,8 (estimada)
Carga anual (t/año)	**6,0**	**101,4**

Fraccionamiento del fósforo

El fraccionamiento del fósforo contenido en los sedimentos de fondo en las áreas de la cola y la toma del embalse arrojó como resultado que la forma de fósforo predominante es la ligada al calcio (Fig. 27). El fósforo ligado al hierro y al aluminio, y a la materia orgánica representa un porcentaje mínimo del total.

La movilización del fósforo ligado al hierro es un proceso dependiente del potencial redox. En los sedimentos superficiales oxidados, el fósforo se encuentra ligado al hierro (III) en forma estable. Cuando las condiciones se vuelven reductoras el hierro (III) se transforma en hierro (II) y el fósforo ligado al mismo es liberado hacia la columna de agua (Håkanson & Jansson, 1983). Estos procesos tienen lugar en cuerpos de agua eutróficos o hipereutróficos durante el período de estratificación, en la cual la degradación microbiana de la materia orgánica depositada sobre los sedimentos agota el oxígeno y produce condiciones anóxicas (Håkanson & Jansson, 1983).

En el embalse Casa de Piedra, los perfiles de oxígeno disuelto registrados mostraron que la columna de agua se mantuvo bien oxigenada en el período de estudio, si bien se observó cierta disminución con la profundidad en la estación CL 4 en el mes de noviembre. Este hecho, junto con la escasa cantidad de fósforo ligado al hierro hallada en los sedimentos de fondo (Fig. 27) y el estado trófico del embalse, indican que esta fracción del fósforo tendría escasa gravitación en el aporte de este nutriente a la columna de agua a través del proceso antes citado.

Fig. 27 – Fraccionamiento del fósforo en los sedimentos de fondo del Embalse Casa de Piedra (estaciones ES 1 y ES 2, sitios a, b, c, y d) (P-Fe/Al: fósforo ligado al hierro y al aluminio; P –Ca: fósforo ligado al calcio; P-MO: fósforo ligado a la materia orgánica.

Tanto el fósforo ligado al hierro como al aluminio en los sedimentos de fondo, se encuentran también regulados por el pH del agua, el cual, si es suficientemente alcalino, determina que el fosfato sea liberado hacia la columna líquida. Estas condiciones se dan en cuerpos de agua someros, no estratificados, con alta productividad, en los cuales, debido a la actividad fotosintética de las algas planctónicas el pH aumenta de dos a tres unidades (Håkanson & Jansson, 1983).

De igual manera, la liberación del fósforo ligado al hierro y al aluminio mediada por el pH, dadas las condiciones señaladas en el párrafo anterior, tampoco aparece como una fuente de aporte significativo en el caso del embalse Casa de Piedra. Además, los valores del pH registrados a lo largo del período de estudio mostraron variaciones de unas pocas unidades en las diferentes estaciones del año, no siendo apreciable una tendencia a la alcalinización del agua atribuible al desarrollo de las algas planctónicas. Este hecho es consistente con las bajas densidades de fitoplancton en dicho período.

La redisolución del calcio ligado al fósforo presente en los sedimentos puede ocurrir como consecuencia de una disminución del pH, la cual puede ser causada por CO_2 producido en la degradación microbiana de la materia orgánica (Håkanson & Jansson, 1983).

Las fracción del fósforo predominante en los sedimentos de fondo del embalse Casa de Piedra es la ligada al calcio (Fig. 27). El pH del agua del embalse es moderadamente alcalino, indicando que el fenómeno más probable es la precipitación del fosfato de calcio desde la columna líquida hacia los sedimentos. Los perfiles de pH realizados durante el período de estudio indicaron que este parámetro no presentó grandes variaciones con la profundidad. Sin embargo, el perfil correspondiente a la estación CL 4 en el mes de noviembre mostró una disminución en los valores de este parámetro en las zonas más profundas (Fig. 28), coincidente con una disminución de la temperatura y del porcentaje de saturación de oxígeno (Figs. 3 y 4).

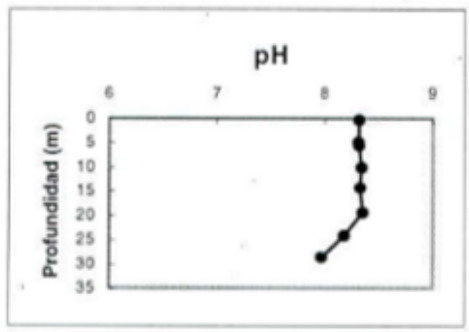


Fig. 28 – Perfil del pH en la estación CL 4 (toma del embalse) en el mes de noviembre

Este hecho podría estar vinculado a una estratificación incipiente del embalse en esta época del año, y las variaciones en el pH y en la saturación del oxígeno disuelto observadas ser consecuencia de la misma (posible degradación de materia orgánica, consumo de oxígeno y acidificación del agua). Por lo cual, sería de esperar que haya ocurrido una disminución del pH en los sedimentos y, en alguna medida, la liberación del fósforo ligado al calcio.

Esta presunción debería confirmarse a través de la medición de fósforo y de parámetros físico-químicos en el agua de interfase en una situación comparable.

Dado que el fósforo ligado al calcio es la fracción cuantitativamente más importante del PT de los sedimentos, de estar actuando este mecanismo movilizador del fósforo, los sedimentos, al menos en el área de la toma del embalse, podrían constituirse en una fuente cuya magnitud sería relevante evaluar.

V.1.d. Cargas totales de nutrientes al embalse desde diferentes fuentes

Las cargas totales al embalse desde diferentes fuentes se han calculado en base a los aportes del río Colorado y de la precipitación atmosférica, no incluyendo los aportes por escorrentía superficial en el área del embalse por no disponerse de los datos necesarios para su estimación. En función de los datos obtenidos se estima que la carga interna no es muy significativa. En la Tabla 15 figuran las cargas anuales de PT y NT al embalse.

Tabla 15 – Cargas de nutrientes al embalse Casa de Piedra desde diferentes fuentes.

Fuente	Carga anual de PT (t/año)	Carga anual de NT (t/año)
Río Colorado	4.541	4.667
Aporte atmosférico	6,0	101,4
Total	**4.542,0**	**5.283,4**

V.2. EXPORTACIÓN DE FÓSFORO TOTAL (PT) POR EL RÍO COLORADO

La Tabla 16 muestra las concentraciones de PT halladas en la descarga del embalse Casa de Piedra en el período de estudio y su promedio anual. En función de los valores obtenidos y de los derames correspondientes a los períodos respectivos de cada muestreo (bimensual), la exportación de PT calculada fue de aproximadamente 91 t/año.

Tabla 16. Exportación de PT por el ríoColorado

Mes	Fósforo Total (µg/L)
Febrero	22,6
Marzo	27,7
Mayo	27,4
Agosto	32,0
Septiembre	12,4
Noviembre	22,1
Promedio	**26,4**

En base a las cargas anuales calculadas a partir de los datos del presente estudio y del PT exportado surge que el 98 % del PT ingresante al embalse quedaría retenido en el mismo.

V.3. APLICACIÓN DE MODELOS PREDICTIVOS

A los fines de predecir la posible evolución del estado trófico en función de cargas de nutrientes crecientes se evaluó la aplicabilidad de diferentes modelos predictivos.

Se ha cuestionado la aplicabilidad en cuerpos de agua del hemisferio sur de los modelos predictivos desarrollados para el hemisferio norte (Baigún & Marinone, 1995).

La aplicación de esos modelos (OECD, 1982; White 1983; Sakamoto, 1966; Lamboo *et al.*, 1982; Prepas & Trew, 1983, citados en Baigún & Marinone, 1995) a los datos confirman ese hecho, dado que no dan buenas predicciones de la concentración de clorofila ***a*** actual. Ante esa situación, se ensayó la aplicabilidad de modelos desarrollados para cuerpos de agua de Argentina (Quirós, 1983, Baigún & Marinone, 1995, Labollita & Pedrozo, 1997) (Tabla 17)

Tabla 17. Modelos predictivos

Quirós para reservorios (1988)	$\ln CL\ a = -2{,}04 + 1{,}32 \ln PT_{embalse}$
Baigún & Marinone (1995)	$\log CL\ a = -0{,}80 + 0{,}89 \log PT_{embalse}$
Labollita & Pedrozo (1997)	$CL\ a = 0{,}109\ PT_{embalse} - 0{,}6775$ $PT_{embalse} = 3{,}592 \ln PT_{carga} - 7{,}6973$

En base a las concentraciones de PT medidas en el embalse y a las cargas de este nutriente que el mismo recibe (Tablas 8 y 15) se han efectuado estimaciones de las concentraciones actuales de clorofila ***a***, mediante las ecuaciones de Quirós para reservorios (1988), Baigún & Marinone (1995) y Labollita & Pedrozo (1997) y de PT Labollita & Pedrozo (1997). Las mismas se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Estimaciones de la concentración de clorofila *a* y del fósforo total en el embalse

Parámetro	Valores estimados			Valores medidos
	Quirós (1988)	Baigún & Marinone (1995)	Labollita & Pedrozo (1997)	
Fósforo total (µg/L)	-	-	22,5	**25,1**
Clorofila a (mg/m^3)	9,2	2,8	2,1	**1,6**

La ecuación de regresión hallada por Labollita & Pedrozo para el embalse Los Barreales (Labollita & Pedrozo, 1977), es la que mejor predice la concentración de clorofila *a* actual del embalse Casa de Piedra.

Podría emplearse dicha ecuación, en forma preliminar, para hacer estimaciones de la posible evolución del estado trófico del embalse en función de cargas crecientes de fósforo. Por ejemplo, podría estimarse cuál sería el estado trófico del embalse si estuviera bajo riego toda el área potencialmente regable aguas arriba (Tabla 4). En ese caso, y en base a cálculos realizados utilizando el coeficiente de exportación de 0,05 g P/m^2/año (Rast & Lee, 1983), el drenaje agrícola aportaría alrededor de 35 t/año adicionales, incrementando la carga de PT al embalse de 4542 t/año a 4577 t/año. La estimación de la concentración resultante de PT en el embalse, mediante la ecuación de Labollita & Pedrozo, indica que la misma se mantendría en los valores actuales y por lo tanto no habría variación en el valor de clorofila ***a*** (esto equivale a decir que el estado trófico del embalse no cambiaría). Estas estimaciones, están dadas a modo de ejemplo de aplicación y deberán ser verificadas cuando se disponga de un mayor número de datos.

VI. CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente estudio están basadas en los resultados de seis campañas de muestreo, por lo tanto deberán ser consideradas como preliminares. Será necesario disponer de un mayor número de datos para confirmarlas, en particular en lo concerniente a las cargas aportadas por el río Colorado (la principal fuente de nutrientes al embalse), a los indicadores de estado trófico y a las predicciones realizadas en base a éstos.

- El estado trófico del embalse Casa de Piedra, de acuerdo con las mediciones de los parámetros indicadores, es actualmente oligotrófico a mesotrófico. La presencia de turbiedad inorgánica en el agua dificulta la interpretación de la significación de los valores observados para cada parámetro.

- No se ha observado, en el período de estudio, una relación entre el pH o la temperatura del agua y la disminución de la transparencia ocasionada por insolubilización de sales inorgánicas.

- Las cargas de nutrientes (PT y NT) aportadas por el río Colorado son de gran magnitud y superan ampliamente a las que cabría esperar de acuerdo con las mediciones efectuadas en fuentes urbanas y agrícolas. Se ha hallado una alta correlación entre los sólidos suspendidos y el PT en el ingreso al embalse, no así en relación al nitrógeno total. Esta contribución extraordinaria de PT, podría tener relación con la erosión de márgenes.

- Los aportes atmosféricos de PT y NT son muy inferiores a los correspondientes al río Colorado.

- La densidad de fitoplancton se mantuvo en el mismo nivel durante todo el año, a excepción del mes de noviembre en el cual se observó un incremento en la densidad total a expensas de un predominio de *Bacillariophyceae* (diatomeas). Durante todo el año este grupo de algas fue el dominante.

- La ecuación de regresión que mejor predice la concentración de clorofila ***a*** actual en función de la concentración de PT es la hallada por Labollita & Pedrozo (1997) para el embalse Los Barreales (Neuquén).

- La concentración actual de PT, estimada mediante la ecuación de regresión de Labollita & Pedrozo, (1997) en función de la carga anual de fósforo medida en el presente estudio, es aproximada a la concentración del PT hallada.

- El incremento de las cargas de PT que podrían esperarse a partir de la agricultura, de acuerdo con las predicciones preliminares realizadas mediante las ecuaciones de Labollita & Pedrozo, no modificarían el estado trófico del embalse.

VII. RECOMENDACIONES

- Continuar el monitoreo de las cargas de nutrientes aportadas por el río Colorado y de los indicadores de estado trófico en el embalse, con el fin de disponer de una mayor cantidad de datos que permitan confirmar el diagnóstico realizado y ajustar las predicciones de la evolución.

- Modificar el inicio del período de monitoreo en el embalse, manteniendo una frecuencia aproximadamente bimestral, de manera de poder registrar el comportamiento de los indicadores de estado trófico y de la densidad de fitoplancton al comienzo del verano.

- Extender las determinaciones del fraccionamiento del fósforo en los sedimentos de fondo a otras áreas del embalse, complementándolas con mediciones de este nutriente y de parámetros ambientales en el agua de interfase, a fin de determinar el grado de movilización –del fósforo- hacia la columna de agua.

- Efectuar mediciones de nutrientes en el río Colorado, aguas arriba de las áreas cultivadas, con el objeto de determinar los niveles provenientes de otras fuentes (ganadería).

El diseño y la interpretación de los resultados del presente estudio fueron llevados a cabo por el Bioquímico Ricardo E. Acalde - Asesor del COIRCO en Calidad de Aguas.
La coordinación y fiscalización estuvo a cargo de la Gerencia Técnica del COIRCO.
Se agradece la colaboración del Lic. Héctor A. Labollita por la lectura crítica del presente informe y las sugerencias efectuadas.

Referencias

Alcalde, R.; Daurade, L., Gil, M.I., 1997, *Programa de relevamiento y monitoreo de calidad de aguas del sistema Río Colorado-Embalse Casa de Piedra*, Comité Interjurisdiccional del río Colorado (COIRCO)

Alcalde, R., Perl, J.E., Andrés, F., 2000, *Evaluación de la calidad del agua del sistema Río Colorado-Embalse Casa de Piedra para sus diferentes usos*, 4tas Jornadas de Preservación de Agua, Aire y Suelo en la Industria del Petróleo y del Gas, Instituto Argentino del Petróleo y del Gas; 3-6 Octubre de 2000 – Salta.

APHA, AWWA, WEF, 1992, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18th ed.

Baigún, C. and Marinone, M.C., 1995, *Cold-temperate lakes of South America: do they fit northern hemisphere models?*, Arch. Hydrobiol., 135: 23-51

CWQG, 1993, *Canadian Water Quality Guidelines*, Environment Canada

Grasshoff, K., Ehrhardt, M., Kremling, K., 1983, *Methods of seawater analysis*, Verlag Chemie., 2nd ed.

Hakånson, L. & Jansson, M., 1983, *Principles of lake sedimentology*, Springer Verlag, Berlin.

Labollita, H. A. and Pedrozo, F. L., 1997, *Factors controlling the trophic state of reservoirs at the basins of Limay, Neuquén and Negro Rivers (Argentina)*. Proceeding 7th International Conference on Lakes Conservation and Management Lacar'97, San Martín de los Andes, Argentina.

OECD, 1982, *Eutrophication of waters, monitoring, assessment, and control*, París

Ongley, E., 1998, *Comunicación personal*.

Pedrozo, F., Baffico, G., López, W., Temporetti, P., González, P., 1997a, *Aportes atmosféricos de nutrientes*, Programa de Evaluación y Vigilancia de la Calidad del Lago Nahuel Huapi – AIC,CRUB, DPA – Informe Técnico.

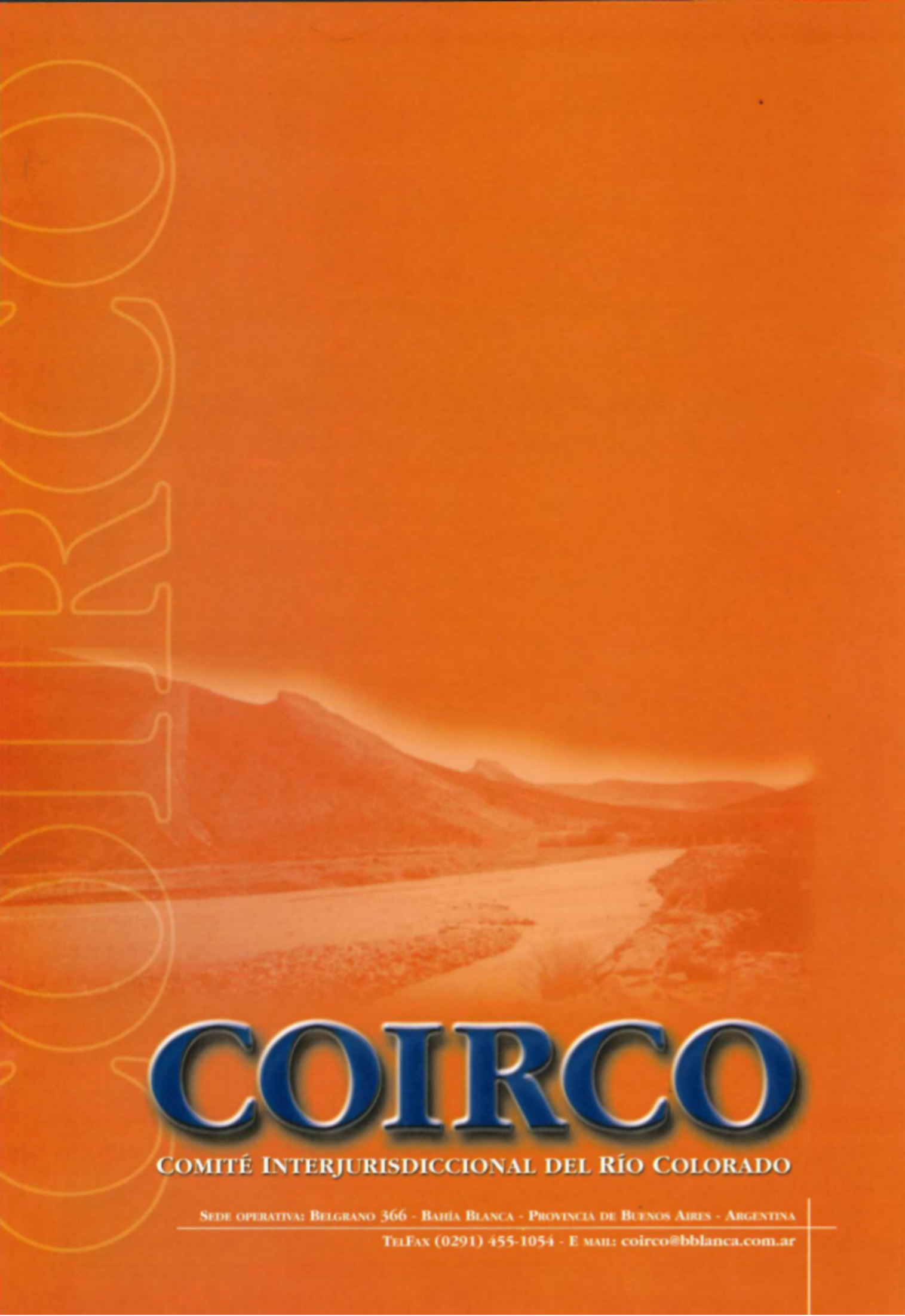
Pedrozo, F., Alcalde, R., Manuel, M., 1997b, *Estado trófico del lago Nahuel Huapi y estimación preliminar de su posible evolución*, Centro Regional Universitario Bariloche (CRUB) – Universidad Nacional del Comahue y Departamento Provincial de Aguas de Río Negro (DPA) - Informe Técnico disponible en el CRUB y en el DPA.

Quirós, R., 1988, *Relationships between air temperature, depth, nutrientes and chlorophyll in 103 Argentinian lakes*, Verh. Internat. Verein. Limnol., 23: 647:658

Rast, W., Lee, F.G., 1983, *Nutrient loading estimates for lakes*. J. Env. Eng. **109** (2): 502-517.

Vollenweider, R. A., 1968, *Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factor in eutrophication*, OECD, Paris, Tech. Report DA 5/SCI/68.27

Impreso en Bahía Blanca
Septiembre 2001



COIRCO

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado

Sede operativa: Belgrano 366 - Bahía Blanca - Provincia de Buenos Aires - Argentina

TelFax (0291) 455-1054 - E mail: coirco@bblanca.com.ar