

# Laguna del Cisne

## Informe de las Campañas de Monitoreo

Setiembre 2016 / Marzo 2017

**Coordinación y responsable técnico:** Dr. Guillermo Goyenola

**Responsables del Informe:** Dr. Nicolás Vidal, Dr. Guillermo Goyenola

**Trabajo de campo:** Dr. Nicolás Vidal, Dr. Guillermo Goyenola Lic. Claudia Fosalba, Lic. Natalie Corrales, Lic. Daniela Olsson.

**Análisis químico:** Lic. Claudia Fosalba, Br. Paula Levrini



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



CURE  
Centro Universitario  
Regional del Este



Gobierno de Canelones  
Dirección General de Gestión Ambiental

**El presente informe es el producto del CONVENIO DE COLABORACIÓN entre el CURE/ Universidad de la República y la Intendencia Departamental de Canelones.**

***Intendencia Departamental de Canelones***

Intendente de Canelones | Prof. Yamandú Orsi

Secretario General | Cr. Gabriel Camacho

Coordinación General del Convenio: Leonardo Herou – Dir. Gral. De Gestión Ambiental (DGGGA)

***Centro Universitario Regional Este/UDELAR***

Coordinación General y responsable técnico: Dr. Guillermo Goyenola [ggoyenola@cure.edu.uy](mailto:ggoyenola@cure.edu.uy)

**Salinas, 14 de julio 2017**

## Índice

<b>1. Contexto</b> .....	3
<b>2. Metodología abreviada</b> .....	3
<b>3. Resultados</b> .....	5
<b>4. Evolución histórica de la concentración de fósforo total en la Laguna del Cisne</b> .....	10
<b>5. Principales conclusiones</b> .....	11
<b>6. Referencias Bibliográficas</b> .....	12
<b>Anexo 1</b> .....	13

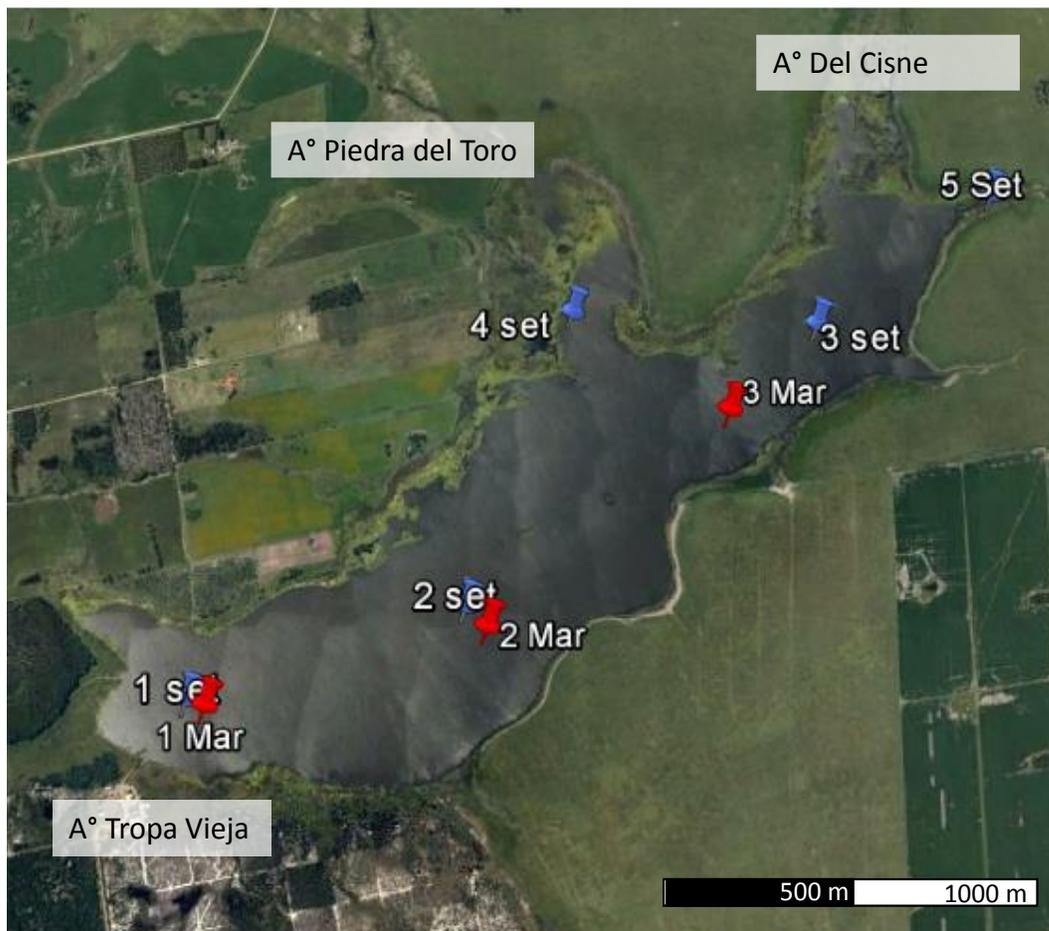
## **1. Contexto**

El presente informe se centra en la presentación de los resultados de dos campañas de monitoreo realizadas en Laguna el Cisne en el período 2016-2017. Las mismas se realizaron en el marco del CONVENIO DE COLABORACIÓN entre el CURE/ Universidad de la República y la Intendencia Departamental de Canelones, en consonancia con lo establecido en la sub-comisión de Monitoreo de la Comisión de Cuenca de Laguna del Cisne. Por mayor información de la historia y situación ambiental de la Laguna del Cisne consultar Goyenola y otros (2011).

## **2. Metodología abreviada**

Los muestreos se realizaron al comienzo de la primavera de 2016 (28/09/2016) y a finales del verano 2017 (6/03/2017). En primavera fue posible muestrear cinco puntos, mientras en el de verano únicamente fue posible acceder a 3 de los mismos debido al bajo nivel del agua (Fig. 1).

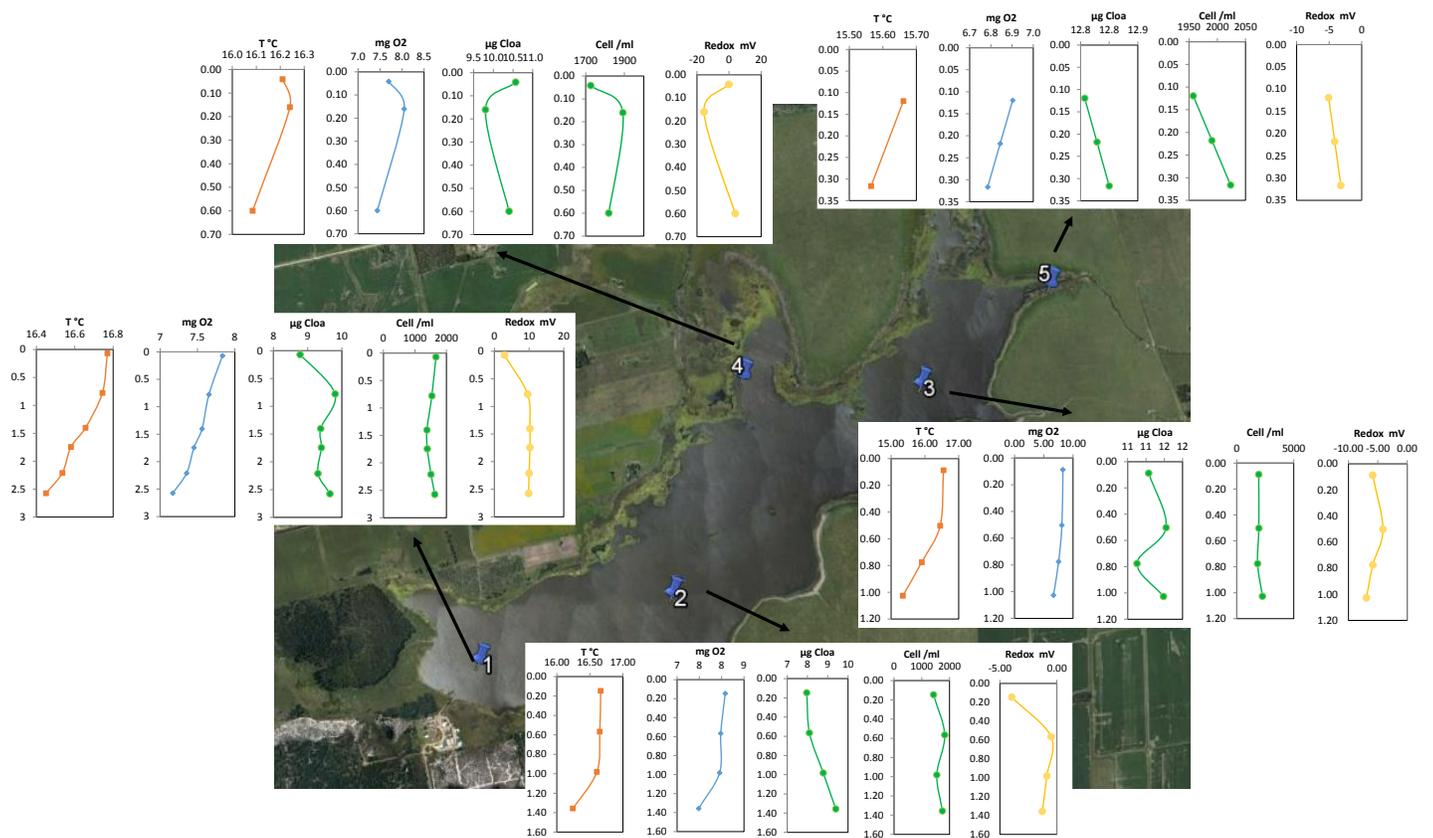
En cada punto se registraron perfiles verticales utilizando una sonda multiparamétrica YSI 660V2-4 con sensores de temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación, potencial REDOX, clorofila  $\alpha$ , ficocianina y turbidez. Adicionalmente se tomaron medidas de transparencia (profundidad de disco de Secchi) y muestras de agua para la determinación de alcalinidad total, color real y aparente. Se conservaron fracciones para la determinación de nutrientes (nitrógeno y fósforo total y fracciones disueltas), sólidos totales en suspensión, porcentaje de materia orgánica y clorofila  $\alpha$ . Las muestras fueron conservadas congeladas y analizadas en los laboratorios del CURE, Sede Maldonado.



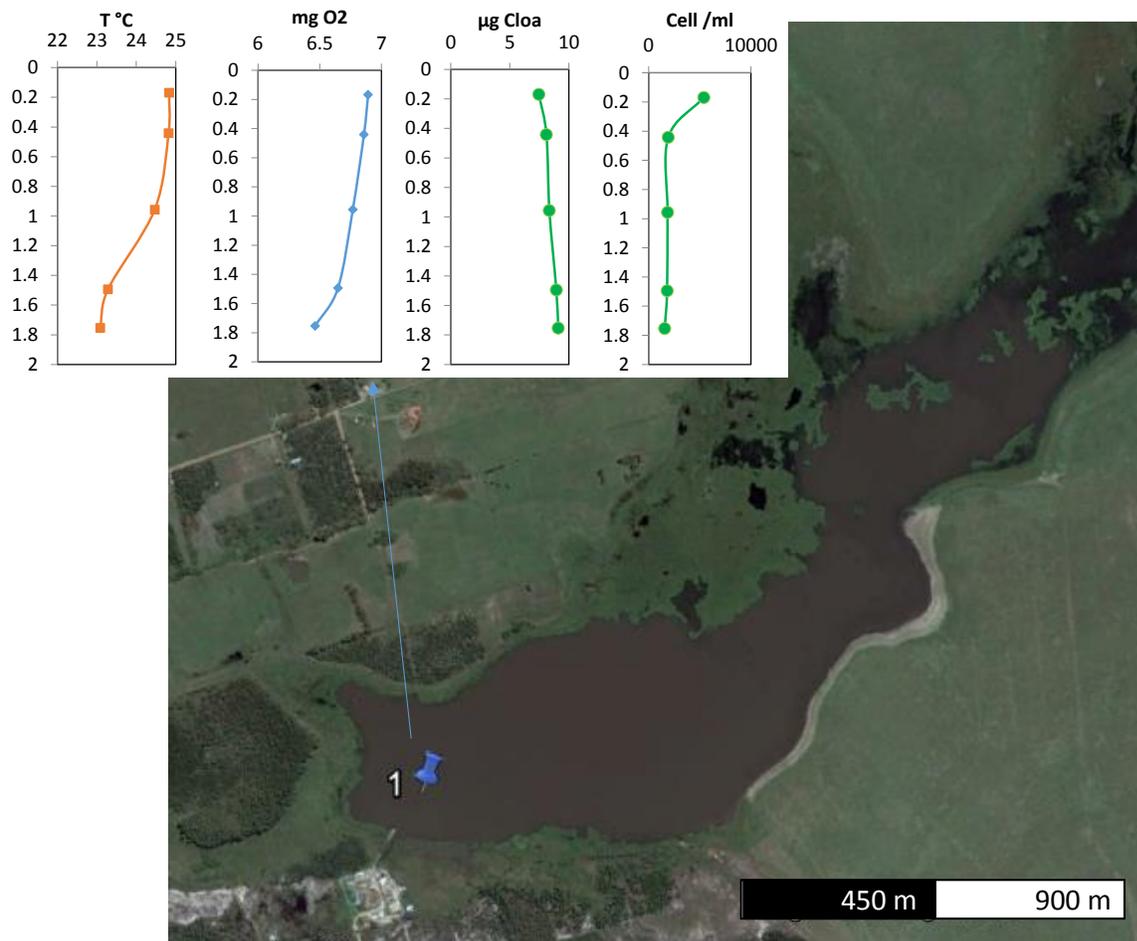
**Fig.1- Monitoreo Laguna del Cisne: Localización de los puntos de muestreo** (azul: setiembre de 2016; rojo: marzo de 2017). La fecha de la imagen satelital corresponde a invierno de 2016, momento en el cual el nivel de la laguna se encontraba alto.

### 3. Resultados

La columna de agua estuvo verticalmente mezclada (ausencia de estratificación térmica) durante el muestreo de setiembre de 2016 (Fig. 2). En el muestreo de marzo de 2017 se registró estratificación térmica en punto de mayor profundidad monitoreado (P1 -2.3 m). En ese muestreo, los puntos 2 y 3 presentaron profundidades de 0,8 y 1.1 m respectivamente, y en ellos la columna de agua se encontró totalmente mezclada en el eje vertical. Todos los registros de nivel de oxígeno fueron elevados durante ambos muestreos ( $> 6.5 \text{ mg L}^{-1}$ ; Fig. 2 y 3; Tablas 1 y 2). El pH se encontró en un rango cercano a la neutralidad, sin presentarse  $\text{pH} < 6.5$  como en muestreos previos (Goyenola et al 2011).



**Fig. 2- Perfiles verticales** de temperatura ( $T^{\circ}\text{C}$ ), oxígeno disuelto ( $\text{mg L}^{-1} \text{O}_2$ ), clorofila  $a$  ( $\mu\text{g L}^{-1} \text{cloa}$ ), ficocianina ( $\text{cell mL}^{-1}$ ) y potencial redox (Redox mV) en los distintos puntos muestreados en setiembre de 2016.



**Fig. 3- Perfiles verticales** de temperatura (T°C), oxígeno disuelto (mg L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>), clorofila a (µg L<sup>-1</sup> cloa), ficocianina (cell mL<sup>-1</sup>) y potencial redox (Redox mV) en el punto 1 muestreado en marzo de 2017.

**Tabla 1. Resultados de perfiles de cada una de las variables medidas *In situ*** (media  $\pm$  desvío estándar). En los puntos de muestreo marcados con asteriscos (\*) se realizó una determinación única (sitios poco profundos, columna de agua verticalmente mezclada). Temp: Temperatura; Cond.: Conductividad; TDS: Solidos totales disueltos; ORP: Potencial redox; NTU: Unidades Nefelométricas de Turbiedad; Chl a: Clorofila a (fluorometría in vivo); ODO: Oxígeno disuelto; ODO sat: Porcentaje de Saturación de oxígeno; BGA-PC: concentración de células que contienen ficocianina (fluorometría in vivo).

Fecha	Punto	Temp (° C)	Cond. ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	TDS ( $\text{mg L}^{-1}$ )	ORP (Mv)	pH	Turbidez (NTU)	Chl a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	ODO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	ODO sat (%)	BGA-PC (células $\text{mL}^{-1}$ )
28/09/2016	1	16.6 $\pm$ 0.1	100.2 $\pm$ 0.4	65.0 $\pm$ 0.0	8.8 $\pm$ 2.9	6.7 $\pm$ 0.0	29.4 $\pm$ 0.7	9.4 $\pm$ 0.4	7.5 $\pm$ 0.2	77.1 $\pm$ 2.6	1520.4 $\pm$ 117.9
28/09/2016	2	16.1 $\pm$ 0.6	102.0 $\pm$ 0.8	66.2 $\pm$ 0.4	-5.7 $\pm$ 1.2	7.1 $\pm$ 0.1	32.5 $\pm$ 7.2	11.2 $\pm$ 0.4	7.6 $\pm$ 0.7	77.6 $\pm$ 8.2	1980.4 $\pm$ 185.6
28/09/2016	3	16.5 $\pm$ 0.2	100.2 $\pm$ 0.3	65.1 $\pm$ 0.2	-1.7 $\pm$ 1.6	7.0 $\pm$ 0.1	29.8 $\pm$ 1.8	8.6 $\pm$ 0.7	7.9 $\pm$ 0.3	80.7 $\pm$ 3.1	1632.2 $\pm$ 183.8
28/09/2016	4	16.2 $\pm$ 0.1	110.1 $\pm$ 0.2	71.8 $\pm$ 0.4	-3.9 $\pm$ 10.3	7.1 $\pm$ 0.3	30.1 $\pm$ 0.7	10.3 $\pm$ 0.4	7.7 $\pm$ 0.3	78.6 $\pm$ 3.3	1812.4 $\pm$ 83.4
28/09/2016	5	15.6 $\pm$ 0.1	92.0 $\pm$ 0.0	60.0 $\pm$ 0.0	-4.1 $\pm$ 1.3	7.1 $\pm$ 0.1	25.0 $\pm$ 3.0	12.8 $\pm$ 0.0	6.8 $\pm$ 0.1	68.8 $\pm$ 0.9	1990.5 $\pm$ 46.7
06/03/2017	1	24.1 $\pm$ 0.9	208 $\pm$ 1	0.135 $\pm$ 0.001	3.6 $\pm$ 6	7.4 $\pm$ 0.1	35 $\pm$ 2.8	8.4 $\pm$ 0.7	6.7 $\pm$ 0.2	80.1 $\pm$ 3.3	2512 $\pm$ 1621
06/03/2017(*)	2	25.4	205	0.133	-7.2	7.6	35.9	10.6	6.9	83.8	3550
06/03/2017(*)	3	25.4	208	0.135	-5.3	7.5	33.6	9	6.9	83.7	1967

**Tabla 2. Resultados de las determinaciones de las muestras de setiembre de 2016 y marzo de 2017.** PT, fósforo total; PTD, fósforo total disuelto; PRS, fósforo reactivo soluble; NT, nitrógeno total; NTD nitrógeno total disuelto; NO<sub>3</sub>, nitrato; NH<sub>4</sub>, amonio; STS, sólidos totales en suspensión; MOS, materia orgánica en suspensión; Clo a, clorofila a. Las determinaciones de color real (CR) y aparente (CA) se expresan en unidades de platino y cobalto (PCU). Alc. Total: alcalinidad total. nd, no determinados; las muestras de STS del muestreo de 2016 sufrieron un accidente durante el procesamiento.

Fecha	Punto	PT ( $\mu\text{g P L}^{-1}$ )	PTD ( $\mu\text{g P L}^{-1}$ )	PRS ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	NT ( $\mu\text{g N L}^{-1}$ )	NTD ( $\mu\text{g N L}^{-1}$ )	NO <sub>3</sub> ( $\mu\text{g N L}^{-1}$ )	NH <sub>4</sub> ( $\mu\text{g N L}^{-1}$ )	STS ( $\text{mg L}^{-1}$ )	MOS (%)	Clo a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	CR (PCU)	CA (PCU)	Alc. Total ( $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ )
28/09/2016	1	407	403	400	986	890	244	51	nd	nd	26.0	423	464	44
28/09/2016	2	451	423	418	1002	962	316	48	nd	nd	3.9	458	476	42
28/09/2016	3	468	449	443	1026	994	344	38	nd	nd	8.2	479	522	36
28/09/2016	4	448	435	432	930	770	294	42	nd	nd	4.3	517	550	34
28/09/2016	5	371	370	368	1298	1026	316	35	nd	nd	1.9	456	471	38
	Media	<b>429</b>	<b>416</b>	<b>412</b>	<b>1049</b>	<b>928</b>	<b>302</b>	<b>43</b>			<b>8.9</b>	<b>467</b>	<b>497</b>	39
	DS	39	31	29	144	102	37	7			9.9	35	38	4
06/03/2017	1	565	510	490	962	528	411	59	15.8	71.5	7.0	430	441	64
06/03/2017	2	465	431	400	922	544	362	17	11.0	90.9	8.4	287	515	68
06/03/2017	3	530	501	420	994	568	381	50	17.0	84.9	4.2	314	460	68
	Media	<b>520</b>	<b>480</b>	<b>437</b>	<b>959</b>	<b>546</b>	<b>385</b>	<b>42</b>	<b>14.6</b>	<b>82.4</b>	<b>6.6</b>	<b>344</b>	<b>472</b>	67
	DS	51	43	47	36	20	25	22	3.2	9.9	2.1	76	38	2

La concentración de fósforo total estuvo en el entorno de los 430 y 520  $\mu\text{g P L}^{-1}$  en los muestreos 2016 y 2017 respectivamente, lo que configuran valores muy por encima del límite establecido en el Decreto 253/79 y modificativos ( $\text{PT} < 25 \mu\text{g P L}^{-1}$ ). La mayor parte de dicho fósforo ( $\geq 79\%$  en todos los casos) estuvo presente como fósforo reactivo soluble, y por lo tanto potencialmente disponible para la producción primaria.

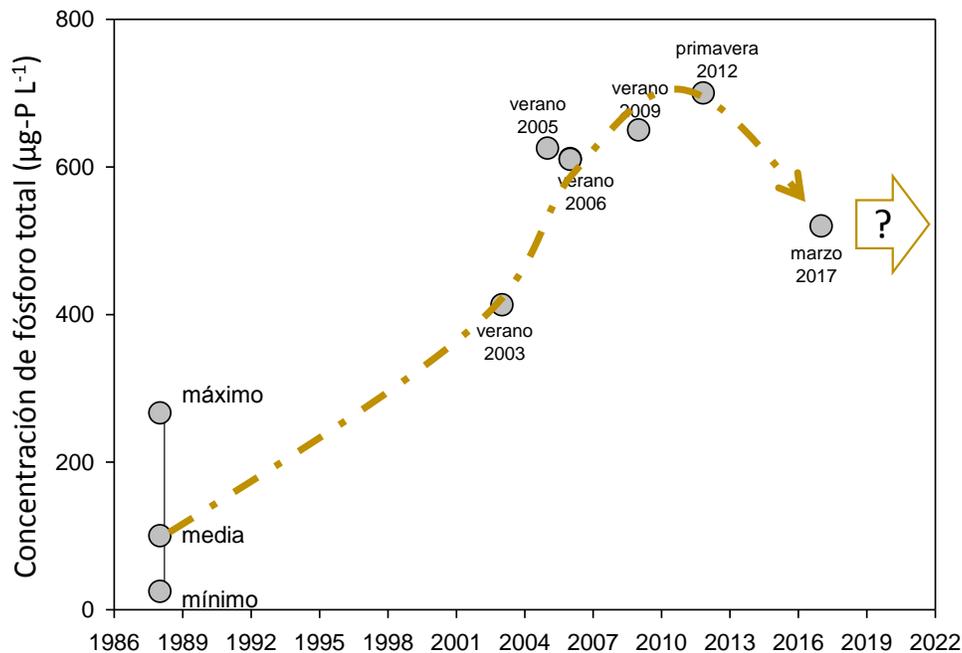
El nitrógeno total presentó niveles cercanos a 1  $\text{mg N L}^{-1}$  (1000  $\mu\text{g N L}^{-1}$ ; Tabla 2). En el muestreo 2016 la fracción predominante fue la de nitrógeno orgánico disuelto (estimado como  $\text{NTD} - (\text{NO}_3 + \text{NH}_4)$  entre el 47 y el 60% de NT), mientras en verano la fracción predominante fue el  $\text{NO}_3$  (entre el 38 y 43%; datos estimados a partir de la Tabla 2). Los valores de  $\text{NO}_3$  estuvieron siempre muy por debajo del máximo establecido en la normativa (10  $\text{mg L}^{-1}$ , Anexo 1). El amonio contribuyó siempre de una forma muy minoritaria al NT ( $\leq 6\%$  de NT), y los niveles de amoníaco estimados a partir de la concentración de amonio y el valor de pH, se encontraron siempre muy por debajo del límite establecido en la normativa (Anexo 1). La relación estequiométrica entre fósforo y nitrógeno varió entre 4 y 8 átomos de nitrógeno por cada átomo de fósforo.

El sistema presentó una alta turbidez durante ambos muestreos (entre 29 y 35 NTU promedio), sin incumplir los niveles máximos establecidos en el Decreto vigente (Anexo 1). Los niveles de clorofila en suspensión fueron bajos en ambas oportunidades ( $< 10 \mu\text{g L}^{-1}$ ; Tabla 2).

El agua de la Laguna del Cisne presentó una coloración rojizo-amarillenta característica, la que se asocia a materia orgánica disuelta coloreada (sigla en inglés CDOM). El aporte de la fracción disuelta al color total fue el mayoritario en ambos muestreos (color aparente  $\times 100/\text{color real}$ , ver Tabla 2), lo que históricamente se ha vinculado al aporte de una elevada carga de sustancias húmicas provenientes del Humedal del Estero.

#### 4. Evolución histórica de la concentración de fósforo total en la Laguna del Cisne

En estudios previos se reportó la marcada tendencia al incremento de la concentración de fósforo total en el agua laguna a partir fines de la década de los 80 (Goyenola et al 2011). Según datos brindados por la OSE, el valor máximo registrado en la laguna se habría alcanzado un techo de 700  $\mu\text{g P L}^{-1}$  en primavera de 2012 (recuérdese que el límite establecido en el Decreto 253/79 y modificativos es de 25  $\mu\text{g P L}^{-1}$ ). Lo acelerado del incremento ocurrido en pleno período de intensificación del uso del suelo en la cuenca, permite afirmar que las causas no fueron naturales. Las determinaciones realizadas en primavera de 2016 y verano de 2017 establecen un marcado cambio en la tendencia a largo plazo en el comportamiento del fósforo (ver Tabla 2 y Fig. 4).



**Fig. 4.- Registro histórico de la variación de la concentración de fósforo total para la laguna del Cisne.** Información del período 1987-2017. Fuentes: Mazzeo et al. 1995, Kruk et al. 2006, Meerhoff 2006, Gelós et al. 2010, Pacheco et al. 2010; Goyenola et al. 2011. Se tomaron sólo datos de verano. Se incluyó también el registro de máxima concentración correspondiente a primavera de 2012 (datos brindados por OSE). Los datos más recientes corresponden al muestreo de verano del presente informe (Tabla 2).

## 5. Principales conclusiones

- Con excepción del fósforo total, la totalidad de las variables monitoreadas presentaron valores ajustados a la normativa vigente (Anexo 1).
- Si bien los menores niveles de fósforo total registrados en los muestreos de 2016 y 2017 resultan sumamente auspiciosos, no es posible concluir aún que el proceso de incremento de la carga de nutrientes se haya revertido. De todas formas debe tenerse en cuenta que los niveles registrados de fósforo se encuentran muchas veces por encima respecto a lo deseable para una Laguna fuente de agua para consumo humano.
- En concordancia con los muestreos realizados desde 2008:
  - El nutriente limitante para la producción biológica sigue siendo el nitrógeno. Este hecho favorece el dominio de cianobacterias con capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, lo que a su vez establece un riesgo elevado de floraciones potencialmente tóxicas.
  - Para los niveles de fósforo total, reactivo soluble y nitrógeno presentes, cabe esperar mayores niveles de clorofila *a* en suspensión que los registrados. Este hecho, discutido ampliamente en el informe publicado en 2011 (Goyenola et al 2011), tendría como causas complementarias la atenuación lumínica vinculada a la resuspensión eólica de sedimentos (turbidez) y la presencia de elevados niveles de materia orgánica coloreada disuelta (distrofia).
  - Mantener una producción biológica reducida con tan elevados niveles de fósforo es el objetivo de gestión clave en el aseguramiento de la calidad de agua en la fuente de agua potable. Para esto se insiste en la necesidad de conservar el humedal del Estero, fuente de gran cantidad de materia orgánica coloreada disuelta.
- Resulta imprescindible la continuidad en el tiempo al programa de monitoreo de forma de poder establecer si la tendencia a la reducción del nivel de fósforo total en la Laguna representa la reversión de la tendencia histórica hacia el incremento del fósforo total, o si únicamente es efecto de condiciones particulares.
- Resulta necesario y ventajoso complementar el monitoreo realizado con análisis en mayor profundidad de parámetros y matrices ambientales no analizadas hasta el momento. Se vienen realizando negociaciones al respecto con técnicos de la DINAMA.

## 6. Referencias Bibliográficas

Gelós, M., F.T.-d. Mello, G. Goyenola, C. Iglesias, C. Fosalba, F. García-Rodríguez, J.P. Pacheco, S. García & M. Meerhoff. 2010. Seasonal and diel changes in fish activity and potential cascading effects in subtropical shallow lakes with different water transparency. *Hydrobiologia* 646: 173-185.

Goyenola, G., Acevedo, S., Machado, I., Mazzeo, N., 2011. Diagnóstico del Estado Ambiental de los Sistemas Acuáticos Superficiales del Departamento de Canelones. Volumen III: Laguna del Cisne. En: Goyenola, G. (Ed.), Informe Desarrollo de Línea de Base sobre Calidad de Agua 2008-2009. Plan Estratégico Departamental de Calidad de Agua (PEDCA). Comuna Canaria; Facultad de Ciencias; Asociación Civil Investigación y Desarrollo, Canelones.

Kruk, C., Rodríguez-Gallego, L., Quintans, F., Lacerot, G., Scasso, F., Mazzeo, N., & Paggi, J. C. (2006). Biodiversidad y calidad de agua de 18 pequeñas lagunas en la costa sureste de Uruguay. Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya. Montevideo: Vida Silvestre Uruguay, GRAPHIS Ltd.

Mazzeo, N., Gorga, J., Crosa, D., Ferrando, J., & Pintos, W. (1995). Spatial and temporal variation of physicochemical parameters in a shallow reservoir seasonally covered by *Pistia stratiotes* L. in Uruguay. *Journal of Freshwater Ecology*, 10(2), 141-149.

Meerhoff, M. 2006. The structuring role of macrophytes on trophic dynamics in shallow lakes under a climate-warming scenario, Dept. of Biological Sciences, University of Aarhus and Dept. of Freshwater Ecology, NERI. National Environmental Research Institute, Denmark. 156 pp.

Pacheco, J.P., C. Iglesias, M. Meerhoff, C. Fosalba, G. Goyenola, F.T.-d. Mello, S. García, M. Gelós & F. García-Rodríguez. 2010. Phytoplankton community structure in five subtropical shallow lakes with different trophic status (Uruguay): a morphology based approach. *Hydrobiologia* 646: 187-197.

## Anexo 1

Referencia de niveles límite de calidad de agua establecidos en la normativa vigente (Clase 3, Decreto 253/79 y modificativos).

PARAMETRO	ESTANDAR	¿Cumplió?
- TURBIEDAD	Máximo 50 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbiedad)	siempre
- pH	Entre 6,5 y 8,5	Siempre
- OD (Oxígeno disuelto)	Mín. 5 mg/L	Siempre
- AMONIACO LIBRE (#)	Máx 0,02 mg/L en N	Siempre
- NITRATOS	Máx 10 mg/L en N	Siempre
- FOSFORO TOTAL	Máx 0,025 mg/L en P	<b>Nunca</b>

(#) En este estudio se determinó la concentración de amonio. Los niveles de amoníaco libre se incrementan con el aumento del pH, por lo que resultan casi despreciables en el rango de pHs registrados para Laguna del Cisne ( $\text{pH} \leq 7.6$  en promedio).

pH	% Amoníaco libre	% ión amonio
6	0	100
7	1	99
8	4	96
9	25	75
10	78	22
11	96	4