

## APPLICATION OF TROPHIC STATE INDICES IN THE DAM OF SALTO GRANDE

### APLICACIÓN DE ÍNDICES DE ESTADO TRÓFICO EN EL EMBALSE DE SALTO GRANDE

Melina Celeste Crettaz Minaglia<sup>1</sup> & Hugo Facundo Bordet<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de Entre Ríos, Sede Gualeguaychú, (FCYT- UADER), San Martín 575, Gualeguaychú, Entre Ríos, Argentina, crettaz.melina@uader.edu.ar

<sup>2</sup>Área de Gestión Ambiental, Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTMSG), Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande. bordeth@saltogrande.org

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias de la Alimentación, Universidad Nacional de Entre Ríos (FCA, UNER) Mons.Tavella 1450, Concordia, Entre Ríos, Argentina, bordetf@fcal.uner.edu.ar

---

**ABSTRACT.** Eutrophication is the process by which nutrients, mainly phosphorus, are contributed. Currently, this has increased due to human activity and population growth which has caused the deterioration of water quality and limited its potential uses. In this study, the trophic state of the Salto Grande Reservoir was determined in the stretch between Monte Caseros/Bella Unión and the dam, during the summer period of 2010 through the application of different indices. Moreover, the representative blue green algae from the area corresponding to the genera *Microcystis* and *Dolichospermum* and their relation to the nutrients were studied. Nutrient concentrations, mainly phosphorus, were relatively high, determining an eutrophic state from the area of study. Due to the flooding which began in November 2009, the relative abundance of cyanobacteria was not high, with a maximum of approximately 40,000 cells/ml. Furthermore, no linear correlation was established between cyanobacteria and the nutrients studied. We conclude that, as suggested by the records, nutrients would not be a limiting factor for the proliferation of cyanobacteria in the reservoir area of Salto Grande.

**KEY WORDS.** Uruguay River. Salto Grande Dam. Eutrophication. Cyanobacteria. Phosphorus.

**RESUMEN.** La eutrofización es un proceso de aporte de nutrientes principalmente de fósforo. Actualmente, se encuentra acrecentado por las actividades antrópicas y crecimiento poblacional que provoca un deterioro de la calidad del agua limitando sus usos potenciales. En este trabajo se determinó el estado trófico en el río Uruguay, en el tramo comprendido entre Monte Caseros/Bella Unión y la represa, durante el período estival 2010 a través de la aplicación de diferentes índices. Además, se estudiaron las cianobacterias representativas del área correspondientes a los géneros *Microcystis* y *Dolichospermum* y su relación con los nutrientes. Las concentraciones de nutrientes fueron relativamente elevadas, principalmente el fósforo, determinando un estado eutrófico para el área de estudio. Debido a las crecientes iniciadas en noviembre de 2009, la abundancia relativa de cianobacterias no fue alta, tuvo un máximo de aproximadamente 40.000 cél/ml. Por otro lado, no se estableció una correlación lineal entre las cianobacterias estudiadas y los nutrientes. Se concluye que, como indican los antecedentes, los nutrientes no serían un factor limitante para la proliferación de cianobacterias en el área del embalse de Salto Grande.

**PALABRAS CLAVES.** Río Uruguay. Represa Salto Grande. Eutrofización. Cianobacterias. Fósforo.

---

## INTRODUCCIÓN

La eutrofización se define como “el enriquecimiento de las aguas con nutrientes a un ritmo tal que no puede ser compensado por eliminación o mineralización total” (Salas & Martino, 1996). Si bien se trata de un fenómeno natural, actualmente se encuentra acelerado por las actividades antrópicas y se habla de eutrofización cultural (Salas & Martino op. cit.).

El estado trófico es una característica multidimensional de los sistemas acuáticos y consecuentemente un solo indicador trófico no es susceptible de medirlo adecuadamente (Velásquez *et al.*, 2007). Así, la evaluación del estado trófico debe ser abordada a través de las concentraciones absolutas de variables físicas, químicas y biológicas y de índices que usan estas variables a través de un cálculo matemático que ofrece un número comparativo que proporciona un lenguaje común (Velásquez op. cit.).

Las aguas con altos contenidos de nutrientes alteran la composición y abundancia de especies, favoreciendo el aumento de las más aptas para crecer en estas condiciones (De León, 2002). En este sentido, la eutrofización puede favorecer las floraciones algales de cianobacterias. Las condiciones más adecuadas para el desarrollo de cianobacterias son temperaturas superiores a los 20 °C, elevada intensidad lumínica y vientos menores a 3 metros por segundo (De León op. cit.). Para crear las condiciones favorables para el desarrollo de una floración basta con que estén presentes algunos y no todos los factores mencionados, dependiendo de las características naturales de los sistemas acuáticos (Chalar *et al.*, 2002).

Las formas planctónicas productoras de floraciones más frecuente, son las especies coloniales que presentan aerótopos y pueden efectuar migraciones en la columna de agua (Meichtry *et al.*, 2009). Según Zalocar & Forastier (2005), las más difundidas son las especies productoras de hepatotoxinas pertenecientes a los géneros *Microcystis* y *Dolichospermum* responsables de la mayor parte de casos de intoxicación en el mundo. La especie *Microcystis aeruginosa* es la de distribución más amplia (Meichtry op. cit.).

El objetivo principal de esta investigación fue conocer el estado trófico del río Uruguay en el tramo comprendido entre Monte Caseros/Bella

## INTRODUCTION

Eutrofication is defined as “the enrichment of water with nutrients at such a rate that it cannot be compensated by elimination or total mineralisation” (Salas & Martino, 1996). While this is treated as a natural phenomenon, it is presently found to be accelerated by anthropic activity and reference has been made to cultural eutrofication. (Salas & Martino op. cit.).

The trophic state is a multidimensional characteristic of water systems and consequently a single trophic indicator is cannot measure it adequately (Velásquez *et al.*, 2007). Thus, the evaluation of the trophic state must be carried out using indices of absolute concentrations of physical, chemical and biological variables through a mathematical calculation offering a comparative number that gives a common language (Velásquez op. cit.).

Water with a high nutrient content alters the composition and abundance of species, favouring the increase of those most apt to grow in these conditions (De León, 2002). In this sense, eutrofication can promote algal blooms of cyanobacteria. The most adequate conditions for the growth of cyanobacteria are temperatures higher than 20 °C, raised luminance and winds lower than 3 metres per second (De León op. cit.). To create favourable conditions for growth, the presence of some and not all of the factors is sufficient, depending on the natural characteristics of the water systems (Chalar *et al.*, 2002).

The planktonic forms most frequently producing blooms are the colonial species that present gas vesicles and they can effect migration in the water column (Meichtry *et al.*, 2009). According to Zalocar & Forastier (2005), the most diffused species produce hepatotoxins belonging to the *Microcystis* y *Dolichospermum* genres, responsible for the major part of the cases of intoxication in the world. The species *Microcystis aeruginosa* has the most ample distribution. (Meichtry op. cit.).

The principal aim of this study was to know the trophic state on the Uruguay River in the section between Monte Caseros/Bella Union and the dam of Salto Grande in the Summer of 2010 through the application of different indices. At the same time, the relation between the concentration of nutrients (phosphorus and nitrogen) and the density of cyanobacteria was studied.

## MATERIALS AND METHODS

The Uruguay River begins its course in the Sierra

Unión y la represa de Salto Grande en el período estival del año 2010 mediante la aplicación de diferentes índices. A su vez se estudió la relación entre la concentración de nutrientes (fósforo y nitrógeno) y la densidad de cianobacterias.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El río Uruguay nace en la Sierra Geral (Brasil), en la confluencia de los ríos Pelotas y Canoas, en los Estados de Río Grande do Sul y Santa Catarina. Desemboca en el río de la Plata, cuya cuenca es la segunda en importancia en Sudamérica (CARU, 1993), a la altura del departamento Colonia (Uruguay) y la provincia de Entre Ríos (Argentina). Su curso de agua internacional tiene 1838 km de longitud con una extensión de 365000 km<sup>2</sup> y recorre los territorios de la República Federativa del Brasil, la República Argentina y la República Oriental del Uruguay. Su caudal medio es de 5000 m<sup>3</sup>/s, sin embargo, los registros desde 1892 demuestran que posee un régimen hidrológico muy irregular (CARU op. cit.).

Según Iriondo & Kröhling (2008), las características geológicas y geomorfológicas determinan tres sectores bien diferenciados en el curso de agua: Alto, Medio y Bajo Uruguay caracterizados por la erosión, transporte y sedimentación, respectivamente.

El río Uruguay exhibe desde su nacimiento hasta la desembocadura una pendiente media de 0,32 m/km, mientras que entre Concordia y Concepción del Uruguay es de 0,091 m/km y entre este punto y su desembocadura el valor es de apenas 0,002 m/km (CARU op. cit.).

La extensión de la subcuenca del embalse de Salto Grande es de 224000 km<sup>2</sup> y posee una población total aproximada de 4800000 habitantes. Su caudal es variable debido a la regulación que se ejerce en la represa hidroeléctrica y su tiempo de residencia medio anual es bajo (del 01/12/94 al 21/03/02 fue de 25 días el promedio) con un mínimo en invierno de 17 días y un máximo en verano de 37 días (Chalar op. cit.). Sin embargo, CTMSG menciona que sólo puede almacenarse agua de hasta 10 días (Salto Grande, 2011). Se registra un promedio anual de precipitaciones de 1.260 mm, las temperaturas anuales promedio son de 19 °C y los vientos predominantes son del noreste y suroeste con medias anuales de 7 y 14 km/h respectivamente (Chalar op. cit.).

El período de creciente comprende los meses

Geral (Brasil), in the joining of the rivers Pelotas and Canoas, in the states of Río Grande do Sul and Santa Catarina. It flows into the Río de la Plata River, whose basin is the second biggest in South America (CARU, 1993), at level with the Department of Colonia (Uruguay) and the Province of Entre Ríos (Argentina). Its length, internationally, is 1838 km longitude with an extension of 365000 km<sup>2</sup> and flows within the territories of Brazil, Argentina and Uruguay. Its mean flow measures 5000 m<sup>3</sup>/s, however, the registers from 1892 show that it has a hydrologic regimen that is very irregular (CARU op. cit.).

According to Iriondo & Kröhling (2008), the geological and geomorphological characteristics determine three well differentiated sectors in this river's water course: High, Medium and Low Uruguay characterised by erosion, transportation and sedimentation respectively.

The Uruguay River from its source to its channel shows a slope with a mean of 0.32 m/km, while between Concordia and Concepcion del Uruguay it is 0.091 m/km and between this point and its channel the value is barely 0.002 m/km (CARU op. cit.).

The extension of the river basin at Salto Grande is 224000 km<sup>2</sup> and this city a total approximate population of 4800000 residents. Its flow is variable due to the regulation exercised by the hydroelectric dam and its time of mean annual residence is low (from 01/12/94 to 21/03/02 the average was 25 days) with a minimum of 17 days in Winter and a maximum of 37 days in Summer (Chalar op. cit.). However, CTMSG mentions that water could be collected for only upto 10 days (Salto Grande, 2011). An average annual rainfall of 1260 mm is registered, the average annual temperatures go from 19 °C and the predominant winds are from the North-West and South-West with annual means of 7 and 14 km/h respectively (Chalar op. cit.).

The periods of swells are from May to December with a maximum in October and another high in June. The low period is from December to April with minimum variables between January and February. This distribution is valid only statistically and has been gaged considering the mean values for particular years and might not always be applicable as distribution depends on hydroclimatic conditions (CARU op. cit.).

In the context of the bi-national dams of South America, Salto Grande is the third most important preceded by Itaipú and Yacyretá. In Uruguay, it is the most important producer, producing half of its energy consumption. In Argentina, the production of Salto Grande represents between 7 and 8% of the total

de mayo a diciembre con el máximo en el mes de octubre y otro pico en el mes de junio. El período de bajantes va de diciembre a abril con mínimas variables entre enero y febrero. Esta distribución es válida sólo estadísticamente y considerando los valores medios para años puntuales esta distribución puede no cumplirse puesto que depende de las condiciones hidroclimáticas (CARU op. cit.).

En el contexto de las represas binacionales, de América del Sur, Salto Grande es la tercera en importancia precedida por Itaipú y Yacyretá. En Uruguay, es la productora más importante suministrando la mitad de la energía consumida. En el caso de Argentina, la producción de Salto Grande representa entre el 7 y 8% de la demanda total (Salto Grande op. cit.).

El área de estudio se ubica en el río Uruguay, en su tramo medio, comprendido entre la intersección de Monte Caseros (Argentina) con Bella Unión (Uruguay) y el centro de la represa del embalse de Salto Grande, abarcando una extensión de 140 km. La selección de los puntos de muestreo se realizó en base a la metodología propuesta por CARU-

demand (Salto Grande op. cit.).

The area of study is located on the Uruguay River, in its middle course, comprising the intersection of Monte Caseros (Argentina) with Bella Unión (Uruguay) and the centre of the dam of Salto Grande, for an extent of 140 km. The selection of the sampling points was based on the methodology proposed by CARU-CTMSG (2009) (Figure 1).

The stations were sampled every two weeks, alternating the sampling points of the principal canal (MC/BU, BE, FED/SA and EC1) and the branches of the dam (E9 and E71).

In all of the stations, the sampling was determined in situ (at different depths 0.30, at 1, at 2, at 3 m of the surface and at 1 m from the riverbed): pH, temperature, electric conductivity and dissolved oxygen using a multiparametric measuring device YSI- Professional Plus. The depth was evaluated with an echo sounder GARMIN FishFinder90 and the transparency of the water with a Secchi disk. For the determining of the suspended solids, chlorophyll a and nutrients, two samples were taken at 0.30 m directly from the surface with a wide-mouthed jar of 2 litres and, two samples at 1 m from the bottom with a Van Dorn

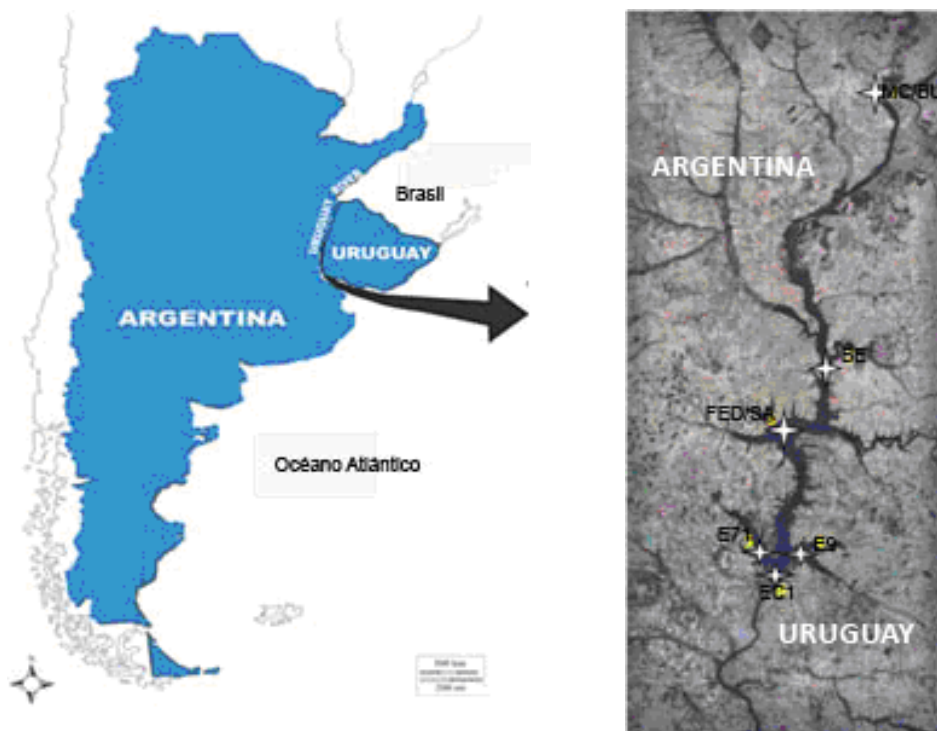


Figure 1. Study area and sampling stations. MC/BU- Monte Caseros / Bella Unión, BE- Belén, FED/SA- Federación / Santa Ana, E9- Itapebí, E71- Gualeguaycito, EC1- dam centre.

Figura 1. Ubicación del área de estudio y de las estaciones de muestreo. MC/BU- Monte Caseros / Bella Unión, BE- Belén, FED/SA- Federación / Santa Ana, E9- Itapebí, E71- Gualeguaycito, EC1- centro represa.

CTMSG (2009) (Figura 1).

Las estaciones fueron muestreadas quincenalmente, alternando los puntos de muestreo del canal principal (MC/BU, BE, FED/SA y EC1) y de los brazos del embalse (E9 y E71).

En todas las estaciones de muestreo se determinaron in situ (a distintas profundidades 0,30, a 1, a 2, a 3 m de la superficie y a 1 m del fondo): pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto utilizando un medidor multiparamétrico YSI- Professional Plus. La profundidad se evaluó con ecosonda GARMIN FishFinder90 y la transparencia del agua con el disco de Secchi. Para las determinaciones de los sólidos suspendidos, "clorofila a" y nutrientes se tomaron dos muestras a 0,30 m de la superficie en forma directa con frasco de boca ancha de 2 litros y, dos muestras a 1 m del fondo con botella de Van Dorn y posteriormente trasvasadas a frascos de boca ancha de 2 litros. Los nutrientes determinados fueron determinados según los métodos analíticos propuestos por APHA-AWWA-WFF (1992): fósforo total (Standard Method 4500-P C método del persulfato (LC 0,019 mg/l)), fósforo soluble reactivo (Standard Method 4.500-P C (LC 0,01 mg/l)), nitrógeno total (Standard Method 4500-N C método del persulfato (LC 0,2 mg/l)), nitrógeno amoniacal (Standard Method 4500-NH3 C (LC 0,05mg/l)), nitrito (Standard Method 4500 B (LC 0,01 mg/l)) y nitrato (Standard Method 4500 E (LC 0,5mg/l)). Los sólidos suspendidos fijos y volátiles se determinaron en superficie y fondo por método gravimétrico (APHA-AWWA-WFF op. cit.). Las muestras de "clorofila a" se filtraron entre las 3 y 6 horas de extraída la muestra a través de filtros Whatman GF/C, los cuales se conservaron a 20°C. Luego se extrajeron con acetona al 90% como solvente de extracción (Nusch, 1980) y se aplicó el método espectrofotométrico tricromático.

Las muestras para el análisis cuantitativo de los grupos de cianobacterias dominantes (*Microcystis* sp. y *Dolichospermum* sp.) se tomaron a 0,30 m de profundidad y se fijaron con lugol al 1%. Los recuentos se realizaron en microscopio invertido de acuerdo con Utermöhl (1958).

La Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTMSG) proporcionó datos diarios de nivel hidrométrico y caudal.

Para el análisis estadístico se utilizó el software Excel con el cual se calcularon los principales estadísticos descriptivos y los valores de correlación lineal entre los nutrientes y "clorofila

bottle and later transferred to wide-mouthed jars of 2 litres. The nutrients were determined according to analytical methods proposed by APHA-AWWA-WFF (1992): total phosphorus (Standard Method 4500-P C method of persulfate (LC 0.019 mg/l)), soluble reactive phosphorus (Standard Method 4500-P C (LC 0.01 mg/l)), total nitrogen (Standard Method 4.500-N C method of persulfate (LC 0.2 mg/l)), ammoniacal nitrogen (Standard Method 4500-NH3 C (LC 0.05mg/l)), nitrite (Standard Method 4.500 B (LC 0.01 mg/l)) and nitrate (Standard Method 4500 E (LC 0.5mg/l)). The fixed and volatile suspended solids were determined at the surface and riverbed by a gravimetric method (APHA-AWWA-WFF op. cit.). The samples of "chlorophyll a" were filtered between 3 and 6 hours following extraction through Whatman GF/C filters, which were conserved at 20°C. Then, they were extracted with acetone at 90% as an extraction solvent (Nusch, 1980) and the trichromatic spectrophotometric method was applied.

The samples for the quantitative analysis of the dominant cyanobacteria groups (*Microcystis* sp. and *Dolichospermum* sp.) were taken at a depth of 0.30 m and fixed with lugol at 1%. The recounts were carried out with an inverted microscope in accordance with Utermöhl (1958).

The Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTMSG) provided daily data on the hydrometric and flow level.

For the statistical analysis, Excel® software was used to calculate the principal descriptive statistics and lineal correlation between the nutrients and "chlorophyll a" and dominant cyanobacteria. To establish the trophic state of the study area indices of the trophic state of Carlson (1977), of the OECD (1982) and the index of the Trophic Contamination of Ramirez & Viña (1998) were used. The ranges of the índices are mentioned in Table 1.

This study has been developed within the "Programme for the Monitoring of Algal blooms of the dam of Salto Grande of the Uruguay River", which works together with the Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) and the Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTMSG). Capacitated Personnel from CARU, carried out navigation and water quality sampling, with the Área de Gestión Ambiental de la CTMSG.

## RESULTS

The depth varied from 5.6 metres to 31.0 m (Figure 2) with a average of 13.1 m. Higher variability was

Table 1. Ranges of the index of the trophic state of (TSI) of Carlson (1977), of OECD (1982) and ICOTRO of Ramírez & Viña (1998). References: Cla: "chlorophyll a". DS: Secchi disk. PT: Total Phosphorus.

Tabla 1. Rangos del índice de estado trófico TSI de Carlson (1977), de OECD (1982) e ICOTRO de Ramírez & Viña (1998). Referencias: Cla: "clorofila a". DS: Disco de Secchi. PT: Fósforo Total.

Índices	Carlson (1977)			OECD (1982)			Ramírez & Viña (1998)
	TSI			OECD (1982)			ICOTRO
Categorías Category	Cla (mg/m <sup>3</sup> )	DS (m)	PT (mg/l)	Cla (mg/m <sup>3</sup> )	DS (m)	PT (mg/l)	(PT mg/l)
Ultraoligotrófico Ultraoligotrophic				<1	>12	<0,004	
Oligotrófico Oligotrophic	>2.6	>4	<0.012	1-2.5	12-6	0.004-0.01	<0.01
Mesotrófico Mesotrophic	2.6-20	4-2	0.012-0.024	2.5-7.9	6-3	0.01-3.5	0.01-0.02
Eutrófico Eutrophic	21-56	2-0.5	0.025-0.096	8-25	3-1,5	0.35-1.0	0.02-1.00
Hipereutrófico Hypereutrophic	>56	<0.5	>0.096	>25	<15	>1.0	>1.00

a" y cianobacterias dominantes. Para establecer el estado trófico del área de estudio se utilizaron índices de estado trófico de Carlson (1977), de la OECD (1982) y el Índice de Contaminación Trófico de Ramírez & Viña (1998). Los rangos de los índices se mencionan en la Tabla 1.

Este estudio ha sido desarrollado en el marco del "Programa de Monitoreo de Floraciones Algales del Embalse de Salto Grande del Río Uruguay", que realiza en conjunto la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) y la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTMSG). En el mismo participó personal de CARU capacitado para tareas de navegación y muestreo de calidad de agua y el Área de Gestión Ambiental de la CTMSG.

## RESULTADOS

La profundidad varió desde 5,6 metros a 31 m (Figura 2) con un promedio de 13,1 m. Se observó mayor variabilidad en las estaciones norte (MC/BU y BE) y menor variación en el punto EC1.

El caudal varió de 1846 m<sup>3</sup>/s (17/03) a 13367 m<sup>3</sup>/s (13/01) con un promedio de 6750 m<sup>3</sup>/s y la cota del embalse varió entre 33,3 m (28/03) y 35,4 m (04/01) con un promedio de 34,7 m (Figura 3).

La temperatura varió de 22,5 °C a 31,5 y un promedio de 27 °C. Las temperaturas mínimas se registraron en la estación E71 (15/04) y las máximas se registraron en diferentes estaciones, entre enero y febrero.

observed in the Northern stations (MC/BU and BE) and less variation at the point EC1.

The inflowing discharge varied from 1846 m<sup>3</sup>/s (17/03) to 13367 m<sup>3</sup>/s (13/01) with an average of 6750 m<sup>3</sup>/s and the water level of the dam varied between 33.3 m (28/03) and 35.4 m (04/01) with an average of 34.7 m (Figure 3).

The temperature varied from 22.5 °C to 31.5 and an average of 27.0 °C. The minimum temperatures were registered at the station E71 (15/04) and the highest were registered at different stations between January and February.

The average dissolved oxygen (DO) was 7.59 mgO<sub>2</sub>/l and varied from 12.2 mgO<sub>2</sub>/l to 2.05 mgO<sub>2</sub>/l.

The pH varied from 8.74 to 6.18 with an average of 7.24. The maximum pH values were registered in MC/BU on 15/03 and the minimum in BE on 15/02. A positive correlation with the "chlorophyll a" of 0.8 was seen.

The electrical conductivity varied from 34.7 µS/cm a 242 µS/cm and an average of 54.9 µS/cm. The minimum values found were in BE and E71 in January. The maximum values were found in E9 and FED/SA between January and February.

The transparency of the water varied from 0.30 m in MC/BU (on 01/03) to 0.80 m in E9 (on 25/01). The average was 0.60 m.

The "chlorophyll a" varied with a maximum of 26.2 mg/m<sup>3</sup> in BE in January and a minimum of 4.40 mg/m<sup>3</sup> in FED/SA in February. The average for

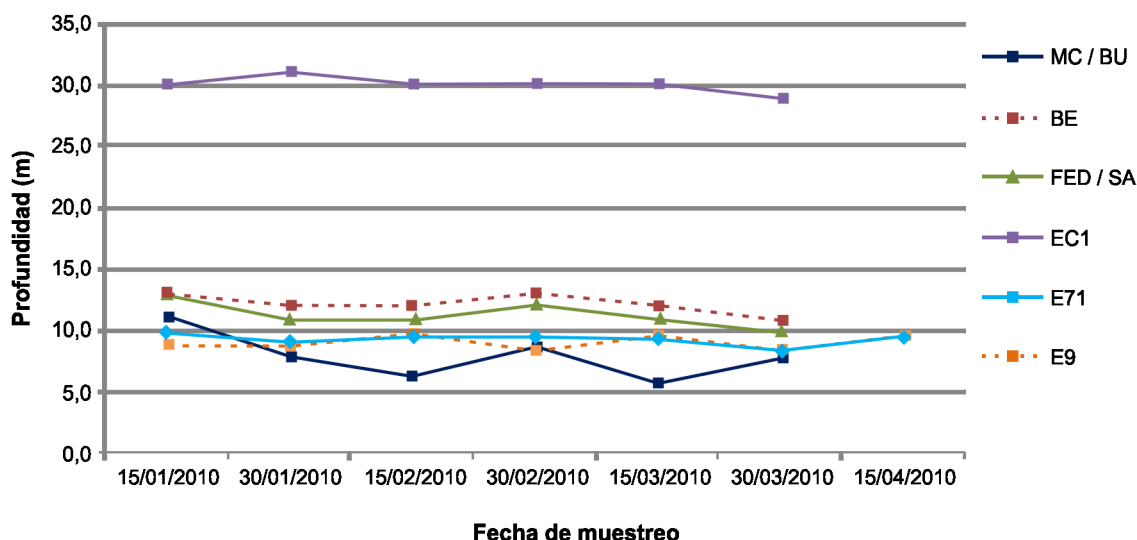


Figure 2. Variation of the depth at sampling points.  
Figura 2. Variación de la profundidad en los puntos de muestreo.

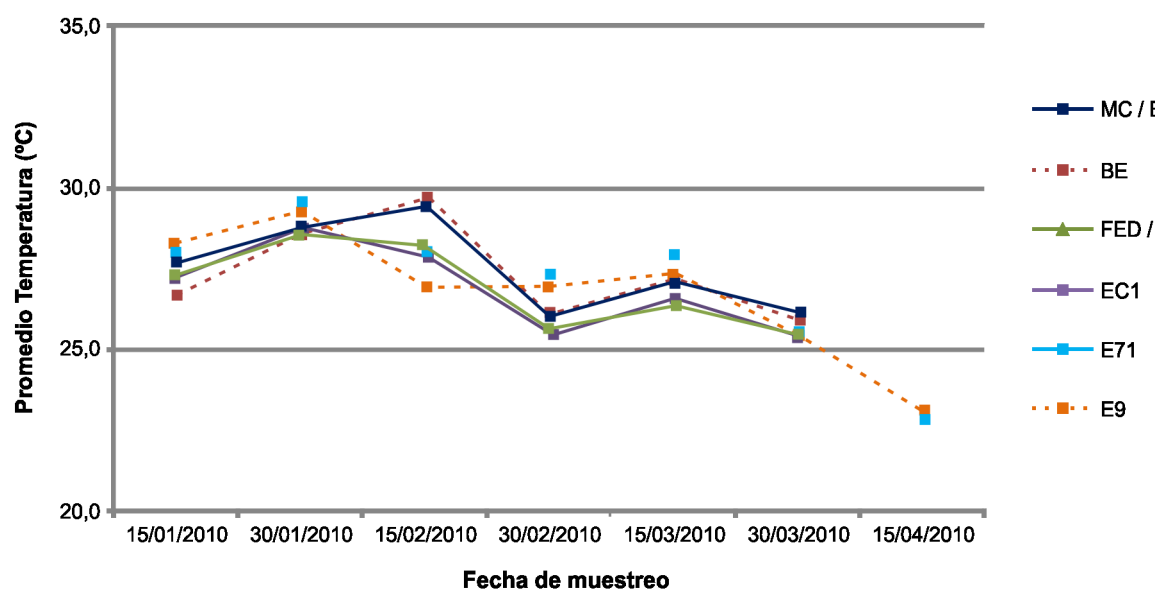


Figure 3. Average Temperature variation at the sampling points.  
Figura 3. Variación de la temperatura promedio en los puntos de muestreo.

El oxígeno disuelto (OD) tuvo un promedio de 7,59 mgO<sub>2</sub>/l y varió de 12,2 mgO<sub>2</sub>/l a 2,05 mgO<sub>2</sub>/l.

El pH varió de 8,74 a 6,18 con un promedio de 7,24. Los máximos valores de pH se registraron en MC/BU el 15/03 y los mínimos en BE el 15/02. Presentó correlación positiva con la "clorofila a" de 0,8.

La conductividad eléctrica varió de 34,7 μS/cm a 242 μS/cm y un promedio de 54,9 μS/cm. Los

"chlorophyll a" was 12.6 mg/ m<sup>3</sup>.

Regarding the abundance of dominant cyanobacteria (*Microcystis* sp. and *Dolichospermum* sp.), the maximum was from 40,675 cells/ml in E71 in January and in MC/BU, in March, they were not detected.

The solids suspended on the surface varied from 1.40 mg/l in EC1 on 16/03 to 47.2 mg/l in MC/BU on 29/03 with an average of 12.2 mg/l. On the riverbed, from 3.20 mg/l in FED/SA on 16/03 to 53.2 mg/l in

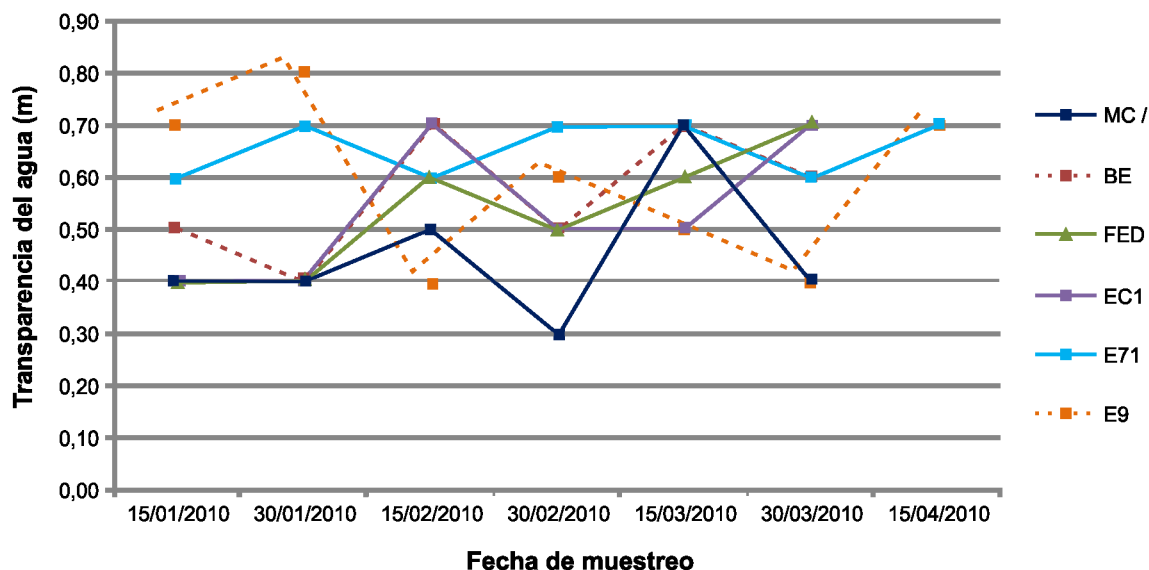


Figure 4. Variation of water transparency.  
Figura 4. Variación de la transparencia del agua.

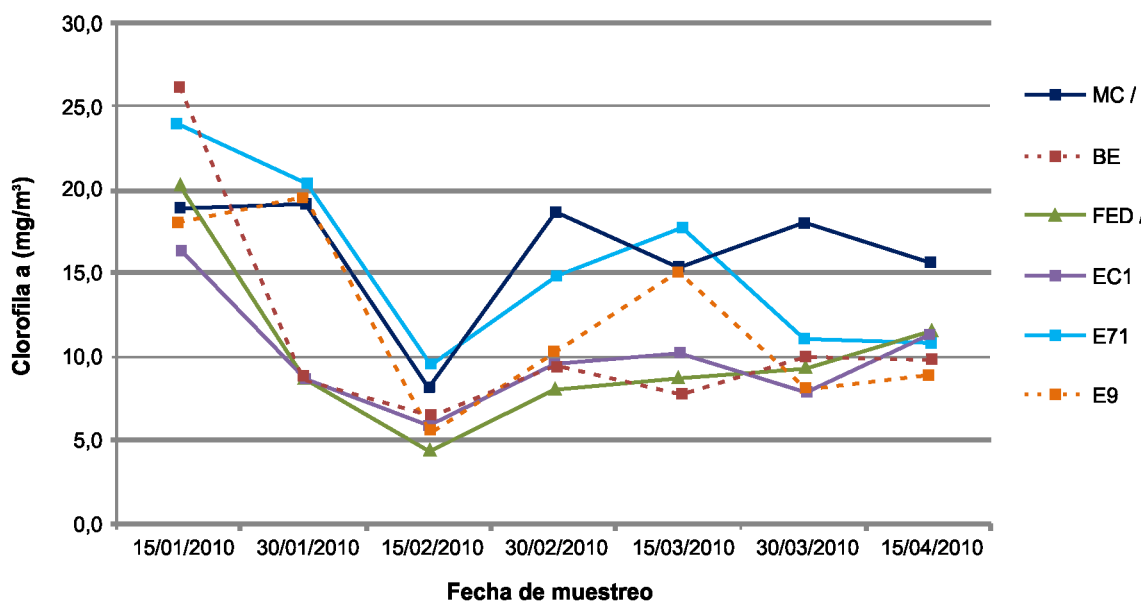


Figure 5. Variation of the "chlorophyll a" in each station.  
Figura 5. Variación de la "clorofila a" en cada estación.

valores mínimos fueron encontrados en BE y E71 en enero. Los valores máximos se hallaron en E9 y FED/SA entre enero y febrero.

La transparencia del agua varió de 0,30 m en MC/BU (el 01/03) a 0,80 m en E9 (el 25/01). El promedio fue de 0,60 m.

La "clorofila a" varió con una máxima de 26,2

MC/BU on 29/03, with an average of 14.3 mg/l.

The volatile suspended solids had averages of 9.20 mg/l and 4.80 mg/l on the surface and at the bottom respectively. On the surface, the minimum was from 0.40 mg/l in FED/SA on 16/03 and the maximum from 39.6 mg/l in MC/BU on 29/03. On the riverbed, the minimum and maximum values were 2.20 mg/l



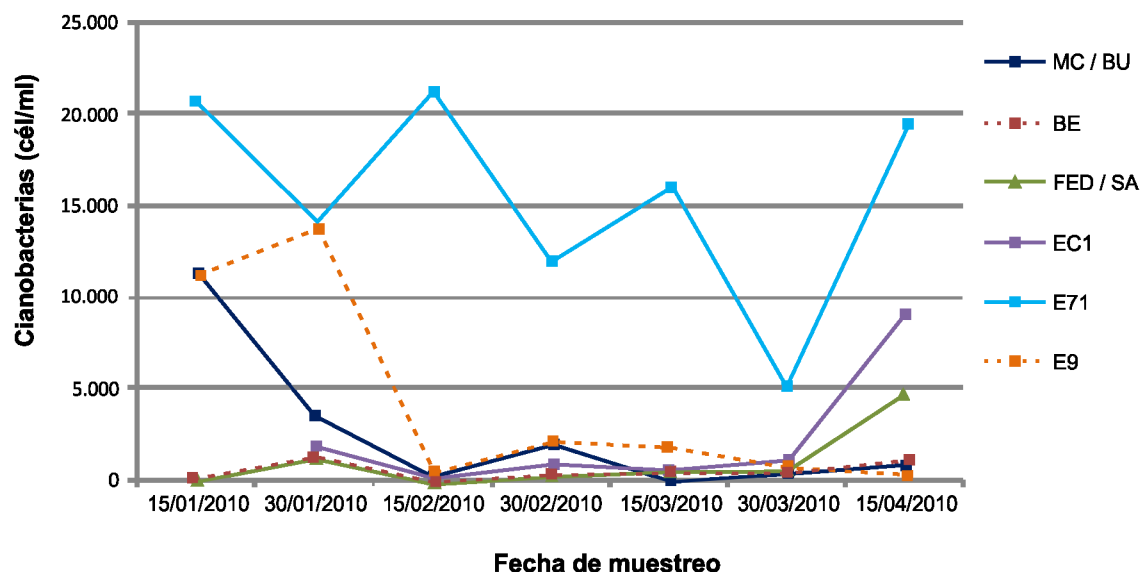


Figure 6. Variation of the concentration of dominant cyanobacteria.  
Figura 6. Variación de la concentración de cianobacterias dominantes.

mg/m<sup>3</sup> en BE en el mes de enero y una mínima de 4,40 mg/m<sup>3</sup> en FED/SA en febrero. El promedio para la "clorofila a" fue 12,6 mg/m<sup>3</sup>.

Respecto a la abundancia de cianobacterias dominantes (*Microcystis* sp. y *Dolichospermum* sp.), la máxima fue de 40.675 cél/ml en E71 en enero y en MC/BU en marzo no fueron detectadas.

Los sólidos suspendidos de superficie variaron de 1,40 mg/l en EC1 el 16/03 a 47,2 mg/l en MC/BU el 29/03 con un promedio de 12,2 mg/l. En fondo, de 3,20 mg/l en FED/SA el 16/03 a 53,2 mg/l en MC/BU el 29/03, con un promedio de 14,3 mg/l.

Los sólidos suspendidos volátiles presentaron promedios de 9,20 mg/l y 4,80 mg/l en superficie y fondo respectivamente. En superficie, la mínima fue de 0,40 mg/l en FED/SA el 16/03 y la máxima de 39,6 mg/l en MC/BU el 29/03. En fondo, los valores mínimo y máximo fueron 2,20 mg/l en FED/SA el 16/03 y 44,8 mg/l en MC/BU el 29/03.

Se observó que al aumentar los sólidos suspendidos disminuyó la concentración de "clorofila a" y las cianobacterias.

En el análisis estadístico de los datos no se estableció correlación lineal entre los nutrientes, "clorofila a" y cianobacterias. En la Figura 7 se observan gráficos de dispersión en donde se muestra que no existe correlación entre el fósforo total y la "clorofila a" y las cianobacterias.

Respecto a la aplicación de índices de estado trófico, los resultados variaron de eutrófico a

in FED/SA on 16/03 and 44.8 mg/l in MC/BU on 29/03.

It was seen that when the suspended solids were raised, the concentration of "chlorophyll a" and cyanobacteria diminished.

In the statistical analysis of the data, no lineal correlation was established between the nutrients, "chlorophyll a" and cyanobacteria. In Figure 7 graphics of dispersion can be seen where it is shown that no correlation exists between the total phosphorus, "chlorophyll a" and cyanobacteria.

Regarding the application of indices of the trophic state, the results varied from eutrophic to hypereutrophic. The study area was given eutrophic status with the results (51-70), using Carlson's TSI (1977). With the application of the OECD index (1982) an eutrophic state was obtained for the chlorophyll parameters at (8-25) and total phosphorus (0.035-0.100), while for the water transparency a hypereutrophic state (<1.5) was obtained. In the case of Ramírez & Viña's index ICOTRO (1998), the result showed a eutrophic state (0.02-1.00).

## DISCUSSION

The previous information on the trophic state of the dam of Salto Grande shows contradictions. Some authors such as Chalar (2006), affirm that the state is eutrophic while others such as Salas & Martino (2001) and CIC (2004) indicate a mesotrophic state. However, it should be mentioned that that the authors do not

Table 2. Average, minimum, maximum, standard deviation and n of the variables measured in situ and the biological variables.

Tabla 2. Promedio, mínima, máxima, desviación estándar y n de las variables medidas in situ y las biológicas.

Estación/ Station	Temp.	OD	pH	K	Secchi	Clo"a "	Cyano
MC/BU	°C	mg/l		uS/cm	m	ug/l	Cél/ml
Media/Mean	27,4	7,92	7,33	50,8	0,45	16,3	2.538
Mínimo/Minimum	26,0	7,37	6,22	45,6	0,30	8,3	0
Máximo/Maximum	29,4	8,74	8,74	55,1	0,70	19,2	21.200
Desviación estándar/ Standard Desviation	±1,3	±0,47	±0,96	±0,14	±3,29	±3,87	±5,673
N	28	19	19	24	6	7	14
BE							
Media/Mean	27,4	7,22	7,02	52,5	0,57	11,3	510
Mínimo/Minimum	25,5	6,42	6,18	38,2	0,40	6,50	5
Máximo/Maximum	29,8	8,26	7,73	60,5	0,70	26,2	2.400
Desviación estándar/ Standard Desviation	±1,4	±0,51	±0,56	±7,16	±0,12	±6,71	±809
N	29	19	20	23	6	7	14
FED/SA							
Media/Mean	26,9	6,74	7,11	52,9	0,53	10,2	1.047
Mínimo/Minimum	24,9	2,05	6,30	45,7	0,40	4,4	7
Máximo/Maximum	28,6	9,17	7,90	57,7	0,70	20,4	9.275
Desviación estándar/ Standard Desviation	±1,2	±1,50	±0,45	±4,7	±0,12	±4,98	±2.455
N	29	19	20	23	6	7	14
EC1							
Media/Mean	26,9	7,05	6,99	52,5	0,53	10,0	2.329
Mínimo/Minimum	24,4	5,62	6,30	45,4	0,40	6,0	35
Máximo/Maximum	29,2	9,16	7,90	58,0	0,70	16,4	17.360
Desviación estándar/ Standard Desviation	±1,3	±1,05	±0,52	±5,0	±0,14	±3,3	±4.872
N	30	20	20	20	6	7	12
E71							
Media/ Mean	27,0	7,71	7,45	49,8	0,66	15,7	15.570
Mínimo/Minimum	22,5	4,76	6,25	34,7	0,60	9,8	410
Máximo/Maximum	31,5	11,02	8,61	55,7	0,70	24,1	40.675
Desviación estándar/ Standard Desviation	±2,2	±1,73	±0,69	±4,53	±0,05	±5,4	±16.665
N	35	30	20	35	7	7	14
E9							
Media/ Mean	26,8	8,30	7,55	62,0	0,59	12,3	4.369
Mínimo/ Minimum	22,8	5,90	6,92	45,1	0,40	5,70	40
Máximo/Maximum	30,8	12,5	8,46	72,1	0,80	19,6	26.200
Desviación estándar/ Standard Desviation	±2,1	±1,79	±0,44	±5,1	±0,16	±5,4	±8.563
N	35	30	20	35	35	7	14

hipereutrífico. El TSI de Carlson (1977) dio como resultado un estado eutrífico del área de estudio (51-70). Con la aplicación del índice de OECD (1982) se obtuvo un estado eutrífico para los parámetros clorofila a (8-25) y fósforo total (0,035-0,100), en cambio para la transparencia del agua se obtuvo un estado hipereutrífico (<1,5). En el caso del índice

specify the indices used, nor classification criteria, nor their time periods of study. In this study, the three indices applied indicate that the the system presents a eutrophic state, principally for the concentration of phosphorus. However, it must be remembered that in the months preceding the study, from September 2009, heavy rain was registered making the river flow level rise

Table 3. Average, minimum, maximum, standard deviation and n of the studied nutrients with higher variations during the period of study.

Tabla 3. Promedio, mínima, máxima, desviación estándar y n de los nutrientes estudiados con mayores variaciones en todo el tramo de estudio.

Estación	PT (sup)	PT (fdo)	NT (sup)	NT (fdo)	NH4+ (sup)	NH4+ (fdo)
	mgP/l	mgP/l	mgN/l	mgN/l	mgN/l	mgN/l
Media/ Mean	0.059	0,058	0,8	0,7	0,09	0,10
Mínima/Minimum	<0.019	<0,019	0,3	0,2	0,05	0,05
Máxima/Maximum	0.159	0,166	1,5	1,8	0,17	0,21
Desviación estándar/ Standard Desviation	±0.039	±0,040	±0,3	±0,3	±0,04	±0,04
N	41	42	41	42	42	42

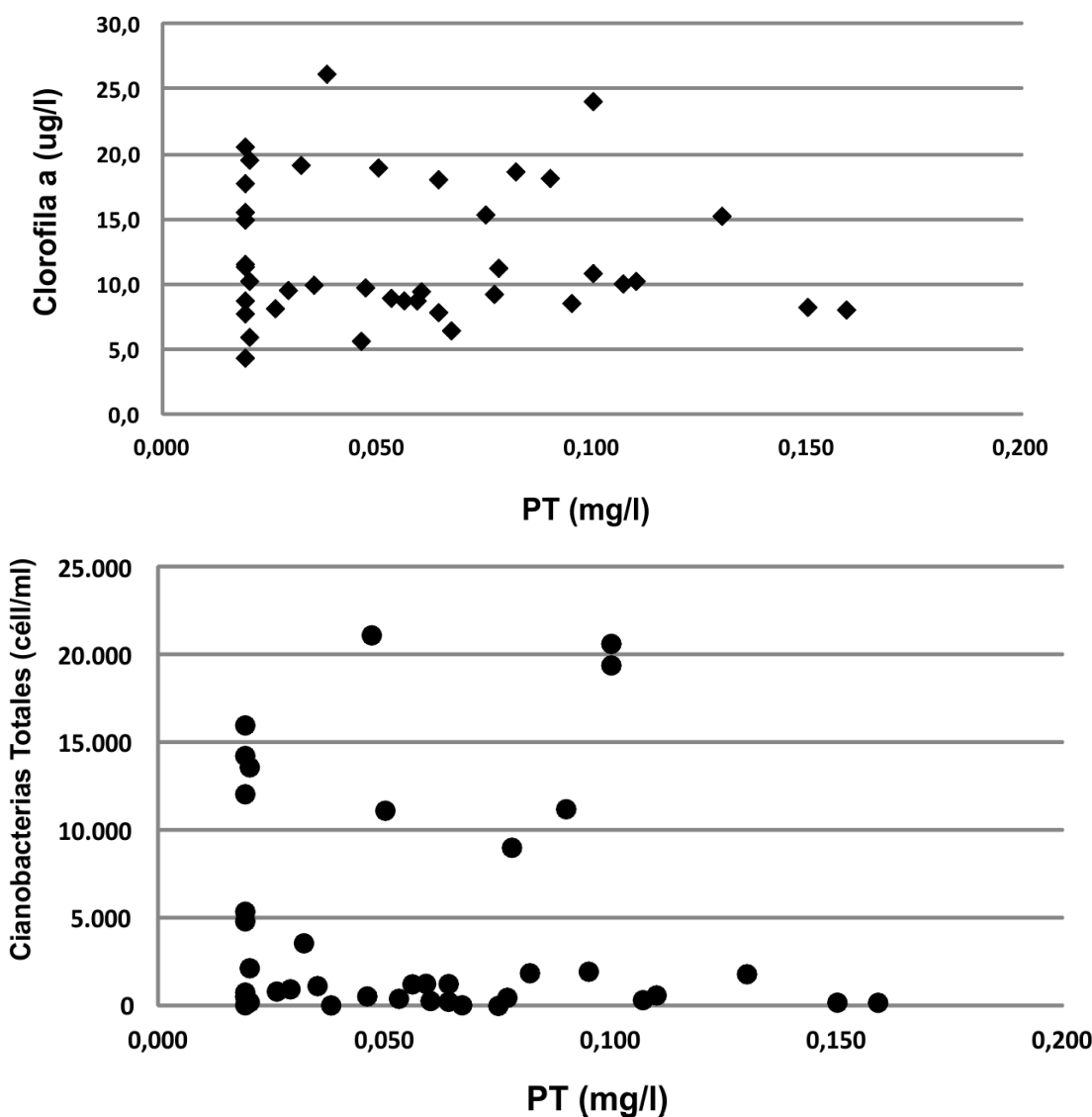


Figure 7. Relation between the total phosphorus, “chlorophyll a” and the concentration of cyanobacteria.  
 Figura 7. Relación entre el fósforo total y la “clorofila a” y la concentración de cianobacterias.

ICOTRO de Ramírez & Viña (1998), el resultado fue un estado eutrófico (0,02-1,00).

### DISCUSIÓN

Los antecedentes sobre el estado trófico del embalse de Salto Grande muestran contradicciones. Algunos autores afirman que el estado es eutrófico como Chalar (2006) a diferencia de otros como Salas & Martino (2001) y CIC (2004) que indican un estado mesotrófico. No obstante, debe aclararse que los autores no especifican índices utilizados o criterios de clasificación ni períodos de tiempo estudiados. En este estudio, los tres índices aplicados indican que el sistema presenta un estado eutrófico, principalmente, por la concentración de fósforo. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que en meses previos al período de estudio, a partir de septiembre de 2009, se registraron intensas precipitaciones alcanzándose en noviembre el máximo caudal del año (15.721 m<sup>3</sup>/s). En esos meses, se produjeron inundaciones en los principales centros poblados de la subcuenca de Salto Grande como en Salto (Uruguay). Posteriormente, los caudales fueron disminuyendo hasta alcanzar valores promedios normales. Esta anomalía en las variables hidrológicas pudo haber influenciado en los resultados de este estudio debido a que los altos caudales están asociados al aumento de la carga de nutrientes y sólidos suspendidos y a la disminución de la transparencia del agua y tiempo de retención del agua en el sistema de estudio.

Si bien se hallaron algunas diferencias en los índices aplicados, el TP como variable principal para determinar el estado trófico permite definir el estado del área de estudio como eutrófico. Las estaciones de muestreo con mayores frecuencias de blooms o concentración de cianobacterias/clorofila  $\alpha$  (E71 y E9) tuvieron las menores concentraciones de nutrientes y de sólidos suspendidos (<20 mg/l). Esto podría ser consecuencia de la asimilación de nitrógeno y fósforo que realizan las algas para incrementar su biomasa. En cambio, se observan valores relativamente elevados de nutrientes en las Estaciones Norte (MC/BU y BE) donde no ocurren frecuentemente floraciones algales y donde, a su vez, los sólidos suspendidos son altos y regulan los blooms. La estación EC1 posee gran profundidad y recambios permanentes de caudal dada su cercanía a la represa, por lo que los bajos tiempos de residencia serían el factor regulador de las floraciones. Esta situación sugiere que un área

to the year's maximum (15721 m<sup>3</sup>/s). In these months, flooding was seen in the principal population centres of the valley of Salto Grande as in Salto (Uruguay). Later, the riverflow diminished until normal average values were seen. This anomaly in the hydrological variables could have influenced the results of this study as high tides are associated with the rise in the nutrients and suspended solids carried and with the diminishing of the transparency of the water as well as the time length of water retention in the study system.

Even though some differences were seen in the applied indices, the TP as a variable principal to determine the trophic state allows the definition of the state of the study area as eutrophic. The sampling stations with a higher frequency of blooms or concentration of cyanobacteria/chlorophyll a (E71 and E9) had a lower concentration of nutrients and suspended solids (<20 mg/l). This could be a consequence of the assimilation of nitrogen and phosphorus by algae to increase their bio-mass. On the other hand, relatively raised values of nutrients were observed in the Northern stations (MC/BU and BE) where frequent growth of algae does not occur and where, at the same time, the suspended solids are high and regulate the blooms. The EC1 station has much depth and sees constant changes in the flow given its nearness to the dam because the times of lower residency would be the regulating factor of the blooms. This situation suggests that an area or course of water with high nutrient values is potentially an area for the growth of algae.

The flow is an important variable in the study system seen that residency times, turbidity, or concentration of suspended solids and the carrying of nutrients are related. The hydrological conditions would be the factors determining the regulation of the growth of the cyanobacteria in the dam of Salto Grande. The diminishing of abundancies is related with the raise in the discharge and the water level as a result of the process of washing or dilution and the hampering to what floats from above the lighted layers (O'Farrell *et al.*, 2012). De León (op. cit.) adds that the high times of water residency provoke stratification, a high rate of sedimentation, transparency and accumulation of cyanobacteria on the surface.

### CONCLUSIONS

In the application of the indices of the trophic state, the TP as a common variable of the same allowed the definition of the study area as eutrophic. Additionally, the transparency of the water and the concentration of "chlorophyll a" coincided with the definition of the

o curso de agua con altos valores de nutrientes es potencialmente un área de desarrollo de floraciones algales.

El caudal es una variable importante en el sistema de estudio ya que se relaciona con los tiempos de residencia, la turbiedad o concentración de sólidos suspendidos y la carga de nutrientes. Las condiciones hidrológicas serían los factores determinantes en la regulación de floraciones de cianobacterias en el embalse de Salto Grande. La disminución de abundancias están relacionadas con el aumento de la descarga y el nivel de agua como resultado de procesos de lavado o dilución y al obstaculizar la flotación hacia arriba de las capas iluminadas (O'Farrell *et al.*, 2012). De León (op. cit.) agrega que los altos tiempos de residencia del agua provocan estratificación, alta tasa de sedimentación, transparencia y acumulación de cianobacterias en la superficie.

### CONCLUSIONES

En la aplicación de los índices de estado trófico, el PT como variable común de los mismos permitió definir el estado del área de estudio como eutrófico. Adicionalmente, la transparencia del agua y la concentración de "clorofila a" coinciden con la definición del estado trófico.

Se detectaron diferencias sustanciales en las variables estudiadas en el sistema entre el canal principal (MC/BU, BE, FED/SA y EC1) y los brazos (E71 y E9) y además, no se observó estratificación térmica en las estaciones de muestreo.

En este estudio se encontró que, como indican los antecedentes, los nutrientes no serían un factor limitante para el crecimiento de las cianobacterias en el embalse de Salto Grande debido a que no se estableció correlación entre los nutrientes y la "clorofila a" y las cianobacterias. Sin embargo, son necesarios estudios de la variación anual de los nutrientes y las cianobacterias.

### AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Administradora del Río Uruguay y a la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande por permitirnos la realización y publicación del trabajo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA-AWWA-WFF. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 17ª ed. Díaz de Santos S.A. Madrid, 235 pp.
- Carlson, R. 1977. A Trophic State Index For Lakes. *Limnology and Oceanography* 22 (2): 361-369.

trophic state.

Substantial differences in the studied variables were detected in the system between the main canal (MC/BU, BE, FED/SA and EC1) and the arms (E71 and E9) and, moreover, thermic stratification was not observed in the sampling stations.

In this study it was found, as indicated by previous research, that nutrients would not be a limiting factor for the growth of cyanobacteria in the dam of Salto Grande as there was no correlation established between the nutrients, the "chlorophyll a" and the cyanobacteria. However, studies of the annual variation of the nutrients and cyanobacteria are a necessity.

### ACKNOWLEDGEMENTS

Our thanks to the Comisión Administradora del Río Uruguay and to the Comisión Técnica Mixta de Salto Grande for permitting the realisation and publication of this study.

Recibido: mayo 2011.

Aceptado: julio 2012.

- CARU. 1993. Informe de avance programa calidad de las aguas y control de la contaminación del Río Uruguay - etapa I 1987-1990. Publicaciones CARU: Serie técnico-científica, Paysandú, 86 pp.
- CARU-CTMSG. 2009. ANEXO A: Acuerdo específico N°1. Subcomisión de medio ambiente y uso sostenible del agua, Informe N° 48, Acta N°11/09, Sesión ordinaria, 28 de octubre, Paysandú, 3471-3474.
- Chalar, G.; De León, L.; Brugnoli, E.; Clemente, J. & Paradiso, M. 2002. Antecedentes y nuevos aportes al conocimiento de la estructura dinámica del embalse de Salto Grande. En: Fernández-Cirelli, A. & Chalar, G. (eds). El agua en Sudamérica: de la Limnología a la Gestión en Sudamérica. CYTED Aprovechamiento y Gestión de los Recursos Hídricos. Buenos Aires, 123-142.
- Chalar, G. 2006. Dinámica de la eutrofización a diferentes escalas temporales: embalse Salto Grande (Argentina-Uruguay). Eutrofización en América del Sur: causas, consecuencias y tecnologías de gerenciamiento y control. 87-101.
- CIC (Comisión de Investigaciones Científicas). 2004. Visión 8: Impactos y conservación ambiental. Componente 3a: visión para el desarrollo sostenible en la Cuenca del Plata y su relación con los recursos hídricos, Informe nacional de Argentina. Subsecretaría de recursos hídricos, 163-176.
- De León, L. 2002. Floraciones de cianobacterias en aguas continentales del Uruguay: causas y consecuencias. Perfil ambiental del Uruguay, Montevideo, 28-37.
- Iriondo M.H. & Kröhling D.M. 2008. Cambios ambientales en la cuenca del río Uruguay, desde dos millones de años hasta el presente. 1° ed. UNL, Argentina. 358pp.
- Margalef, R.; Planas, M.D.; Armengol, J.; Vidal, A.; Prat, N.; Guisset, A.; Toja, J. & Estrada, M. 1976. Limnología de los embalses españoles. Dirección General de Obras Hidráulicas-MOP, publicación 123, Madrid.
- Meichtry, N., Martens, I.S. & Llano, V. 2009. Cianobacterias planctónicas: su impacto en ambientes acuáticos continentales. Descripción de los géneros más frecuentes. En: Giannuzzi, L. (ed.). 2009. Cianobacterias y Cianotoxinas. Moglia, Corrientes, 237pp.
- Nusch, E. A. 1980. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigments determination. Archiv für Hydrobiologie-Beiheft Ergebnisse der Limnologie 14:14-36.
- OECD. 1982. Eutrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte. Paris. 164pp.
- O'Farrell, I.; Bordet, F. & Chaparro, G. 2012. Bloom forming cyanobacterial complexes co-occurring in a subtropical large reservoir: validation of dominant eco-strategies. *Hydrobiologia* on line DOI 10/1007/s10750-012-1102-4
- Ramírez, A. & Viña, G. 1998. Limnología colombiana, aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. 1° ed. Fundación Universitaria de Bogotá Jorge Lozano. Santafé de Bogotá, 293 pp.
- Salas, H.J. & Martino, P. 1996. Curso de eutrofización en lagos cálidos tropicales. Santo Domingo, Rep. Dominicana. CEPIS-HPE-OPS. 1-13.
- Salas, H.J. & Martino, P. 2001. Metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales. CEPIS-HPE-OPS. 60pp.
- Salto Grande. 2011. Consulta. Internet: [www.saltogrande.org](http://www.saltogrande.org).
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton Methodik. Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 9: 1-38.
- Velásquez, J.E., Jiménez, G.J. & Sepúlveda, M. 2007. Determinación de la calidad ambiental de la Ciénaga Colombia. Gestión y Ambiente- U.N.C. 10 (4): 187 – 200.
- Zalocar, Y. & Forastier, M. 2005. Biodiversidad de cyanophyceae (cianobacteria) y especies toxigénicas del litoral fluvial argentino. Publicaciones INSUGEO, CONICET-UNNE, Corrientes.