



**Diagnóstico Preliminar del Estado Trófico del Embalse El Carrizal,
Provincia de Mendoza**

A. Drovandi; J. Zuluaga; M. Filippini; A. Bermejillo; P. Peralta; M. Bustamante; M. Ruiz; M. Granero; A. Morsucci; M. Velgas; A. Valdes; N. Nacif

INA - Centro Regional Andino / Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo

INA- CIRSA

Belgrano Oeste 210

(5500) Mendoza, Argentina

(0261)4286998

aledrovandi@ciudad.com.ar

Resumen

El embalse El Carrizal recibe los aportes del tramo superior del Río Tunuyán y aguas abajo del mismo el agua es utilizada para el riego de una importante superficie cultivada. Además, el embalse es utilizado para usos recreativos.

Desde hace varios años se vienen manifestando cambios en la calidad del agua del embalse, debido a aportes contaminantes desde la subcuenca superior (agricultura, industria, actividad sanitaria) y desde sus costas mismas (turismo y recreación). El desmejoramiento referido afectando tanto a las actividades en el embalse como a varios usos del recurso aguas abajo.

Los objetivos de este trabajo han sido (i) estimar el estado trófico del agua del embalse; (ii) identificar los principales problemas que afectan la calidad de sus aguas; y (iii) realizar un diagnóstico preliminar que ayude a una mejor gestión de los vertidos contaminantes.

Se realizaron dos muestreos en el embalse, midiéndose diversos parámetros a distintas profundidades mediante sonda, tomándose además muestras para análisis de laboratorio. Además se relevaron las instalaciones de los clubes del perillago.

El embalse presentó estados eutrófico e hipereutrófico, gran densidad de algas y baja diversidad de especies de fitoplancton.

Los resultados microbiológicos revelaron el aporte de microorganismos indicadores de contaminación provenientes del río.

Se sugiere efectuar estudios similares al presente, con mayor frecuencia y duración, incluyendo estudios de sedimentos.

Además, urge realizar mejoras en la Planta de Tratamiento de Tunuyán, cuyos vertidos influirían fuertemente en la calidad del agua del embalse.

Palabras clave: estado trófico, contaminación, cuenca, Río Tunuyán

Trophic status of El Carrizal reservoir, Mendoza. Preliminary diagnosis

A. Drovandi; J. Zuluaga; M. Filippini; A. Bermejillo; P. Peralta; M. Bustamante; M. Ruiz; M. Granero; A. Morsucci; M. Velgas; A. Valdes; N. Nacif

INA - Centro Regional Andino / Facultad de Ciencias Agrarias - UNCuyo

Belgrano Oeste 210

(5500) Mendoza, Argentina

(0261)4286998

aledrovandi@ciudad.com.ar

Abstract

El Carrizal dam, in Mendoza, Argentina, receives water from the upper basin of the Tunuyán river, used for irrigation in the Lower basin. The reservoir is also used for recreational purposes.

Some clear changes in the water quality of the dam have been noticed for several years already, due to different contributions in the upper reach of the basin (agriculture, industry, sanitary effluents) and from its shores (tourism and recreation). This lower quality, in turn, is already affecting several water uses, in the reservoir itself and downstream.

The main objectives of this work have been (i) to estimate the trophic status of the water in the reservoir; (ii) to identify the main problems affecting the quality of the water; and (iii) to carry out a preliminary diagnosis to help in a better management of pollution in the system.

Two sampling activities were carried out in the reservoir, analyzing several water quality parameters at different depths by means of probe, and also by means of laboratory analysis of samples. An inventory of the facilities in the clubs around the reservoir was also done.

The reservoir presented “eutrophic” and “hypereutrophic” states, a high density of algae and a low diversity of phytoplankton species.

The microbiological analysis made evident the contribution of indicator microorganisms from the Tunuyán river.

It was recommended to carry out similar studies, longer and more frequent, including sediment studies.

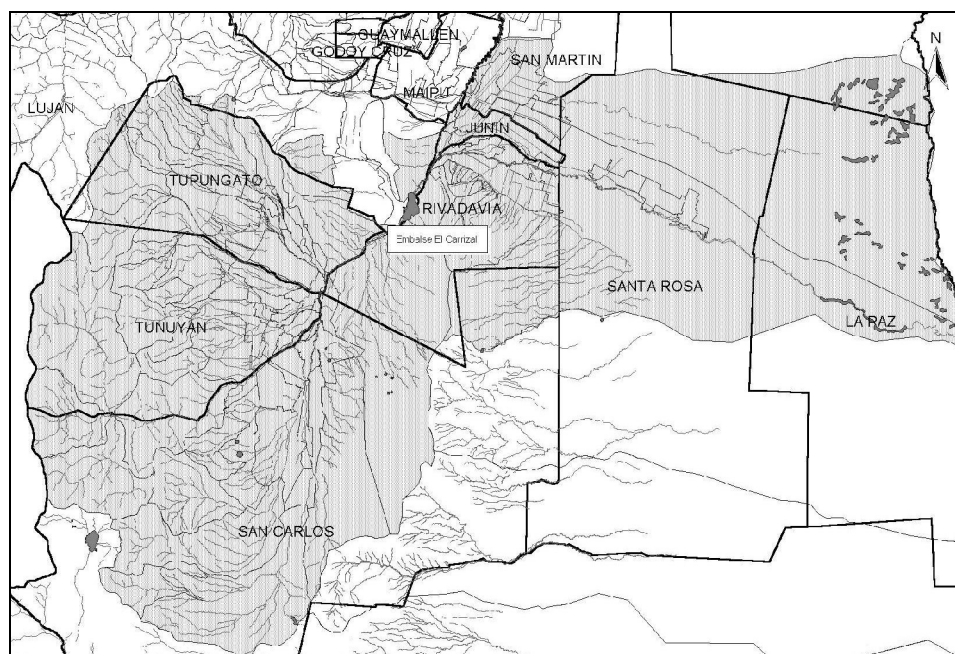
It was also evident the urgency of improving the efficiency of the Tunuyán Treatment Plant, because its polluted effluents seem to influence strongly the water quality in the river and in El Carrizal reservoir.

Key words: trophic status, pollution, Tunuyán river basin

1. INTRODUCCIÓN

El embalse El Carrizal, con un volumen aproximado de 320 Hm³, se encuentra emplazado sobre el Río Tunuyán, en la Provincia de Mendoza. Dicho río, junto con el Mendoza, conforman la denominada Cuenca Norte de la provincia. El territorio comprendido por la cuenca del Tunuyán presenta una superficie total de 14.040 km².

Dicha cuenca abarca una vasta superficie de la región central de la Provincia de Mendoza, en la que el cauce corre a todo lo ancho de su territorio, desde las nacientes en los glaciares de la cordillera principal, hasta el río Desaguadero, en el límite con la Provincia de San Luis. En su recorrido oeste-este traspone las sierras de Las Huayquerías para finalmente extinguirse después de beneficiar con su caudal a nueve Departamentos de la Provincia de Mendoza: Tunuyán, San Carlos, Tupungato, Luján de Cuyo, Rivadavia, Junín, San Martín, Santa Rosa y La Paz. En la Figura 1 se puede apreciar la cuenca del Río Tunuyán, destacándose al centro de la misma la ubicación del embalse El Carrizal.



Fuente: Proyecto PNUD/FAO/ARG//00/008

Figura 1. Cuenca del Río Tunuyán

El Carrizal recibe los aportes del tramo superior del Río Tunuyán. Sus aguas son empleadas para el riego de unas 85.000 has de vid, frutales y otros cultivos en su tramo Inferior. Además, el embalse es utilizado para la generación de una pequeña cantidad de energía eléctrica, así como para diversos usos recreativos, especialmente durante la temporada estival.

Desde hace varios años se advierte sobre los efectos detrimentales que, sobre la calidad de las aguas del embalse, vienen provocando diversas actividades humanas. Chambouleyron y otros (1996) señalan que *“en el embalse se estaría produciendo un marcado proceso de eutroficación, que estaría contribuyendo al deterioro de la calidad del agua”*. Algunas de esas actividades contaminantes tienen lugar en la subcuenca superior (agricultura,

industria, tratamiento de líquidos residuales y otros) aunque también desde sectores aledaños al espejo de agua y en su costa misma (actividad petrolera, pesca, turismo y recreación). Todo ello estaría provocando un desmejoramiento paulatino de la calidad del agua en el embalse. Ello, a su vez, daría origen a afectaciones que, en mayor o menor medida, pueden influir sobre las mismas actividades que se desarrollan en el embalse y en la subcuenca inferior.

1.1. División de la cuenca del Río Tunuyán

La cuenca del Río Tunuyán se divide operativamente en una subcuenca alta y otra baja. En la primera se incluye a los departamentos de San Carlos, Tunuyán, Tupungato y parte de Luján de Cuyo. La subcuenca inferior del río está constituida por la Llanura de la Travesía del Este, que se extiende desde las Huayquerías hasta el límite con San Luis.

Dentro de las actividades agrícolas del oasis superior, que abarcan unas 17.000 ha con derecho definitivo de riego, predomina el cultivo de frutales de pepita (manzano y peral), mientras que en el oasis inferior la actividad agrícola se centra en el cultivo de frutales de carozo, viñedos y olivares, comprendiendo unas 85.000 ha.

En el oasis superior se han desarrollado cinco importantes centros poblados (Tunuyán, San Carlos y la Consulta en el sector pedemontano, Tupungato y San José en el sector intermontano), mientras que en el oasis inferior se destacan las localidades de San Martín, Rivadavia, Junín y Palmira, que concentran a más de 250.000 habitantes, y exhiben un importante desarrollo agroindustrial. En la década del '60 se construyó entre ambos oasis el dique embalse El Carrizal. El mismo almacena los caudales derivados desde el oasis superior más las crecidas de verano producidas por fusión nival. El manejo establecido por el Departamento General de Irrigación (DGI) indica que se debe derivar para el oasis superior el 17 % del caudal del Río Tunuyán, asignándose la diferencia al oasis inferior.

El crecimiento urbano e industrial, acompañado de una creciente demanda de agua, el desarrollo de una agricultura intensiva con altos requerimientos de agua y agroquímicos, y una actividad urbana no muy eficiente en la depuración de las aguas servidas, con vuelcos al río o a sus afluentes, están ocasionando importantes efectos negativos sobre la calidad del agua del Río Tunuyán. A ello debe agregarse el intenso uso del recurso hídrico en el oasis superior, lo que se conjugaría con todo lo mencionado antes, para producir una lenta contaminación del agua de El Carrizal (Chambouleyron y otros, 2002).

1.2. Fuentes de contaminación

En la subcuenca alta del Río Tunuyán se puede identificar, al menos, a 60 establecimientos industriales, que en general realizan vertidos. Sus rubros son variados, aunque predominan las bodegas, las conserveras y los establecimientos elaboradores de jugos y caldos para sidra. En los efluentes de dichos establecimientos hay importantes aportes de materia orgánica, además de poderse apreciar una elevada concentración de cloruros y Sodio.

Respecto de la contaminación de origen cloacal,, en el caso del Río Tunuyán implican un peligro concreto de contaminación los efluentes provenientes de la Planta Depuradora Tunuyán, de Obras Sanitarias Mendoza S.E. La misma se encuentra colmatada, no ofreciendo garantías en cuanto a su tratamiento. Son notables los aportes de Nitrógeno y Fósforo que son vertidos al río, además de altas cargas bacterianas.

Un tipo de contaminación difusa en la cuenca está originada en la producción agrícola, debido sobre todo al uso de agroquímicos (pesticidas y fertilizantes) que aportan elementos contaminantes hacia la red hídrica, tales como Nitrógeno y Fósforo.

Otro tipo de contaminación difusa de difícil control se produce cuando la red hídrica atraviesa asentamientos poblacionales. Ya se mencionó la presencia de varios centros poblados en la cuenca alta del Río Tunuyán.

En cuanto a la actividad petrolera, en esta cuenca la misma se presenta en un sector ubicado aguas arriba del ingreso al embalse. Los efluentes de la actividad pueden afectar al recurso hídrico aumentando su tenor salino, ya que las aguas de purga que acompañan al petróleo en su extracción presentan valores que pueden llegar a 80.000 $\mu\text{mhos/cm}$, además del peligro de derrames de hidrocarburos, limitando los posibles usos del recurso hídrico.

Otras actividades potencialmente problemáticas en la cuenca son las derivadas de las aguas minerales, de actividades mineras ubicadas en el piedemonte, emprendimientos piscícolas, y aquellos asociados a las prácticas deportivas y a las actividades de esparcimiento.

1.3. Calidad del agua en lagos y embalses

El término “eutrofización” ha sido utilizado cada vez más para designar el aporte artificial e indeseable de nutrientes minerales, principalmente de Fósforo y Nitrógeno, a las masas de agua. Los lagos pueden clasificarse en “oligotróficos” (del griego “poco alimento”) o “eutróficos” (“bien alimentado”) reservándose el término “mesotrófico” para describir las reservas de agua en estado de transición entre la oligotrofia y la eutrofia. Aunque estas descripciones tróficas no tienen un significado absoluto, se utilizan de forma general para denotar la cantidad de nutrientes de una masa de agua, o para describir los efectos de los nutrientes en la calidad general del agua y/o de las condiciones tróficas de una masa de agua. Se ha intentado relacionar dichos términos descriptivos con valores “límite” específicos para ciertos parámetros de calidad del agua. En la Tabla 1 se presentan los valores correspondientes a la clasificación de la OCDE (1982), que proporciona valores límites específicos para diversas condiciones tróficas, en lagos de zonas templadas.

Tabla 1. Valores límite para un sistema concreto de clasificación trófica

Categoría trófica	TP	Chl media	Chl máxima	Media de Secchi	Mínimo de Secchi
Ultraoligotrófico	< 4.0	< 1.0	< 2.5	> 12.0	> 6.0
Oligotrófico	< 10.0	< 2.5	< 8.0	> 6.0	> 3.0
Mesotrófico	10-35	2.5-8	8-25	6-3	3-15
Eutrófico	35-100	8-25	25-75	3-1.5	1.5-0.7
Hipertrófico	> 100	> 25	> 75	< 1.5	<0.7

Fuente: modificado de OCDE (1982)

Referencias

TP	media anual de la concentración de fósforo total en el agua ($\mu\text{g/l}$)
Chl media	media anual de la concentración de clorofila a en aguas superficiales ($\mu\text{g/l}$)
Chl máxima	pico anual de la concentración de clorofila a en aguas superficiales ($\mu\text{g/l}$)
Media de Secchi	media anual de transparencia de la profundidad de Secchi (m)
Mínimo de Secchi	mínimo anual de transparencia de la profundidad de Secchi (m)

A pesar de lo dicho, existen limitaciones a la hora de utilizar valores precisos para definir las condiciones tróficas de un lago. Es inevitable un cierto grado de superposición, esto es, algunas masas de agua pueden clasificarse en una cierta condición trófica basándose en un parámetro y en otra condición trófica basándose en un segundo parámetro. La OCDE ha tratado de superar esta limitación aplicando un cálculo estadístico a su base de datos. El esquema de clasificación de “límite abierto” resultante considera el uso de variados parámetros, como P total, N total; Clorofila *a*, valor máximo de clorofila *a*, y profundidad de Secchi. Con este sistema una masa de agua puede considerarse correctamente clasificada si no hay más de un parámetro que se desvíe de su valor medio geométrico por un valor de desviación de ± 2 . En ausencia de valores tróficos absolutos, el solape de una serie de valores confirma la naturaleza subjetiva de los esquemas de clasificación trófica.

La eutrofización se considera generalmente como algo indeseable, ya que sus efectos pueden interferir de forma importante con los distintos usos que el hombre hace de los recursos acuáticos, como abastecimiento de agua potable, uso recreativo, riego, etc. Por ello, las aguas eutróficas están sujetas a mayores restricciones en su uso que las oligotróficas. Sin embargo, no debe olvidarse que el aumento de la productividad que se da en el proceso de eutrofización, puede tener rasgos positivos en algunas circunstancias.

1.4. Síntomas de la eutrofización

Los lagos oligotróficos se caracterizan por presentar concentraciones bajas de nutrientes en la columna de agua, por poseer comunidades de plantas y animales diversas, por un bajo nivel de productividad primaria y de biomasa, y una calidad de agua globalmente buena para la mayoría de los usos. En contraste, las masas de agua eutróficas poseen un alto nivel de productividad y de biomasa en todos los niveles tróficos; con frecuencia proliferan las algas, tienen aguas profundas anóxicas (correspondientes al hipolimnion) durante los períodos de estratificación térmica, poseen a menudo menor diversidad de especies de plantas y animales, tienen un crecimiento intenso de plantas acuáticas en la zona litoral y una pobre calidad de agua para muchos de sus usos.

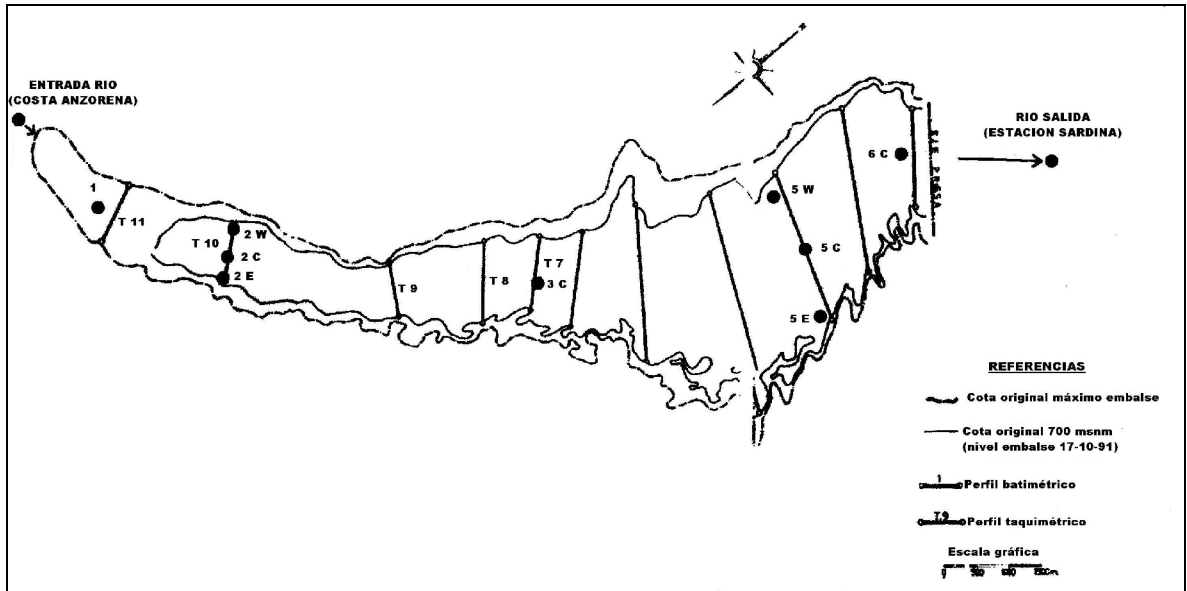
Las principales propiedades de un lago que se ven influenciadas por su estado trófico son (i) transparencia del agua; (ii) nivel de crecimiento de macrófitas; (iii) concentración y composición de las algas; (iv) suministro de organismos como alimento para peces; (v) concentración de oxígeno disuelto; (vi) pH; (vii) concentración de iones metálicos divalentes; (viii) concentración de residuos de origen orgánico; y (ix) concentración de nutrientes vegetales.

2. MATERIALES Y MÉTODO

Se realizó una minuciosa revisión de información disponible sobre valores de parámetros de calidad de agua, tanto a nivel de la subcuenca del Río Tunuyán Superior como en el embalse El Carrizal. Ello permitió prever las determinaciones a realizarse en el presente estudio, así como los sitios más apropiados a muestrear.

Se efectuó un relevamiento de las instalaciones de los clubes del perilago del embalse El Carrizal, con especial énfasis en aquellos elementos que pudieran influir en la contaminación, actual o potencial, del espejo de agua.

Para poder determinar el estado trófico del agua de El Carrizal se realizaron campañas en diciembre de 2001 y en noviembre de 2002, seleccionándose sitios de muestreo, tanto en el centro como cerca de las costas del embalse. Como referencia se utilizó información correspondiente a estudios de sedimentación efectuados por Agua y Energía Eléctrica de la Nación (1991); en que se determinaron transectas, como puede apreciarse en la Figura 2. En la misma se destacan los puntos de muestreo determinados para el presente estudio.



Fuente: modificado de Agua y Energía Eléctrica S.E. (1991)

Figura 2. Embalse El Carrizal con indicación de transectas y puntos de muestreo

Los muestreos realizados permitieron estudiar parámetros de calidad de agua para condiciones hidrológicas distintas, ya que mientras que en el muestreo de diciembre de 2001 el embalse se encontraba en cota máxima, en noviembre de 2002 el mismo se encontraba notablemente por debajo de los niveles habituales para la época.

En el año 2001, en los puntos correspondientes a las costas, se determinaron parámetros de calidad de agua mediante Sonda Multiparamétrica, a diversas profundidades y hasta el fondo. Este procedimiento no se repitió en esos puntos en el muestreo de noviembre de 2002. En los sitios correspondientes al centro del embalse (puntos “C” de Figura 2) y para ambas fechas de muestreo, mediante el uso de muestreador Van Dorn se recolectaron muestras de agua cada metro, desde la superficie y hasta el fondo. Las mismas fueron conservadas en frío y transportadas al laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCuyo) para determinar Fósforo Total. En el punto correspondiente al ingreso del Río Tunuyán al embalse (“Costa Anzorena”) y en el punto de salida del mismo (“Estación Sardina”) se relevaron parámetros de calidad de agua con Sonda Multiparamétrica, tomándose además muestras destinadas a análisis de laboratorio. Las técnicas de laboratorio utilizadas para los análisis químicos realizados fueron:

- Fósforo Total: Standard Methods 17ª Ed., 1989.
- Nitrato y Amonio se determinaron por las siguientes técnicas colorimétricas: método del salicilato; método por reducción con cadmio y método de la diazotización

cromotrófica (APHA, AWWA, WPCF, 1992), respectivamente, empleando kits del laboratorio HACH. Las lecturas se realizaron en espectrofotómetro de la misma marca.

- Demanda Química de Oxígeno: por método colorimétrico en espectrofotómetro Hach, con los kits correspondientes.

Además, se extrajeron muestras de agua para análisis microbiológico y para estudios de fitoplancton. En cada sitio se determinó la profundidad de extinción de la luz mediante el uso de disco Secchi.

En todos los puntos de muestreo se determinaron, mediante el uso de Sondas Multiparamétricas Horiba U-10 y Horiba U-23, los valores de pH, Conductividad Eléctrica (CE), Turbidez, Oxígeno Disuelto, Temperatura y Salinidad, correspondientes a las diferentes profundidades.

En el muestreo de diciembre de 2001, en ciertos puntos del embalse en los que se extrajeron muestras para la determinación de parámetros químicos, también se recolectaron muestras de agua en recipientes estériles, destinadas a la determinación de los parámetros microbiológicos correspondientes a Bacterias Aerobias Mesófilas (UFC/ml), Bacterias Coliformes Totales y Bacterias Coliformes Fecales (NMP/100 ml) y Presencia de *Pseudomonas aeruginosa*. Las técnicas utilizadas en cada caso fueron las siguientes:

- Bacterias aerobias mesófilas, recuento en agar por standar methods 9215.B (APHA, AWWA, WPCF, 1992).
- Bacterias coliformes totales: técnica del NMP (APHA, AWWA, WPCF, 1992).
- Bacterias coliformes fecales: técnica del NMP (APHA, AWWA, WPCF, 1992).
- *Pseudomonas aeruginosa*: técnica tomada del German drinking water regulations. Merk.

Las muestras de agua destinadas a la cualificación de fitoplancton en la columna de agua fueron tomadas por duplicado mediante botella Van Dorn a distintas profundidades. Las muestras de superficie fueron extraídas por arrastre de red de 20 μm de poro, con posterior conservación con formol a 4% en ambos casos. Se tomaron por triplicado 100 ml de agua fijadas con lugol, para el análisis cuantitativo (APHA, 1995). El recuento de fitoplancton se realizó en cubetas de sedimentación mediante el uso de microscopio invertido. Los resultados de abundancia se expresan en células por mililitro (cél/ml).

Con el objetivo de determinar características estructurales de las comunidades, se calcularon índices de diversidad específica de Shannon & Weaver (H') y de Dominancia de Simpson (λ). (en Simpson, 1949 y Shannon, 1949). El último representa la probabilidad que dos individuos tomados al azar de una comunidad sean de la misma especie.

Como criterio para describir y cuantificar el estado trófico del embalse se utilizó el índice numérico o TSI (Trophic State Index) de Carlson (1977) con las variables Fósforo Total (TP: valor promedio en la zona superior de la zona eufótica), Clorofila *a* (Clor. *a*: promedio zona eufótica) y transparencia del agua (SD: estima la visibilidad obtenida con el disco de Secchi). Este índice expresa el estado trófico de un lago para uno o más valores numéricos (en una escala de 0 a 100) para expresar numéricamente los conceptos oligotrófico, mesotrófico y eutrófico. En la Tabla 2 se presentan los valores característicos de las variables asociadas al índice y del propio TSI.

Tabla 2. Valores del Índice de Estado Trófico (TSI) y de sus variables asociadas

TSI	SD (m)	TP ($\mu\text{g/l}$)	Clor. <i>a</i> ($\mu\text{g/l}$)
0	64	0.75	0.04
10	32	1.5	0.12
20	16	3	0.12
30	8	6	0.94
40	4	12	2.6
50	2	24	6.4
60	1	48	20
70	0.5	96	56
80	0.25	192	154
90	0.12	384	427
100	0.062	768	1183

Fuente: Carlson (1977)

3. RESULTADOS

3.1. Relevamiento en los clubes del perilago

Para sintetizar la información proveniente de esta actividad del proyecto, se puede decir que se comprobó que la mayor parte de los clubes poseen instalaciones sanitarias y edificaciones adecuadas, considerándose además que realizan un buen manejo de residuos. Sin embargo, y dado que este relevamiento se realizó en una época del año con una afluencia de público menor, se tendría un panorama más realista realizando relevamientos similares en momentos pico de afluencia de visitantes, durante la temporada estival.

3.2. Resultados de los análisis físicos, químicos y biológicos

Por razones de espacio no será posible presentar las tablas con la totalidad de los resultados obtenidos en los muestreos realizados en las aguas del embalse El Carrizal, presentándose en cambio gráficos de resultados obtenidos de puntos de muestreo.

3.2.1. Oxígeno Disuelto

En las figuras 3 a 6 se aprecian los resultados de OD en muestras de agua del embalse.

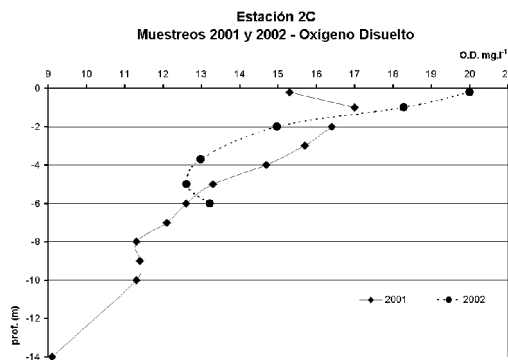


Figura 3. Oxígeno Disuelto. Estación 2C

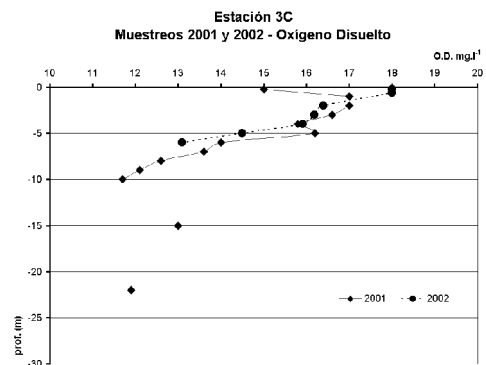


Figura 4. Oxígeno Disuelto. Estación 3C

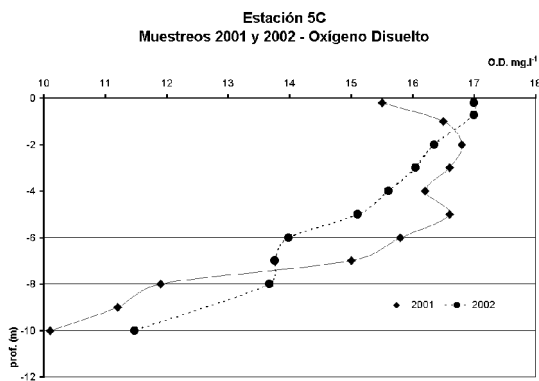


Figura 5. Oxígeno Disuelto. Estación 5C

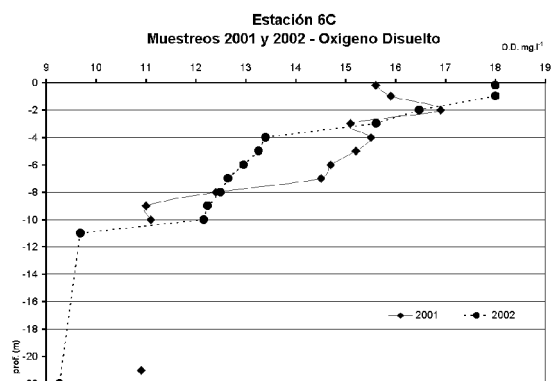


Figura 6. Oxígeno Disuelto. Estación 6C

No se evidenciaron variaciones importantes entre los muestreos de 2001 y de 2002, con valores de 10 a 15 mg/l, adecuados para vida acuática. En 2002 se apreció un ligero aumento del OD a 0,20 m de profundidad, explicado por la alta densidad algal en el embalse, con importante actividad fotosintética y mayor producción de Oxígeno.

3.2.2. Temperatura del agua

En las Figuras 7 a 10 se presentan valores para Temperatura de agua en el embalse.

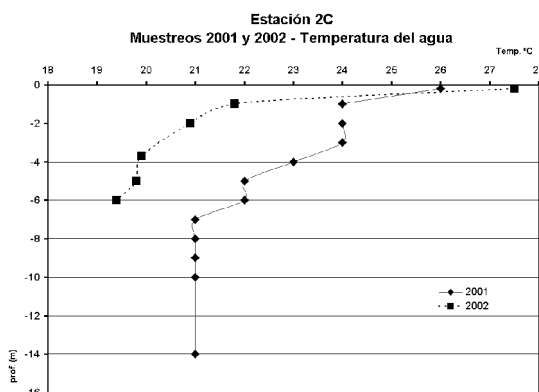


Figura 7. Temperatura del agua. Estación 2C

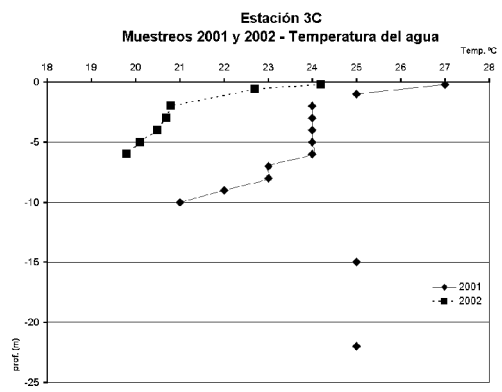


Figura 8. Temperatura del agua. Estación 3C

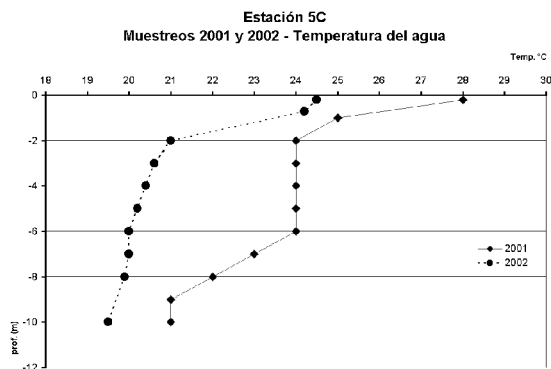


Figura 9. Temperatura del agua. Estación 5C

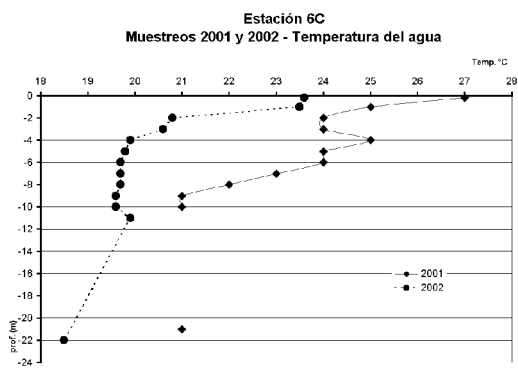


Figura 10. Temperatura del agua. Estación 6C

Puede apreciarse que, mientras en el muestreo de 2001 el epilimnion se presentaba a una profundidad de entre 2 y 3 m, con temperaturas de 24 a 28 °C, en el muestreo del año 2002 el mismo se situó a profundidades de entre 2 y 4 metros, con temperaturas de 20 a 27 °C.

3.2.3. Conductividad Eléctrica (CE)

En las Figura 11 se pueden apreciar valores de CE del agua para la estación 6C, representativa de otras estaciones en ocasión de las fechas de muestreo para este estudio.

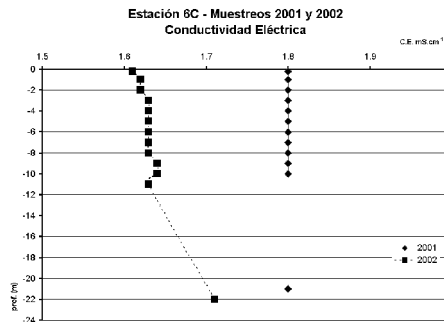


Figura 11. Conductividad Eléctrica. Estación 6C

Los valores de C.E. no variaron mayormente entre los muestreos de 2001 y 2002, situándose alrededor de 1,2 mS/cm para el primer caso, y entre 1,6 y 1,8 mS/cm para el segundo. En todos los casos los valores se correspondieron en general con los registrados en las aguas del Río Tunuyán, aceptables para el riego de los cultivos del área Inferior.

3.2.4. Nutrientes

En el muestreo de 2001 el Nitrógeno Total presentó altas concentraciones en la Entrada al embalse (14,7 mg/l). En el 2002 dichos valores fueron levemente inferiores (cerca de 13,3 mg/l). En ambos casos la concentración de Nitratos fue más elevada que la de Amonio.

En el año 2001 se presentaron valores más altos de Nitrógeno Total en el centro del embalse (2C, 3C y 5C a profundidades de 3 a 10 m) alcanzando valores de 11 a 14,7 mg/l. En el 2002 dichos valores disminuyeron, excepto en las estaciones de entrada, salida, y 5C. En esta última se registró el mayor valor de las dos temporadas, con 17,8 mg/l.

Con respecto a los resultados de Fósforo total, en 2001 se destaca el elevado valor alcanzado en profundidad en la estación 2C, con 28mg/l. En 2002, en cambio, la mayor concentración se presentó en superficie, en la estación 3C, con un valor de 139 mg/l.

3.2.5. Materia Orgánica

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) reveló que en el agua del embalse no existieron, en ocasión de los muestreos, concentraciones elevadas de materia orgánica, en especial en 2001, en que los mayores contenidos eran de alrededor de 10 mg.l⁻¹. En 2002 las cifras menores eran cercanas a 20 mg.l⁻¹ o menores. Una excepción a ello se presentó en la estación 2C, en donde a 0,2 m de profundidad se registró un valor de 84 mg.l⁻¹.

3.2.6. Resultados de los estudios de fitoplancton

En el muestreo del año 2001 se analizó el fitoplancton en muestras de un perfil estratificado de la columna de agua (1 a 6 m.). La diversidad algal fue baja, sin diferencias significativas entre muestras, en lo que a composición taxonómica se refiere (ver Tabla 3).

Tabla 3. Especies de fitoplancton presentes en muestras de agua. Muestreo diciembre de 2001

Especie	Muestra				
	C1	C2	C3	C5	C6
Diatomeas					
<i>Amphora exigua</i> Gregory		*		*	*
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr) Simonsen	*			*	*
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	*	*	*		*
<i>Eunotia pectinalis</i> Kützing		*	*		*
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitz) Ehrenberg	*			*	*
Cianofitas					
<i>Lyngbya limnetica</i> Lemn.	*	*			*
<i>Oscillatoria tenuis</i> Ag				*	
<i>Microcystis wesenbergii</i> (Komarek)	*	*	*	*	*
Clorofitas On Chaetophorales					
<i>Ctenocladus circinnatus</i> Borzi		*			*

Tanto *Aulacoseira granulata* como *Cyclotella meneghiniana* son elementos típicos del plancton de aguas estancadas y embalses. *Cyclotella meneghiniana* es, a su vez, una especie característica de verano, observándose en alta densidad ese año. Las especies de cianofitas (*Lyngbya*, *Oscillatoria* y *Microcystis*) son típicas de ambientes eutrofizados, y conocidas por producir toxinas cuando las condiciones permiten su crecimiento en masa. En el 2002 se pudo profundizar el estudio, analizándose la estructura de las comunidades presentes en muestras de Estación 1 (desembocadura del río, a 0 y 0,2 m), 2C (0 y 0,6 m) y 3C (0,2 y 0,7m). Ese año el agua presentó color verde intenso y escasa a nula transparencia debido a la elevada densidad de algas visibles macroscópicamente, reflejando un estado eutrófico. La diversidad algal fue baja con dominancia de algunas especies (ver Figura 12).

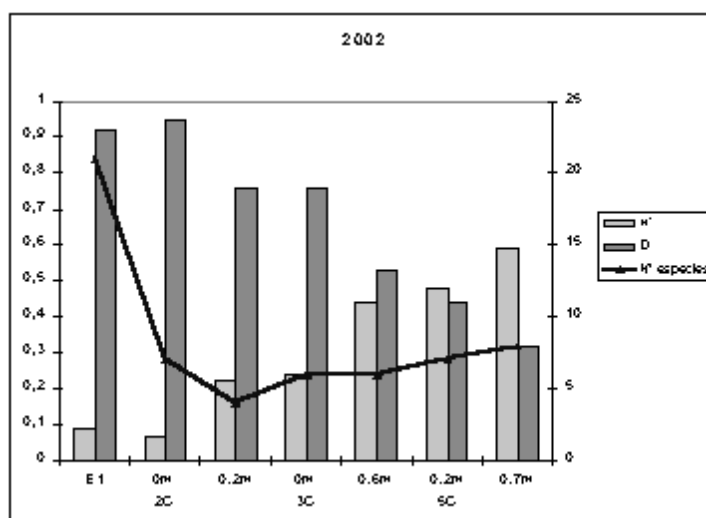


Figura 12. Riqueza, diversidad y dominancia de especies del fitoplancton. Muestreo año 2002

Se describieron en total 28 especies de diatomeas, clorófitas, cianófitas y dinoflagelados. El mayor número de especies se registró en la estación 1 (cola del embalse) con 21 especies, posiblemente debido a la mayor transparencia y menor profundidad de la columna de agua en ese sector. En la Estación 2C se registraron 6 especies en superficie y 4 a 0,2 m. de profundidad; en 3C se registraron 6 especies tanto en superficie como a los 0,6 m., y en la 5C se registraron 7 especies en superficie y a los 0,7 m de profundidad. En todas las muestras se registró dominancia de la clorófito *Chlamydomona sp.* (en elevadas densidades, de 225 a 1102 cél/ml) especie causante de la coloración verdosa del agua. En las estaciones 1 y 5C a los 0,70 m dominaron cianófitas y diatomeas, respectivamente. En la estación correspondiente a la cola del embalse (Estación 1) se presentó en alta densidad la cianófito *Lyngbya limnetica* mientras que en la estación 5C (a 0,70m) lo hizo la diatomea *Diatoma vulgare*.

En general, las especies presentes en la fracción fitoplanctónica son conocidas como tolerantes o muy tolerantes a la polución y/o a elevada carga de nutrientes. Entre estas se destacan *Lyngbya limnetica*, *Asterionella formosa*, *Cyclotella meneghiniana*, *Diatoma vulgares*, *Navicula cryptocephala*, *Nitzschia palea* y *Rhoicosphaenia curvata*. Las mismas son características de aguas eutróficas o hipereutróficas. Entre las euglenófitas se destacó la presencia de *Trachelomona hispida* y de *Stronbomona verrucosa*.

Para describir y valorar el estado trófico del embalse, se seleccionó el TSI basado en la transparencia, según visibilidad con el disco de Secchi (ver Tabla 4).

Tabla 4. Valores de Índice de Estado Trófico (TSI) basado en transparencia con disco de Secchi (SD)

Estación	TSI (SD) 2001	TSI (SD) 2002
Entrada	-	-
1	71.52	-
2W	60	-
2C	60	81.84
2E	60	75.56
3C	51.52	72.18
5W	51.52	68.62
5C	-	-
5E	56.21	-
6C	53.22	-

El estado del embalse correspondería a “eutrófico”, lo que se vio confirmado por los valores de Clorofila *a* (más elevados en 2002), por una disminución en la diversidad de especies, con dominancia de clorófitas, particularmente de *Chlamydomona sp.*

3.2.7. Resultados de los análisis microbiológicos

Por problemas de conservación, las muestras para análisis microbiológicas del año 2002 no pudieron ser utilizadas, por lo que los comentarios a continuación corresponden exclusivamente al muestreo del año 2001.

A la luz de la normativa del Código Alimentario Argentino, los resultados de los análisis microbiológicos indican, para el caso de las bacterias aerobias mesófilas, que en el 30 % de las muestras se sobrepasaba el valor límite para agua potable, de 500 UFC/ml. En cuanto a las bacterias coliformes totales, el 100 % de los valores registrados se ubica por encima del

valor límite para agua potable, de NMP 2 bacterias/100 ml. Lo mismo ocurrió en el caso de las bacterias coliformes fecales, es decir que el 100 % de las muestras sobrepasaba el límite del Código Alimentario Argentino para agua potable, de NMP 2 bacterias/100 ml. En cuanto a la investigación sobre la presencia de *Pseudomonas aeruginosa*, puede observarse la Ausencia de la misma en el 100 % de las muestras analizadas.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Puede aquí destacarse que en ocasión de los muestreos realizados el embalse presentó estados “eutrófico” e “hipereutrófico” según el Índice de Estado Trófico (TSI) utilizado. Ello se vio corroborado por los resultados de Clorofila *a*, por la importante densidad algal medida (hasta 1102 células/ml) y por la baja diversidad de especies de fitoplancton presente, con una alta dominancia de algunas de las especies presentes.

También es relevante hacer notar una alta concentración de Nitrógeno en el agua, en el muestreo del año 2001, especialmente si se considera un mayor volumen de agua en esa ocasión. Por ello, puede deducirse que el aporte de tal elemento era muy considerable en esa ocasión, comparado con los valores del muestreo de 2002. Se estima que dicho aporte era originado en las inmediaciones del embalse en vista que, en ambos muestreos, las mayores concentraciones de Nitrógeno se registraron en el centro del cuerpo de agua, sin evidencia de un gradiente desde el ingreso del agua y hacia el pie del embalse.

En cuanto a los valores de Fósforo, las menores concentraciones registradas en 2001 se atribuirían a su presencia en forma particulada. En ese muestreo el Fósforo se constituía en elemento limitante, lo que se reflejaba en una baja densidad de fitoplancton. Por el contrario, en el muestreo de 2002 el Nitrógeno se presentaba, probablemente, en forma orgánica, en general, excepto en la Estación 3C, sospechándose en ese caso la existencia de un aporte externo. La mayor concentración de Fósforo Total en el muestreo del año 2002 podría deberse, además, a un menor volumen de agua embalsada.

Los resultados microbiológicos sugieren, en ocasión del muestreo de 2001, la existencia de un aporte de microorganismos indicadores de contaminación desde el cauce del Río Tunuyán. Si bien los valores obtenidos han sido juzgados a la luz de la normativa para agua potable, muy exigente considerando los usos del agua del embalse, la problemática microbiológica debe ser seriamente considerada en función de los usos recreativos que se desarrollan en El Carrizal. En relación con lo anterior, debe recordarse lo mencionado acerca del ineficiente tratamiento de líquidos cloacales de la Planta de Tratamiento de Tunuyán, por lo que más allá de mejorar la gestión de líquidos servidos en el perillago, y en tanto no se mejore la deficiencia marcada, la situación tenderá a empeorar.

Los resultados de pH y CE obtenidos indican buena aptitud del agua para su utilización en el riego agrícola de los cultivos del área Inferior. Los valores algo mayores de CE para el año 2002 se justificarían por un menor volumen de agua embalsada en dicha ocasión.

La incorporación de nutrientes al lago, favoreciendo un aumento de los valores en parámetros que hacen al estado de eutrofia, sería mejorada también mediante un control de los vertidos de la Planta de Tratamiento de Tunuyán, al igual que lo harían mayores controles en los efluentes desde poblaciones de la cuenca alta. Una cierta carga de nutrientes, resultante del lixiviado desde tierras agrícolas, se considera inevitable. De considerarse necesario en el futuro su disminución, para ello deberían aplicarse medidas mucho más amplias, consideradas poco factibles en la actualidad.

El contenido de Materia Orgánica, expresado como DQO, no mostró valores preocupantes en ocasión de los muestreos realizados. Considerando además, que los valores de Oxígeno Disuelto se mostraron elevados (buenas posibilidades de biodegradación) puede concluirse que, en ocasión de los muestreos realizados, no se presentaban síntomas de contaminación orgánica en el agua.

El Carrizal es un embalse con múltiples usos de sus aguas (riego, recreación, generación de energía, pesca, etc.). Si bien el fenómeno de la eutroficación se encontraría en un cierto grado de avance, previo a planificarse actividades concretas para su control, se hará necesario realizar una adecuada valoración económica de usos factibles, determinándose prioridades, y en función de ellas diseñar un plan que contemple qué tan lejos es necesario llegar (en términos de la relación costo/efectividad). Ello permitirá enfocarse en aquellos controles que más se adecuen a objetivos previamente planteados. Será posible así determinarse, por ejemplo, que un cierto grado de nutrientes en el agua podría ser favorable para la agricultura en la subcuenca Inferior. De todas maneras, debe plantearse la ejecución de actividades de control (monitoreos permanentes) que ayudarán a evitar valores excesivos en ciertos parámetros, con lo que se podrían desencadenar efectos no deseados, con repercusión desfavorable para ciertos usos del recurso.

Mediante los análisis efectuados en este estudio, ha sido posible obtener un panorama más avanzado acerca del estado trófico de las aguas del embalse El Carrizal. Sin embargo, para arribar a conclusiones más precisas será necesario plantear acciones de mayor alcance temporal, al menos durante dos años, incluyendo muestreos con una frecuencia mínima estacional (idealmente mensual). En dichas ocasiones deberán realizarse análisis físicos, químicos y biológicos similares a los realizados en la presente investigación, para permitir una mejor caracterización del agua del embalse. Además, sería aconsejable incluir la extracción y análisis de muestras de sedimentos de fondo del embalse, para estudiar la retención de nutrientes y demás contaminantes en los mismos.

Se considera que el marco más adecuado para coordinar dicha tarea es a través del Departamento General de Irrigación (DGI). Este organismo ha realizado monitoreos en el embalse, aunque se considera que los mismos son insuficientes si se pretende caracterizar adecuadamente a sus aguas. Actualmente en el DGI se está ejecutando el “Programa de Calidad de Agua y Suelos”. Una de las tareas previstas en dicho Programa es la de monitorear la calidad del agua de los embalses de la Provincia de Mendoza. Se espera que con su ejecución se logre avanzar en tal sentido. Sería deseable que, a partir de ello, se planteen actividades de monitoreo permanente, que permitan mantener una visión actualizada de la problemática.

5. BIBLIOGRAFÍA

Agua y Energía Eléctrica. Gerencia de Ingeniería (1991) “*Estudio de colmatación del Embalse El Carrizal*”. Departamento General de Irrigación. Mendoza.

American Public Health Association (APHA). (1995) “*Standard methods for the examination of water and wastewater*”. 17th ed. APHA, Washington, D.C.

Bernhardt, Von H., Clasen, J., Hoyer, O., Wilhelms, W., 1985. “Oligotrophication in lakes by means of chemical nutrientremoval from the tributaries. Its demonstration with the Wahnbach Reservoir”. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 70: 481-533.

- Brezonik, P.L.** (1969) "Eutrophication: The process and its modeling potential". Pages 68-110 in Proceedings of a workshop on modeling the eutrophication process. University of Florida, USA
- Carlson, R.E.** (1977) "*A trophic state index for lakes*". Limnol. Oceanograf., 22: 361-369
- Chambouleyron, J. y otros** (2002) "*Impacto ambiental por la contaminación del agua de riego en el oasis del Río Tunuyán Inferior, Mendoza, Argentina*". Instituto nacional del Agua (INA) Mendoza.
- Chambouleyron, J., Drovandi, A., Barbuzza, C., Dias, R., Zimmermann, M., Solanes, R., Nacif, N., Salatino, S.** (1996) "*Evaluación del manejo y control de la calidad del agua de riego en Mendoza. Estudio de caso: dique El Carrizal*". Publicado en los anales del XVI Congreso Nacional del Agua. San Martín de los Andes, Neuquén.
- Chambouleyron, J., Drovandi, A., Dias, R., Zimmermann, M., Solanes, R., Nacif, N., Salatino, S.** (1996) "*Evaluación de la contaminación del agua de riego en el oasis del Río Tunuyán Inferior, Mendoza*". Publicado en los anales del XVI Congreso Nacional del Agua. San Martín de los Andes, Neuquén.
- UNESCO** (Editores: Sven-Olof Ryding y Walter Rast) (1992). "*El control de la eutrofización en lagos y pantanos*". Ediciones Pirámide, S.A. – Madrid.
- Proyecto PNUD/FAO/ARG//00/008. Departamento General de Irrigación** (2003) "*Planes Directores de Cuencas. Anexo Caracterización Ambiental de la Cuenca del Río Tunuyán. Mendoza*". Departamento General de Irrigación. Mendoza
- Departamento General de Irrigación** (1995-1987). "*Resultados de análisis químicos, y bacteriológicos en seis estaciones del Embalse El Carrizal*". Departamento General de Irrigación. Mendoza.
- Shannon, C. E. & W. Weaver.** (1949) "The mathematical theory of communication". University of Illinois. Urbana, Illinois 125 p.
- Simpson, E. H.** (1949) "Measurement of diversity". Nature. 163: 688.