

## DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DEL ESTADO TRÓFICO DE LAS AGUAS DEL EMBALSE EL CARRIZAL, PROVINCIA DE MENDOZA

A. Drovandi<sup>(1, 2)</sup>; J. Zuluaga<sup>(1, 2)</sup>; M. Filippini<sup>(2)</sup>; A. Bermejillo<sup>(2)</sup>; P. Peralta<sup>(3)</sup>; M. Bustamante<sup>(4)</sup>; M. Ruiz<sup>(4)</sup>; M. Granero<sup>(4)</sup>; A. Morsucci<sup>(1)</sup>; M. Velgas<sup>(1)</sup>; A. Valdes<sup>(2)</sup>; N. Nacif<sup>(2)</sup>  
<sup>(1)</sup> INA-CRA <sup>(2)</sup> Fac. de Ciencias Agrarias, U.N. de Cuyo <sup>(3)</sup> IANIGLA-CRICYT <sup>(4)</sup> INA-CRSA  
Belgrano 210 Oeste, Mendoza - Tel. (0261)4286998 – aledrovandi@ciudad.com.ar

### RESUMEN

El embalse El Carrizal se ubica sobre el Río Tunuyán, Mendoza, recibiendo aportes desde el tramo superior del río. Aguas abajo el agua es utilizada para el riego de 85.000 ha cultivadas. Además, el embalse es utilizado para generación de energía eléctrica y usos recreativos.

El desmejoramiento de la calidad del agua del embalse es notorio desde hace varios años (Chambouleyron y otros, 1996) afectando a las actividades en el lago y a diversos usos del recurso en la subcuenca inferior. Los aportes contaminantes provienen mayormente de la subcuenca superior, originados en la agricultura, la industria y la actividad sanitaria. Desde sectores próximos al embalse los aportes se originan en la actividad petrolera y desde sus costas (pesca, turismo y recreación).

Los principales objetivos de este trabajo han sido (i) estimar el estado trófico del agua del embalse, (ii) identificar las fuentes de afectación de la calidad del agua y (iii) elaborar un diagnóstico preliminar, que sirva para la gestión de los vertidos contaminantes.

En diciembre de 2001 y en noviembre de 2002 se realizaron salidas a campo, midiéndose en dichas ocasiones diversos parámetros de calidad del agua in-situ a distintas profundidades, mediante el uso de sonda. Además se tomaron muestras, en las que se analizaron nutrientes, materia orgánica, microorganismos y fitoplancton. Adicionalmente, se relevaron las instalaciones de los clubes del perilago.

Los resultados obtenidos indicaron que, en ocasión de los muestreos, el embalse presentó estados eutrófico e hipereutrófico, con gran densidad de algas, baja diversidad de especies de fitoplancton y alta dominancia de algunas de ellas.

Los resultados microbiológicos sugieren el ingreso de microorganismos indicadores de contaminación al embalse provenientes del río.

Según los valores de DQO obtenidos, no se presentaban signos de contaminación orgánica.

Las principales recomendaciones sugieren la necesidad de realizar estudios adicionales, con mayor frecuencia y duración, incluyendo el estudio de sedimentos de fondo.

Se recomienda la urgente mejora de la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Tunuyán, cuyos vertidos influirían fuertemente sobre la calidad del agua del embalse.

Finalmente, se considera que una administración unificada de toda la cuenca ayudará a una gestión ambiental más adecuada.

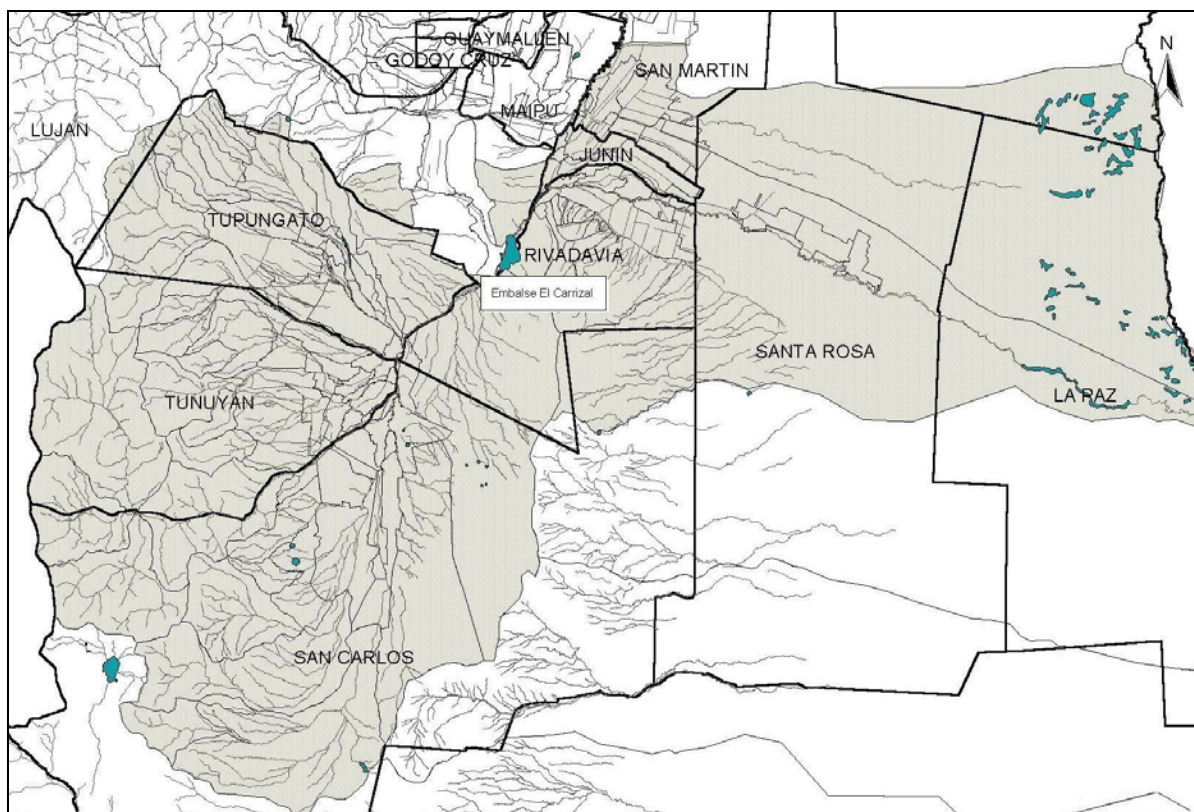
**Palabras clave:** embalse, estado trófico, contaminación, cuenca

## INTRODUCCIÓN

El embalse El Carrizal 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 se ubica entre los paralelos de 33° y 34° 58' latitud Sur, y los meridianos de 68° 55' y de 69° 47' de longitud Oeste, con una superficie total de la de 14.040 km<sup>2</sup>.

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, en la que se destaca la ubicación del embalse El Carrizal.



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

Figura 1. Cuenca del Río Tunuyán

El embalse El Carrizal y el recientemente inaugurado embalse Potrerillos, constituyen los únicos espejos de agua de grandes dimensiones del oasis Norte de la Provincia de Mendoza.

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.

En la Tabla 1 se presentan algunas características importantes que permiten caracterizar al embalse El Carrizal.

*Tabla 1. Embalse El Carrizal: Ubicación Geográfica y Parámetros Morfométricos*

Latitud	33° 22'
Longitud	68° 42'
Altura (m.s.n.m)	739
Superficie cuenca (km <sup>2</sup> )	10.040
Temperatura media anual (°C)	12,8
Precipitación media anual (mm)	310
Frecuencia días con helada	210
Superficie embalse (km <sup>2</sup> )	31,48
Longitud máxima (km)	15,3
Ancho máximo (km)	5,1
Longitud de costas (km)	95,4
Volumen (Hm <sup>3</sup> )	344
Profundidad máxima (m)	41,5
Profundidad media (m)	10,0
Tw (años)	0,32
Variación anual de nivel (m)	6

*Fuente: DGI (1995-1987)*

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.

### **División de la cuenca del Río Tunuyán**

Como se sugirió en párrafos anteriores, la cuenca del Río Tunuyán se puede dividir en una subcuenca alta y en otra baja. En la primera se incluye a los departamentos de San Carlos, Tunuyán, Tupungato y parte de Luján de Cuyo. Por su parte, la subcuenca inferior del río está constituida por la Llanura de la Travesía del Este, que se extiende desde las Huayquerías hasta el Departamento de la Paz, en 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. Dichos centros urbanos concentran a más de 250.000 habitantes, y exhiben un importante desarrollo agroindustrial.

En la década de los años '60 se construyó, entre ambos oasis, el dique embalse El Carrizal, de 360 Hm<sup>3</sup> de capacidad, el que comenzó a operar en 1971. Este embalse 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.

La división dada por el emplazamiento del embalse determinó una situación particular en relación con el impacto negativo que se va percibiendo en el oasis inferior a causa del crecimiento explosivo, en los últimos años, del oasis superior. 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 del dique El Carrizal (Chambouleyron y otros, 2002).

### **Fuentes de contaminación desde el oasis superior**

En primera instancia, se hará referencia a las fuentes de contaminación de origen industrial, pues en la subcuenca alta del Río Tunuyán se puede identificar, al menos, a 60 establecimientos industriales, que en general realizan vertidos.

En cuanto a los rubros de actividad industrial, los mismos son variados, aunque con predominio de 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, el DGI prohíbe el vuelco de tales efluentes, cualquiera sea su tratamiento, a cauces públicos bajo su jurisdicción. Sin embargo, para 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, los que incidirían en el estado trófico de las aguas del embalse El Carrizal.

En las descargas de la planta de Tunuyán se encuentran también altas cargas bacterianas, las que oscilan entre 10<sup>5</sup> y 10<sup>7</sup> colifecales/100 ml, lo que trae aparejado un alto riesgo de propagación de enfermedades de transmisión hídrica.

Otro tipo de contaminación presente en la cuenca, de características difusas en este caso, es la originada en la producción agrícola. La misma se origina en el uso de agroquímicos, como pesticidas y fertilizantes, que aportan elementos contaminantes hacia la red hídrica, tal como Nitrógeno y Fósforo. Los mismos pueden alterar la calidad del agua, afectando flora y fauna naturales, pudiendo producir cambios de importancia a nivel del ecosistema acuático.

Otro tipo de contaminación de tipo difusa, de importancia en algunos casos, y lamentablemente de difícil control, se produce cuando la red hídrica atraviesa asentamientos poblacionales. En estos casos, el agua se va cargando de materiales contaminantes, sólidos o líquidos, los que pueden comprometer también la calidad del recurso. En este sentido, anteriormente se mencionó la presencia de varios centros poblados, desde los que se pueden incorporar sustancias contaminantes a la red hídrica.

En cuanto a la afectación de la calidad del agua producida por la actividad petrolera, en esta cuenca existe actividad petrolera en el sector comprendido desde el puente Zapata hasta el ingreso al embalse El Carrizal. Los efluentes de la actividad petrolera pueden afectar al recurso hídrico por aumento del tenor salino, pues las aguas de purga que acompañan al petróleo en su extracción

presentan valores que pueden llegar a 80.000  $\mu\text{mhos/cm}$  (valores superiores a los 1.500  $\mu\text{mhos/cm}$  pueden afectar el rendimiento de los cultivos). Además, se han producido derrames de hidrocarburos, que limitan 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.

### **Calidad del agua en lagos y embalses**

Durante los últimos veinte años 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.

Se ha adoptado la definición de eutrofización propuesta por la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE). Define a la eutrofización como “*el enriquecimiento en nutrientes de las aguas, que provoca la estimulación de una serie de cambios sintomáticos, entre los que está el incremento en la producción de algas y macrófitas, el deterioro de la calidad del agua y otros cambios sintomáticos que resultan indeseables e interfieren con la utilización del agua*”.

Los lagos pueden clasificarse en “oligotróficos” (del griego “poco alimento”) o “eutróficos” (del griego “bien alimentado”) mientras que se reserva 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. Un programa de control de la eutrofización puede dirigirse al logro de ciertas condiciones tróficas deseadas en la masa de agua. Por consiguiente, se ha intentado relacionar dichos términos tróficos descriptivos con valores “límites”, específicos de ciertos parámetros de calidad del agua. El Programa Internacional Cooperativo de la OCDE para la Supervisión de Aguas Interiores (1982), proporciona valores límites específicos de fósforo total, clorofila *a* y profundidad de disco Secchi para diversas condiciones tróficas, en lagos de zonas templadas. En la Tabla 2 se presentan los valores correspondientes a la clasificación mencionada.

*Tabla 2. Valores límite para un sistema concreto de clasificación trófica*

<b>Categoría trófica</b>	<b>TP</b>	<b>Chl media</b>	<b>Chl máxima</b>	<b>Media de Secchi</b>	<b>Mínimo de Secchi</b>
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 <i>a</i> en aguas superficiales ( $\mu\text{g/l}$ )
Chl máxima	pico anual de la concentración de clorofila <i>a</i> 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 se ilustra en la Tabla 3. 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  $\pm 2$ . En ausencia de valores tróficos absolutos, el solape de una serie de valores en la tabla confirma la naturaleza todavía subjetiva de los esquemas de clasificación trófica.

Tabla 3. Valores límite (medios anuales) para un sistema abierto de clasificación trófica\*

Parámetro		Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipertrófico
P total ( $\mu\text{g P/l}$ )	$\bar{X}$	8,0	26,7	84,4	
	$\bar{X} \pm 1 \text{ SD}$	4,85 – 13,3	14,5 – 49	48 – 189	
	$\bar{X} \pm 2 \text{SD}$	2,9 – 22,1	7,9 – 90,8	16,8 – 424	
	Rango	3,0 17,7	10,9 – 95,6	16,2 – 386	750 – 1200
	n	21	19 (21)	71(72)	2
N total ( $\mu\text{g N/l}$ )	$\bar{X}$	661	753	1875	
	$\bar{X} \pm$	371 – 1180	485 – 1170	861 – 4081	
	$\bar{X} \pm$	208 – 2103	313 – 1816	395 – 8913	
	Rango	307 – 1630	361 – 1387	393 – 6100	100 – 150
	N	11	8	37(38)	2
Clorofila a ( $\mu\text{g/l}$ )	$\bar{X}$	1,7	4,7	14,3	
	$\bar{X} \pm$	0,8 – 3,4	3,0 – 7,4	6,7 – 31	
	$\bar{X} \pm$	0,4 – 7,1	1,9 – 11,6	3,1 – 66	
	Rango	0,3 – 4,5	3,0 – 11	2,7 – 78	
	N	22	16(17)	70(71)	
Valor máximo de clorofila a ( $\mu\text{g/l}$ )	$\bar{X}$	4,2	16,1	42,6	
	$\bar{X} \pm$	2,6 – 7,6	8,9 – 29	16,9 – 107	
	$\bar{X} \pm$	1,5 – 13	4,9 – 52,5	6,7 – 270	
	Rango	1,3 – 10,6	4,9 – 49,5	9,5 – 275	
	N	16	12	46	
Prof. Secchi (m)	$\bar{X}$	9,9	4,2	2,45	
	$\bar{X} \pm$	5,9 – 16,5	2,4 – 7,4	1,45 – 4,0	
	$\bar{X} \pm$	3,6 – 27,5	1,4 – 13	0,9 – 6,7	
	Rango	5,4 – 28,3	1,5 – 8,1	0,8 – 7,0	0,4 – 0,5
	N	13	20	70(72)	

Fuente: modificado de OCDE., 1982

\* Las medias geométricas (después de transformarse a logaritmos decimales) se calcularon tras eliminar valores superiores o inferiores a dos veces la desviación estándar obtenida (donde fue posible) en un primer cálculo.

$\bar{X}$  = media geométrica

SD = Desviación estándar

( ) = los valores entre paréntesis se refieren al número de variables (n) utilizadas en el primer cálculo

Como se dijo anteriormente, 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.

### **Síntomas de la eutrofización**

Como se muestra en la Tabla 4, 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. A su vez, en la Tabla 5 se presenta la respuesta trófica global de los lagos a un incremento de la eutrofización.

Tabla 4. Características generales de lagos oligotróficos y eutróficos en zonas templadas

Parámetros	Tipo de masa de agua	
	Oligotrófica	Eutrófica
<i>I. Biológicos</i>		
Producción de plantas y animales	Baja	Alta
Número de especies de plantas y animales	Numerosas	Pueden estar muy reducidas en aguas hipertróficas
Niveles generales de biomasa en la reserva de agua	Bajos	Altos
Aparición de proliferación de algas	Rara	Frecuente
Cantidad relativa de algas verdes y verdeazuladas	Baja	Alta
Grado de distribución de algas	En el hipolimnion, en masas de agua estratificadas térmicamente	Por lo general sólo en las aguas superficiales
Crecimiento de plantas acuáticas en el área poco profunda de la línea costera (zona litoral)	Puede ser escaso o abundante; si ocurre, consiste por lo general en vegetación sumergida y en desarrollo	Con frecuencia abundante; generalmente aumento de algas filamentosas y disminución de macrófitas
Emigración diaria de algas	Grande	Limitada
Algunos grupos característicos de algas	Algas verdes: <i>Désmidos</i> ; <i>Staurastrum</i> ; Diatomeas: <i>Tabellaria</i> , <i>Cyclotella</i> Algas crisofíceas: <i>Dinobryon</i>	Algas verde-azuladas: <i>Anabaena</i> ; <i>Aphanizomenon</i> , <i>microcystis</i> , <i>Oscillatoria</i> Diatomeas: <i>Melosira</i> , <i>Fragilaria</i> , <i>Stephanodiscus</i> .
Algunos grupos característicos de zooplancton	<i>Bosmina obtusirostris</i> , <i>B. Coregoni</i> , <i>Ciaptomus gracilllis</i>	<i>Bosmina langirostris</i> , <i>Daphnia culcullata</i>
Animales característicos del fondo	Tanytarsus	Quironómidos
Tipos característicos de peces	Los que viven en las profundidades y agua fría (salmón, trucha, cisco)	Los que viven en superficie y agua caliente (lucio, perca, róbalo)

<i>2. Químicos</i>		
Contenido en oxígeno de las aguas del fondo (hipolimnion)	Alto todo el año	Puede ser bajo o estar ausente durante el período de estratificación térmica
Contenido total de sales en el agua (CE)	Generalmente bajo	A veces muy alto
<i>3. Físicos</i>		
Profundidad media de la masa de agua	Frecuentemente profunda	Frecuentemente poco profunda
Volumen del hipolimnion	Frecuentemente grande	Puede ser pequeño o grande
Temperatura de las aguas del hipolimnion	Generalmente fría	Generalmente el agua fría es mínima, excepto en masas de aguas eutróficas profundas
<i>4. Uso del agua</i>		
Calidad del agua para la mayoría de los usos domésticos e industriales	Buena	Frecuentemente pobre
Inadecuación de un uso múltiple	Normalmente poco deterioro	frecuentemente deterioro considerable

Fuente: recopilado de diversos autores por OCDE (1982)

Tabla 5. Criterios tróficos y sus respuestas a una eutrofización creciente<sup>1</sup>

Físico	Químico	Biológico
Transparencia (D) por ejemplo, profundidad de Secchi	Concentración de nutrientes (I) (por ejemplo, máximo en primavera)	Frecuencia de proliferación de algas (I)
		Diversidad de especies de algas (D)
Sólidos en suspensión (I)	Clorofila a (I)	Biomasa de fitoplancton (I)
	Conductividad eléctrica (I)	Vegetación del litoral (I) <sup>3</sup>
	Sólidos disueltos (I)	Zooplancton (I)
	Déficit de oxígeno hipolimnético (I)	Peces (I) <sup>4</sup>
	Sobresaturación de oxígeno epilimnético	Fauna del fondo (I) <sup>5</sup>
		Diversidad de la fauna del fondo (D)
	Producción primaria (I)	

Fuente: modificado de Brezonik, 1969

<sup>1</sup>(I) significa que el valor del parámetro aumenta generalmente con el grado de eutrofización;

(D) significa que el valor disminuye generalmente con el grado de eutrofización.

<sup>2</sup> El criterio biológico muestra importantes cambios cualitativos (por ejemplo, en especies) así como cambios cuantitativos (por ejemplo en biomasa) al aumentar el grado de eutrofización.

<sup>3</sup> Las plantas acuáticas en áreas poco profundas y cercanas a la orilla pueden disminuir por la presencia de una alta densidad de fitoplancton.

<sup>4</sup> Los peces pueden disminuir en número y especies en las aguas del fondo (hipolimnion) más allá de un cierto grado de eutrofización, como resultado de una reducción del oxígeno hipolimnético

<sup>5</sup> La fauna del fondo puede disminuir en número y especies a altas concentraciones de H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> o CO<sub>2</sub> o a bajas concentraciones de O<sub>2</sub> en aguas hipolimnéticas.

En cuanto al control de la eutrofización, al igual que en muchos otros problemas ambientales, los métodos más efectivos son los preventivos. Los curativos generalmente tienen efectos temporales y algunos pueden incluso tener un efecto "de rebote". Además, sus altos costos suelen hacerlos inviables.

Si una masa de agua tiene un uso principal bien definido, la selección y puesta en marcha de medidas de control para lograr la calidad de agua necesaria se puede basar simplemente en dicho uso. En muchos casos, sin embargo, pueden darse usos múltiples y competitivos para una misma masa de agua. En dichos casos, la determinación de la calidad deseada del agua puede basarse en el uso que tenga una mayor prioridad. Dicho uso, en algunos casos, puede requerir los estándares más elevados de calidad de agua, pero en otros puede que sea suficiente una menor calidad del agua. Hay que puntualizar, no obstante, que el uso de estándares más bajos de calidad de agua puede producir condiciones inadecuadas para los usos que requieran una mayor calidad del agua a más largo plazo. Por ello, las decisiones sobre uso primordial del agua en masas de agua de usos múltiples habrá que tomarlas basándose en un conocimiento específico del lago en cuestión.

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.

La transparencia del agua puede verse influenciada significativamente por la presencia de grandes cantidades de sedimentos inorgánicos (así como biomasa de algas) en la columna de agua. Una masa de agua más turbia puede tener una concentración de clorofila más baja que una menos turbia. Esto es debido tanto a los menores niveles de luz disponibles para la fotosíntesis de las algas, como a las posibles adsorciones del Fósforo utilizable biológicamente por las partículas de sedimentos en suspensión. No obstante, la turbidez inorgánica puede dificultar significativamente ciertos usos del agua debido a la necesidad de eliminar los materiales causantes de la turbidez antes

del uso del agua (por ejemplo, para agua potable). De ahí que haya que considerar para algunas masas de agua tanto las condiciones bióticas (por ejemplo, clorofila) como abióticas (por ejemplo sedimentos en suspensión). En cualquier caso, las medidas de control para disminuir la turbidez del agua serían similares.

Sobre la base de la experiencia práctica en lagos de zonas templadas, se ha elaborado un resumen que indican posibles usos del agua y estados tróficos óptimos (“requeridos”) y mínimos aceptables (“tolerables”) para cada caso. El mismo se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Usos pretendidos del agua de un lago en función de las condiciones tróficas

Uso deseado	Estado	
	Requerido	Aceptable
<i>Producción de agua potable</i>	Oligotrófico	Mesotrófico
Baño/Natación	Mesotrófico	Ligeramente eutrófico
Mejora de aguas profundas		
• con línea de suministro a larga distancia	-	Mesotrófico
• sin línea de suministro a larga distancia	-	Ligeramente eutrófico
<i>Cultivo de peces</i>		
• Salmónidos	Oligotrófico	Mesotrófico
• Ciprínidos	-	Eutrófico
<i>Proceso de suministro de agua</i>	Mesotrófico	Ligeramente eutrófico
<i>Producción de agua para refrigeración</i>	-	Eutrófico
<i>Deportes acuáticos</i>		
(sin baño)	Mesotrófico	Eutrófico
<i>Remodelación de zonas de recreo</i>	-	Ligeramente eutrófico <sup>1</sup>
<i>Regadío</i>		
• mediante canales		Fuertemente eutrófico
<i>Producción de energía</i>	-	Fuertemente eutrófico <sup>2,3</sup>

Fuente: modificado de Bernhardt et al (1985)

<sup>1</sup> Desde la perspectiva de remodelación puede ser hasta deseable un estado eutrófico provocado por el proceso de envejecimiento natural.

<sup>2</sup> Sin considerar los requerimientos eventuales de calidad de agua para el canal receptor.

<sup>3</sup> No válido para centrales eléctricas en ríos que pueden dañarse por crecimiento de macrófitas y algas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La primer actividad realizada consistió en una minuciosa revisión de información previa disponible acerca de resultados de determinaciones 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.

Posteriormente, se realizó el 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.

Se seleccionaron sitios de muestreo en diversos puntos del embalse, tanto en el centro del mismo como cerca de sus costas. Como referencia básica para ello se utilizó información correspondiente a estudios previos de sedimentación, efectuados por Agua y Energía Eléctrica de la Nación (1991); en ocasión de dichos estudios se determinaron transectas que pueden apreciarse en la Figura 3. 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 3. 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 sus niveles habituales para esa 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 la Figura 3) 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 (U.N.C.) 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. Los principios utilizados por las sondas mencionadas fueron:

1. pH: Método electrodo de vidrio. El electrodo de vidrio mide una diferencia de potencial entre la película de vidrio y el electrodo de referencia. Rango: 0 a 14.
2. Oxígeno Disuelto: Método de la batería de diafragma galvánico. Tiene una conversión con la salinidad y compensa automáticamente con la temperatura. Rango: 0 a 19.99 mg/l.
3. Conductividad: La conductividad es un índice del flujo de corriente eléctrica en una sustancia. La conductividad varía con la temperatura. El instrumento usa un coeficiente de conversión de temperatura, que se estandariza automáticamente a valores de 25° C. Tiene un método de electrodo 4 AC. Rango: 0 a 9.99 S/m. (siemens por metro)
4. Salinidad: El principio que usa es por conversión de la conductividad. Hay una relación constante entre la conductividad y la salinidad a ciertas temperaturas. Por lo tanto, si la conductividad y la temperatura están disponibles, entonces la salinidad es conocida. Rango: 0 a 4 %.
5. Sólidos disueltos totales (TDS): La cantidad de sólidos disueltos es obtenida por la multiplicación de la conductividad por un coeficiente cuyo valor es conocido. Basado en la conversión para soluciones de KCl y CaCO<sub>3</sub>. Rango: 0 a 99.9 mg/l.
6. Temperatura: Método termistor. Un termistor mide los cambios en la resistencia eléctrica acompañado de cambios en la temperatura, estos cambios en una resistencia son medidos por el termistor y son usados para calcular la temperatura. Rango: 0 a 55°C.
7. Turbidez: El principio de medición es por transmisión de la luz y la dispersión. En la transmisión de la luz-dispersión, la intensidad de ambas luces, la transmitida y la luz

dispersada son medidas usando receptores separados y la turbidez es obtenida basada en el radio de las dos. Rango: 0 a 800 NTU. (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

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 fueron:

- 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  $\mu\text{m}$  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 los índices de diversidad específica de Shannon & Weaver ( $H'$ ) y de Dominancia de Simpson ( $\lambda$ ). (en Simpson, 1949 y Shannon, 1949). El último representa la probabilidad que dos individuos tomados al azar de una comunidad pertenezcan a 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 7 se presentan los valores característicos de las variables asociadas al índice y del propio TSI.

**Tabla 7. 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)





	-8	16	13,67	19,9	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-
	-10	24	11,48	19,5	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-
	-11	-	-	-	-	0,21	0,27	0,595	2,63	-	7	59	19
<b>6C</b>	-0,2	27	18	23,6	0,07	0,07	0,09	0,91	4,03	-	7	0	0,2
	-1	27	18	23,5	0,07	0,245	0,31	0,525	2,32	-	7	101,76	19
	-2	18	16,47	20,8	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-
	-3	18	15,61	20,6	0,07	0,56	0,72	0,42	1,86	-	4,2	0	26
	-4	18	13,4	19,9	0,07	0,035	0,04	0,315	1,39	-	7	0	16
	-5	19	13,26	19,8	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-
	-6	19	12,96	19,7	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-
	-7	18	12,65	19,7	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-
	-8	18	12,49	19,7	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-
	-9	19	12,24	19,6	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-
	-10	19	12,16	19,6	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-
	-11	25	9,69	19,9	0,07	0,49	0,63	0,315	1,39	-	7	87,1	9
	-22	40	9,27	18,5	0,07	0,21	0,27	0,455	2,01	-	7	72,9	0
<b>Salida</b>	0	44	10,78	20,1	0,07	0,42	0,539	0,385	1,705		10,5	0	17

A continuación se presentan gráficos mostrando resultados de parámetros analizados para algunos puntos de muestreo. A continuación de ello se comenta acerca de los valores obtenidos.

### Oxígeno Disuelto

Las Figuras 4 a 7 muestran resultados de Oxígeno Disuelto en el Embalse El Carrizal.

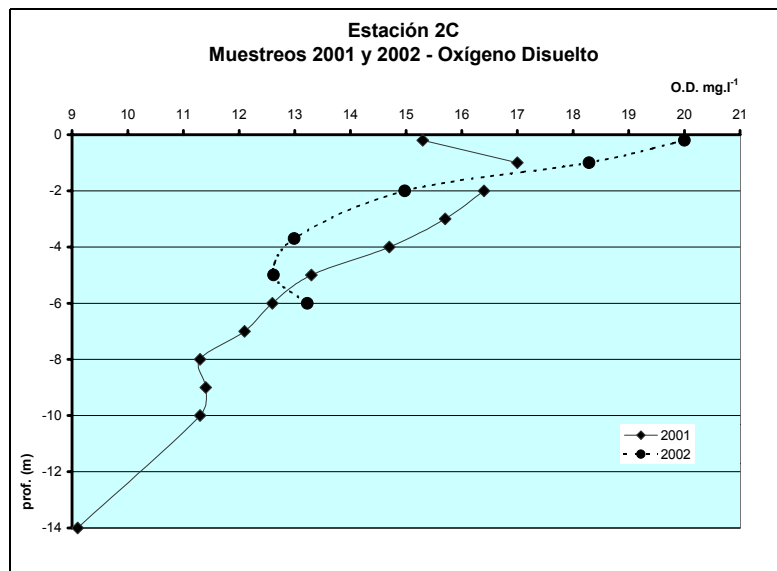


Figura 4. Oxígeno Disuelto. Estación 2C

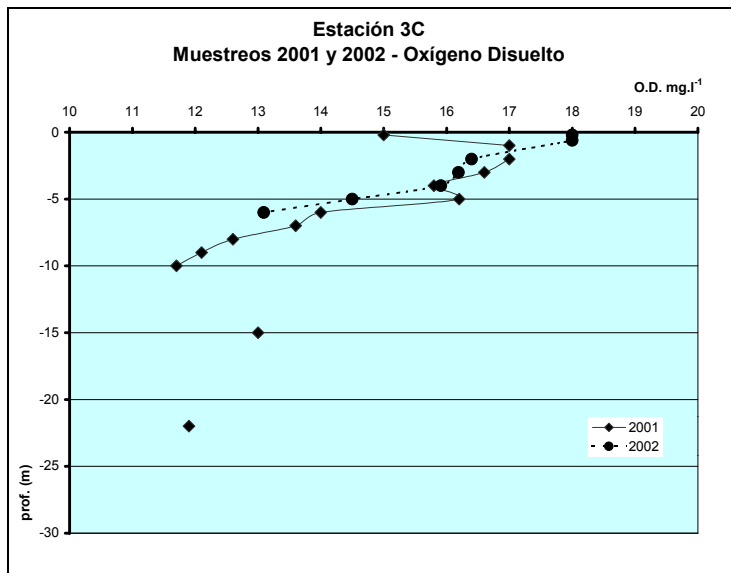


Figura 5. Oxígeno Disuelto. Estación 3C

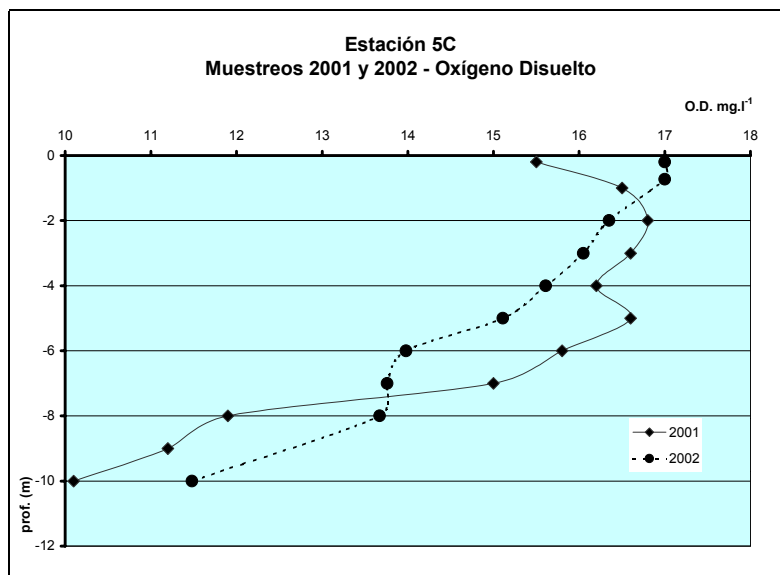


Figura 6. Oxígeno Disuelto. Estación 5C

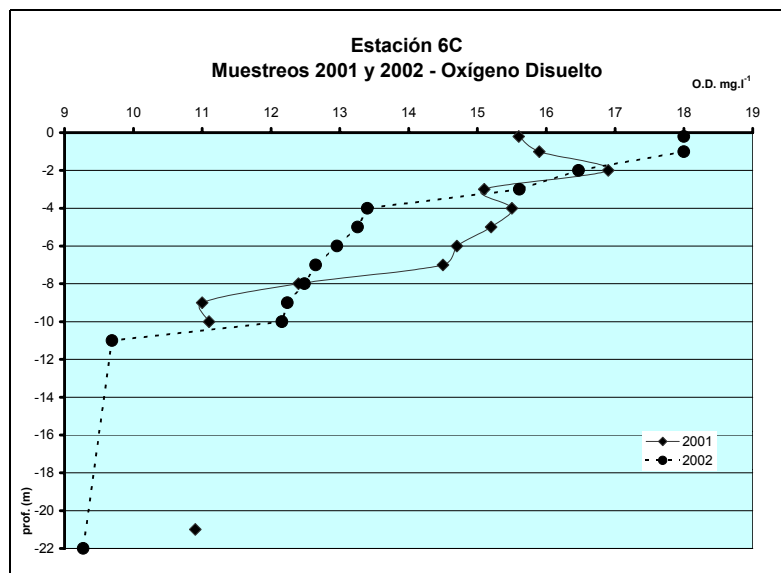


Figura 7. Oxígeno Disuelto. Estación 6C

Los resultados de Oxígeno Disuelto no evidenciaron variaciones importantes entre los muestreos de 2001 y de 2002. En general, los valores se situaron entre 10 y 15 mg/l, los que pueden considerarse como adecuados para vida acuática. En el año 2002 se puede apreciar un ligero aumento del OD en los 0,20 m de profundidad. Ello puede explicarse por la alta densidad de algas presente en el embalse en esa ocasión, lo que implica una importante actividad fotosintética, con una mayor producción de Oxígeno.

### Temperatura del agua

En las Figuras 8 a 11 se presentan valores de Temperatura de agua en el embalse.

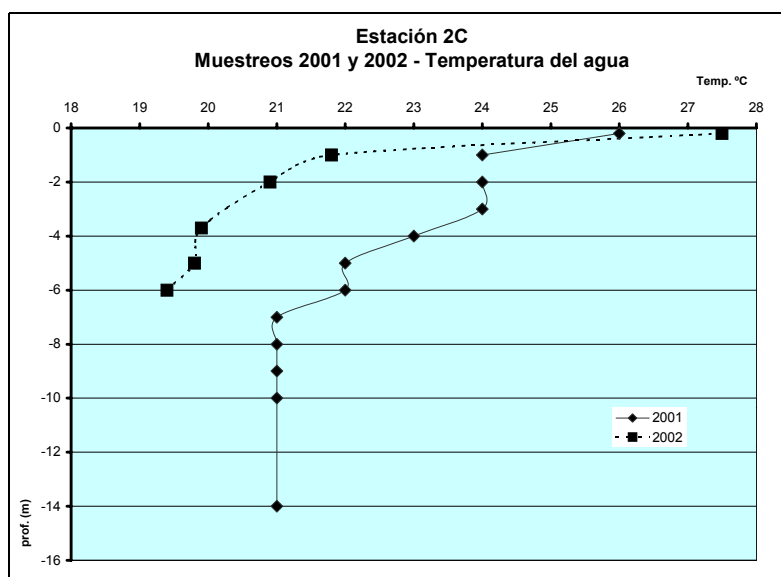


Figura 8. Temperatura del agua. Estación 2C

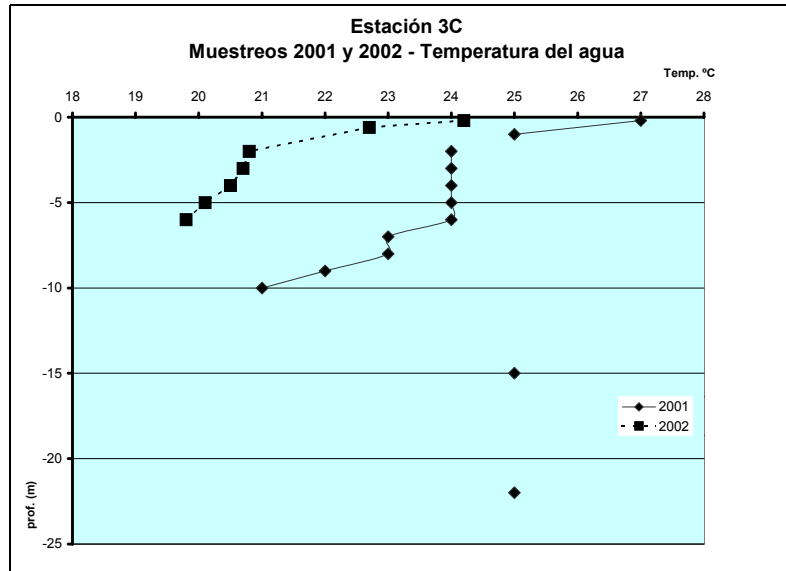


Figura 9. Temperatura del agua. Estación 3C

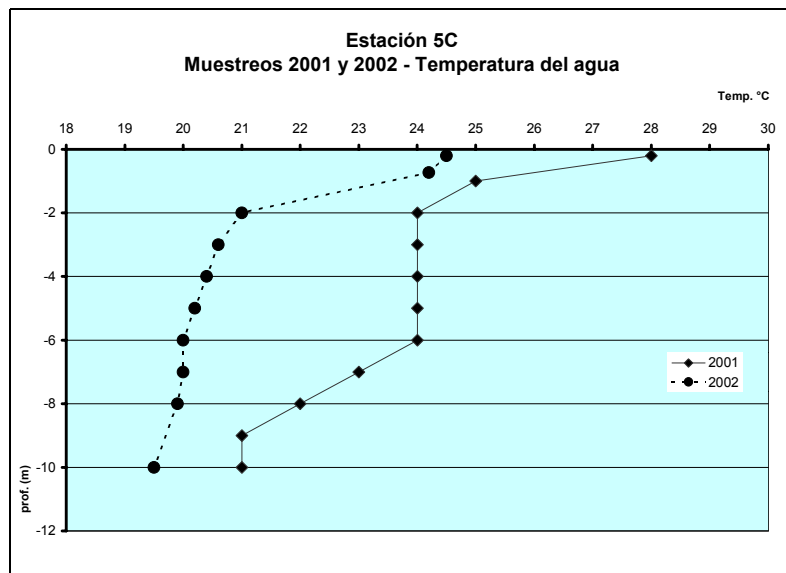


Figura 10. Temperatura del agua. Estación 5C

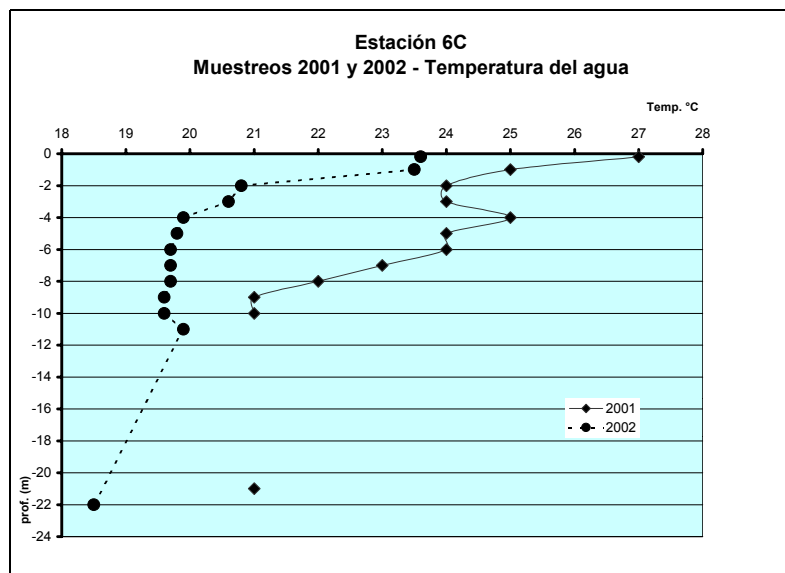


Figura 11. Temperatura del agua. Estación 6C

De las figuras presentadas puede apreciarse que, mientras que en el muestreo del año 2001 el epilimnion se presentó a una profundidad de entre 2 y 3 m, con temperaturas de entre 24 y 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.

### Conductividad Eléctrica

En las Figura 12 se pueden apreciar los valores de Conductividad Eléctrica del agua en el embalse para la estación 6C, considerada representativa de lo ocurrido en otras estaciones.

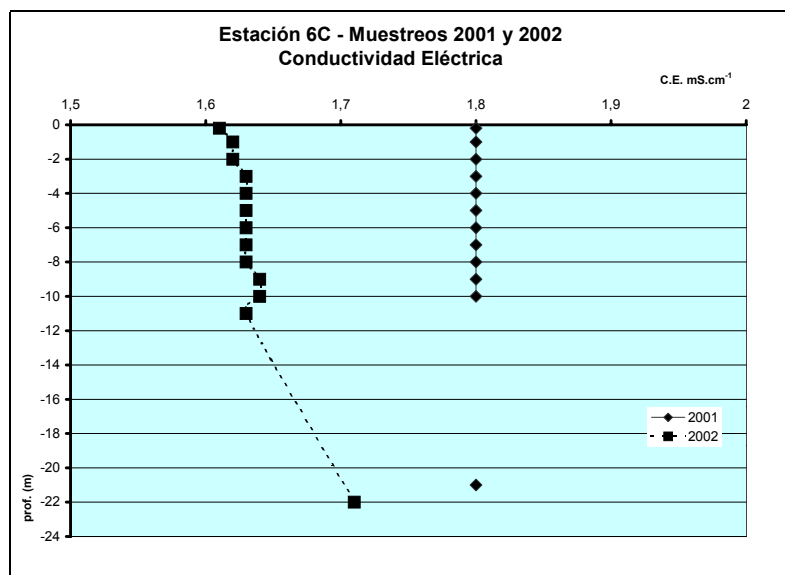


Figura 12. Conductividad Eléctrica. Estación 6C

Los valores de C.E. no variaron de manera importante entre los muestreos del año 2001 y del año 2002. Los mismos se situaron en cifras de alrededor de 1,2 mS/cm para el muestreo de 2001, y entre 1,6 y 1,8 mS/cm para el de 2002. En todos los casos, los valores se corresponden con aquellos registrados, en general, en las aguas del Río Tunuyán. Dichas cifras corresponden a valores de salinidad considerados como aceptables para el uso del agua para riego de los cultivos en la subcuenca Inferior del Río Tunuyán.

### **Nutrientes**

En el muestreo correspondiente al año 2001 el Nitrógeno Total se presentó en altas concentraciones en la estación de Entrada al embalse, con 14,7 mg/l. En el muestreo del año 2002, por su parte, los valores se mostraron como levemente menores, de alrededor de 13,3 mg/l. En ambas situaciones la concentración de Nitratos fue más elevada que la de Amonio.

En cuanto a las estaciones correspondientes a sectores centrales del embalse, para el muestreo del año 2001, para las estaciones 2C, 3C y 5C y en profundidades de entre 3 y 10 m se observaron las mayores concentraciones de Nitrógeno Total, alcanzando valores de entre 11 y 14,7 mg/l.

En el muestreo del año 2002 los valores de Nitrógeno Total disminuyeron en general, con excepción de las estaciones correspondientes al río, tanto en la entrada como en la salida, al igual que en la estación 5C. En esta última se registró el mayor valor de las dos temporadas, con un contenido de Nitrógeno Total de 17,8 mg/l.

Con respecto a los resultados de Fósforo total, para el año 2001 se destaca el elevado valor alcanzado por este parámetro en profundidad en la estación 2C, con una concentración de 28mg/l.

En el año 2002, en cambio, su mayor concentración se presentó en superficie, en el centro del embalse (estación 3C) con un valor de 139 mg/l.

### **Materia Orgánica**

La estimación de Materia Orgánica, por medio del análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), reveló que en el agua del embalse no existió, en ocasión de los muestreos, una concentración de materia orgánica relevante, especialmente en el muestreo del año 2001, en que los valores más elevados de DQO fueron de alrededor de 10 mg.l<sup>-1</sup>. En el año 2002, si bien tampoco los valores fueron demasiado elevados, se presentaron cifras de alrededor de 20 mg.l<sup>-1</sup> o menores, salvo en la estación 2C, en donde en la profundidad de 0,2 m se registró un valor de 84 mg.l<sup>-1</sup>.

### **Resultados de los estudios de fitoplancton**

En el muestreo del año 2001 se analizó el fitoplancton presente en muestras de un perfil estratificado de la columna de agua (1 a 6 metros).

La diversidad algal en este caso fue baja, sin diferencias significativas entre muestras en lo que a composición taxonómica se refiere. En la Tabla 8 se presenta la lista de especies identificadas en cada muestra analizada.

Tabla 8. Especies de fitoplancton presentes en muestras de agua. Muestreo de diciembre de 2001

Especie	Muestra				
	C1	C2	C3	C5	C6
<b>Diatomeas</b>					
<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	*			*	*
<b>Cianofitas</b>					
<i>Lyngbya limnetica</i> Lemn.	*	*			*
<i>Oscillatoria tenuis</i> Ag				*	
<i>Microcystis wesenbergii</i> (Komarek)	*	*	*	*	*
<b>Clorofitas On Chaetophorales</b>					
<i>Ctenocladus circinnatus</i> Borzi		*			*

Cabe mencionar en este punto que 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 en el verano, observándose en alta densidad en el muestreo del año 2001.

Las especies de cianofitas identificadas (*Lyngbya*, *Oscillatoria* y *Microcystis*) son características de ambientes eutrofizados y son conocidas por producir toxinas (hepatotoxinas, neurotoxinas, dermatoxinas) cuando las condiciones ambientales permiten el crecimiento en masa de las mismas.

En cuanto al año 2002, en el que se pudo profundizar el estudio realizado en el año 2001, se analizó la estructura de las comunidades fitoplanctónicas presentes en las muestras de la Estación 1 (desembocadura del Río Tunuyán, a 0 y 0,2 m de profundidad), 3C (a profundidades de 0 y 0,6 m) y 5C (a profundidades de 0,2 y 0,7m).

En el momento del muestreo del año 2002, el agua del embalse presentó un color verde intenso, con escasa a nula transparencia, debido a la elevada densidad de algas, visibles macroscópicamente, reflejando un claro estado eutrófico.

En general la diversidad algal fue baja, con dominancia de algunas especies, según puede apreciarse en la Figura 13.

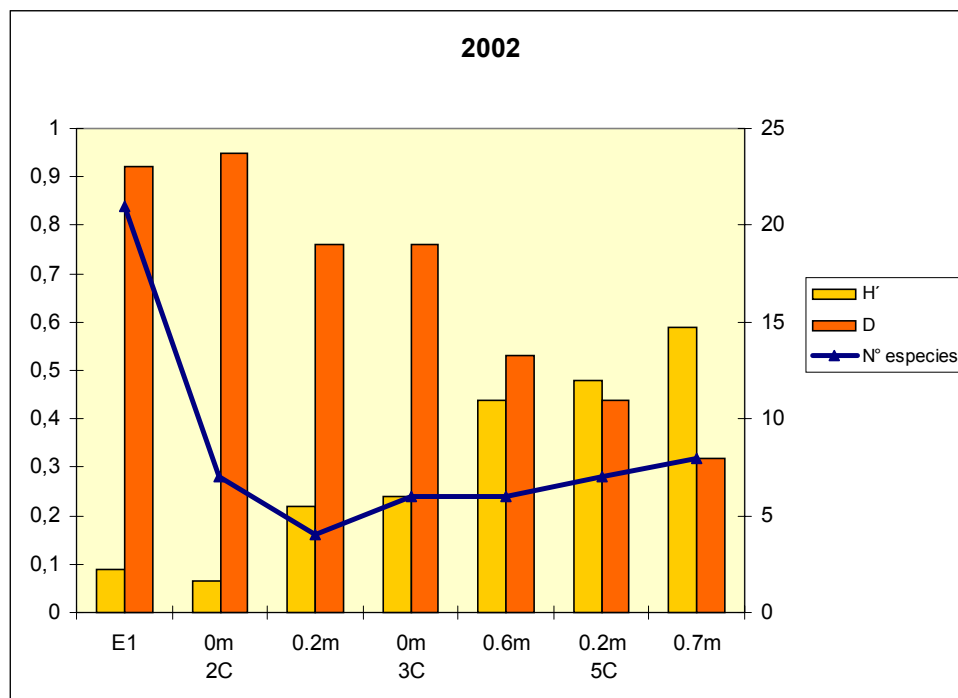


Figura 13. Riqueza, diversidad y dominancia de especies del fitoplancton. El Carrizal, muestreo año 2002

En total se describieron 28 especies entre diatomeas, clorófitas, cianófitas y dinoflagelados. Las mismas se presentan en la Tabla 9. Allí se aprecia la proporción de grupos algales en cada una de las muestras analizadas. El mayor número de especies constituyentes del fitoplancton se registró en la estación 1 (con 21 especies), correspondiente a la cola del embalse, posiblemente debido a una mayor transparencia y menor profundidad de la columna de agua en este sector.

Tabla 9. Especies presentes en el fitoplancton. Muestreo del año 2002

Especie / Profundidad	Estación 1	Estación 2C		Estación 3C		Estación 5C	
		0 m	0,2 m	0 m	0,6 m	0,2 m	0,7 m
<i>Aamphora coffeiformis</i>	*	*					*
<i>A. ovalis</i>	*	*					*
<i>Asterionella formosa</i>	*		*				
<i>Aulacoseira granulata</i>	*			*	*	*	
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	*			*		*	
<i>Cymbella minuta</i>							*
<i>Cymatopleura solea</i>	*						
<i>Diatome vulgare</i>	*						*
<i>Eunoclia pectinales</i>	*				*	*	*
<i>Fragilaria virescens</i>							*
<i>Gomphonema acuminatum</i>	*						
<i>Mastoglia ovalis</i>	*						
<i>Melosira varians</i>	*						
<i>Navicula cryptocephala</i>	*				*		*
<i>Navicula cuspidata</i>	*						
<i>Nitzschia palea</i>	*				*	*	
<i>N. sigma</i>							
<i>Rhoicosphaenia curvata</i>							*

<i>Stauroneis phaenicenteron</i>	*						
<i>Closteriopsis sp.</i>	*						
<i>Pediastrum sp.</i>					*		
<i>Scenedesmus sp.</i>	*						
<i>Sphaerellopsis sp.</i>	*	*	*	*	*	*	
Quieste ( <i>Strombomona</i> )	*	*	*	*			
Quieste ( <i>Trachelomona</i> )		*		*		*	
<i>Peridinium gatunensis</i>		*		*		*	
<i>Gloeocapsa sp.</i>		*	*				
<i>Lyngbya limnetica</i>	*						
<b>Número de especies</b>	<b>21</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>7</b>

En todas las muestras analizadas se registró dominancia de la clorófita *Chlamydomona sp.* en elevadas densidades, desde 225 a 1102 cél/ml. Esta especie era la causante de la coloración verdosa del agua del embalse observada a simple vista.

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 cianófita *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 *Strombomona verrucosa*.

Para describir y valorar el estado trófico del embalse, se seleccionó el TSI basado en la transparencia, según la visibilidad obtenida con el disco de Secchi. En la Tabla 10 se presentan los valores obtenidos para dicho índice en ambas temporadas.

Tabla 10. Valores del Índice de Estado Trófico (TSI) basado en la transparencia con el 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	-

Según los resultados de la tabla anterior, el estado del embalse correspondería a “eutrófico”. Esto se ve confirmado por los valores de concentración de Clorofila *a* (más elevados en 2002) así como por una disminución en la diversidad de especies de fitoplancton, con dominancia de clorófitas, particularmente de *Chlamydomona sp.*

## **Resultados de los análisis microbiológicos**

Como se explicó en apartados anteriores, los resultados de análisis microbiológicos de las muestras tomadas en el año 2002 no pudieron ser utilizados, por lo que los comentarios que se hacen a continuación corresponden exclusivamente a los resultados del muestreo del año 2001, los que se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados de análisis microbiológico en El Carrizal. Muestreo año 2001

<b>Nº MUESTRA (PROF.)</b>	<b>Bacterias aerobias mesófilas (UFC/ml)</b>	<b>Coliformes totales (NMP/100 ml)</b>	<b>Coliformes fecales (NMP/100 ml)</b>	<b>Pseudomonas aeruginosa</b>
1 <sub>(0,2)</sub>	1 x 10 <sup>3</sup>	9,3 x 10	2,3 x 10	Ausencia
1 <sub>(2)</sub>	1 x 10	4,6 x 10 <sup>2</sup>	7,5 x 10	Ausencia
2C <sub>(8)</sub>	4 x 10 <sup>3</sup>	1,5 x 10 <sup>2</sup>	4	Ausencia
3C <sub>(11)</sub>	2 x 10 <sup>2</sup>	9,3 x 10	9	Ausencia
5C <sub>(10)</sub>	< 30	2,3 x 10	4	Ausencia
5C <sub>(3)</sub>	4 x 10 <sup>2</sup>	2,3 x 10	4	Ausencia
6C <sub>(3)</sub>	1,5 x 10	2,3 x 10	4	Ausencia
6C <sub>(10)</sub>	2 x 10 <sup>2</sup>	2,3 x 10	4	Ausencia
Entrada	2 x 10 <sup>3</sup>	≥ 2,4 x 10 <sup>3</sup>	≥ 2,4 x 10 <sup>3</sup>	Ausencia
Salida	1 x 10 <sup>2</sup>	4,3 x 10	< 3	Ausencia

A la luz de la normativa dada por el 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 sobrepasa el valor límite para agua potable, situado en 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, que es de NMP 2 bacterias/100 ml.

Respecto de las bacterias coliformes fecales, ocurre lo mismo que en el caso anterior, es decir que el 100 % de las muestras sobrepasa 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.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Se realizan aquí algunas consideraciones preliminares sobre la base de los principales resultados obtenidos, recordando que los objetivos de este estudio han sido (i) estimar el estado trófico del agua del embalse, (ii) identificar las fuentes de afectación de la calidad del agua y (iii) elaborar un diagnóstico preliminar, que sirva para la gestión de los vertidos contaminantes.

Lo primero a destacarse es que en ocasión de los muestreos realizados, el embalse presentó estados que pueden calificarse como de “eutrófico” a “hipereutrófico”, de acuerdo al índice de estado trófico (TSI) calculado. Ello se ve corroborado por los resultados de otros parámetros, como

los de Clorofila *a*, que se confirma haciendo referencia a la importante densidad de algas que se pudo medir, con valores de hasta 1102 células/ml; ello se vio acompañado por una baja diversidad de especies del fitoplancton, con alta dominancia de algunas de las especies presentes.

Fue también notable la mayor concentración en el agua de Nitrógeno para el año 2001; si además de considera el mayor llenado del embalse en esta ocasión, podría deducirse que el aporte de este elemento era muy considerable, si se lo compara con los valores correspondientes al muestreo del año 2002. En principio, se estima que dicho aporte se originaba en las inmediaciones del espejo del agua, considerando que en los muestreos de 2001 y de 2002, la mayor concentración de Nitrógeno se registraba en el centro del embalse, sin evidencia de gradientes desde el ingreso del embalse y hacia el pie del mismo.

En cuanto a los valores de Fósforo, las menores concentraciones registradas en el año 2001 se atribuirían a la presencia del mismo en forma particulada. En el muestreo del año 2001 el Fósforo se constituía en elemento limitante. Ello reflejaba en la baja densidad de fitoplancton presente en tal ocasión. Por el contrario, en el muestreo de 2002, Este elemento se encontraba probablemente en forma orgánica, con excepción de lo registrado en la Estación 3C, en la cual se considera la existencia de un aporte externo. La mayor concentración de Fósforo Total en el año 2002 podría deberse, además, al menor volumen de agua en el embalse.

Con respecto a los resultados microbiológicos, ellos sugieren que, 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 (exigente considerando los usos del agua del embalse) que la problemática de los parámetros microbiológicos debe ser considerada con seriedad en función de los usos recreativos en el embalse.

En relación con lo dicho, merece mencionarse el ineficiente tratamiento de líquidos cloacales en la Planta de Tratamiento de la Ciudad de Tunuyán. Por tal motivo, y más allá de una buena gestión de líquidos servidos del peligro, si no se mejora las deficiencia marcada, la situación tenderá a empeorar. De hecho, en temporadas estivales pasadas se han producido situaciones alarmantes por hacerse públicos los resultados de análisis microbiológicos del agua del embalse, causando preocupación, cruces de denuncias e impacto a nivel de la opinión pública.

Con respecto a los resultados de pH y CE obtenidos a partir de los muestreos realizados, los mismos indican la buena aptitud del agua para su utilización en el riego agrícola de los cultivos implantados en el área del Tunuyán Inferior. Los valores algo mayores de CE para el año 2002 se justificarían dado el menor volumen de agua en el embalse en tal ocasión, resultando en un cierto efecto de concentración de sales.

La incorporación de nutrientes al lago, favoreciendo aumentos en el nivel de los parámetros que hacen al estado de eutrofia, sería mejorada también mediante un control de los vertidos de la Planta de Tratamiento de Tunuyán, así como de los efluentes de poblaciones de la cuenca alta. Una cierta carga de nutrientes resultante del lixiviado desde las tierras agrícolas se considera inevitable, de manera que de hacerse necesario su disminución en un futuro, deberán aplicarse medidas mucho más amplias, poco factibles al presente.

El contenido de Materia Orgánica, expresado como DQO, no mostró valores preocupantes en ocasión de los muestreos realizados. Si se considera, 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.

En relación con lo anterior, vale mencionarse la posible implementación de mejoras en los procesos industriales en la zona alta de la cuenca del Río Tunuyán. Están en marcha programas de “Producción más Limpia y Ecoeficiencia en la industria”, que de alcanzar a las empresas de la zona, (agroindustria) repercutirá favorablemente en la disminución de vertidos y residuos al sistema hídrico.

Como se mencionó al comienzo de este informe, 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 de control del problema, 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 enfocar en aquellos controles que más se adecuen a los objetivos previamente planteados. Será posible así determinarse, por ejemplo, que un cierto grado de nutrientes en el agua pueda ser favorable para la agricultura de la subcuenca inferior, planteándose de todas formas la ejecución de actividades de control (monitoreos permanentes) lo que ayudará a evitar valores excesivos de ciertos parámetros, lo que pueda desencadenar efectos no deseados, con repercusión desfavorablemente para otros usos del recurso.

Es también pertinente aquí hacer referencia a resultados de otras investigaciones realizadas en la cuenca del Río Tunuyán (Chambouleyron y otros, 2002) en las que se plantea la necesidad de unificar las administraciones de las subcuencas alta y baja del Río Tunuyán, del Departamento General de Irrigación (DGI). Esta única delegación tendría la capacidad de contemplar la problemática total de la cuenca, teniendo mejores posibilidades de actuar con la ayuda de una visión integradora de los problemas, entre ellos el de la calidad del agua en El Carrizal.

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 de mayor alcance será necesario plantear acciones de mayor alcance temporal (al menos dos años de ejecución) con muestreos de frecuencia al menos estacional (idealmente mensual). En dichas ocasiones deberá 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 el agua del embalse. Al presente, el DGI se encuentra ejecutando el “Programa de Calidad de Agua y Suelos”. Una de las tareas previstas en el programa es 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 esta tarea, se planteen actividades de monitoreo permanente que permitan mantener una visión actualizada de la problemática.

## 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., Barbuza, 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.