

Diagnóstico del Estado Ambiental de los Sistemas Acuáticos Superficiales del Departamento de Canelones

Volumen III: Laguna del Cisne



Plan Estratégico Departamental de Calidad de Agua (PEDCA)

Informe Desarrollo de Línea de Base sobre Calidad de Agua 2008-2009



Plan Estratégico Departamental de Calidad de Agua
Diagnóstico del Estado Ambiental de los Sistemas Acuáticos Superficiales del Departamento de Canelones
Volumen III: Laguna del Cisne

Comuna Canaria
República Oriental del Uruguay
Intendente Departamental de Canelones
Dr. Marcos Carámbula
Secretaría General
Prof. Yamandú Orsi

Autores del informe: Guillermo Goyenola, Sandra Acevedo, Irene Machado, Néstor Mazzeo.

Responsable PEDCA: Lic. Guillermo Goyenola (MSc.) (Dirección General de Gestión Ambiental, Comuna Canaria) 2008-2010; Centro Universitario Regional del Este/Facultad de Ciencias, Universidad de la República 2010-2011.

Equipo técnico responsable: Ing. Quím. Sandra Acevedo, Lic. Guillermo Goyenola, MSc., Lic. Irene Machado

Apoyo de campo: Daniel Bocca, Jorge Laclau, Nicolás Fraquio, Roberto Martínez, Cesar Pereyra; Coordinación: Carlos Dogliotti (Cuerpo Inspeitivo Municipal)

Análisis de Laboratorio: Ing. Quím. Sandra Acevedo, Lic. Guillermo Goyenola, MSc., Lic. Irene Machado (Dirección General de Gestión Ambiental, Comuna Canaria); Q.F. María del Carmen García (Gerente de Sector); Q.F. Yolanda Garbarino, Dr. Veterinario Juan Cabrera (Directores de División Técnica); Ana Calviño, Sandra Piriz, Andrea Battaglino, Susana Suarez (Ayudantes), Yudith Meneses, Ivonne Moreno (Auxiliares). (Laboratorio de Bromatología, IMC; período 2008-2009)

Grupo de Investigación en Ecología y Rehabilitación de Sistemas Acuáticos, Facultad de Ciencias-Centro Universitario Regional Este, Universidad de la República:
Responsable: Dr. Néstor Mazzeo. Lic. Guillermo Goyenola (MSc.). Análisis de laboratorio: Lic. Soledad García.

Grupo de Investigación en Ecología Básica y Aplicada (GIEBA), Asociación Civil sin fines de Lucro Investigación y Desarrollo (I+D). Responsables del Proyecto "Evaluación ambiental y análisis de riesgos potenciales de sistemas utilizados para el suministro de agua potable": Lic. Claudia Fosalba, Lic. G. Goyenola (MSc), Dr. Carlos Iglesias & Dra. Mariana Meerhoff (2005).

Diagnóstico del Estado Ambiental de los Sistemas Acuáticos Superficiales del Departamento de Canelones Volumen II: Laguna del Cisne

De acuerdo a la Ley Orgánica Municipal son competencias propias “la vigilancia y demás medidas necesarias para evitar la contaminación de las aguas”

(Art. 35, Ley nº 9.515 del 28/10/1935).

La recientemente promulgada Ley de Política Nacional de Agua establece la obligatoriedad del desarrollo de planes de gestión de las aguas a nivel de cuenca y acuífero, tanto a escala nacional, regional y local (Ley nº 18.610 del 2/10/2009).

Los problemas ambientales responden a realidades territoriales, económicas, socioculturales y ecológicas específicas y difícilmente puedan ser resueltos con la simple aplicación de paquetes tecnológicos desarrollados en otras latitudes. Hasta el 2008, la carencia de conocimiento sobre el territorio canario, hacía imposible realizar diagnósticos mínimos, evaluar riesgos ambientales, prever el surgimiento de nuevas problemáticas o confrontar alternativas de ordenamiento territorial sobre la luz de las implicancias sociales y ecosistémicas a corto, mediano y largo plazo. Darle adecuada dimensión a la generación de conocimiento, resulta entonces clave en una gestión ambiental moderna y es sustento indispensable de un modelo de desarrollo sustentable.

En este contexto, delineó el **Plan Estratégico Departamental de Calidad de Agua (PEDCA)** sobre **cuatro ejes temáticos: 1) Monitoreo ambiental ciudadano, 2) Programas institucionales de monitoreo ambiental, 3) Generación de una línea de base sobre calidad/estado de los sistemas acuáticos dulceacuícolas canarios y 4) Desarrollo de biomarcadores-bioindicadores de calidad de agua.** La gestión integrada del agua y la cuenca y el acuífero como unidades de gestión, se constituyen como **ejes transversales** en el desarrollo del PEDCA.

El presente informe resume aspectos centrales del análisis de la información generada en el desarrollo de la línea de base sobre calidad/estado de los sistemas acuáticos dulceacuícolas canarios, integrándolos en una revisión sobre el estado del conocimiento sobre la Laguna del Cisne en un contexto de cuenca. El desarrollo de línea de base del PEDCA ha sido ejecutado con el soporte de un Convenio de Colaboración entre la Comuna Canaria y la Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Adicionalmente se ha integrado información inédita sobre uso de la cuenca generada por el Proyecto “Evaluación ambiental y análisis de riesgos potenciales de sistemas utilizados para el suministro de agua potable” (Grupo de Investigación en Ecología Básica y Aplicada, Asociación Civil sin fines de Lucro Investigación y Desarrollo, con patrocinio del Gobierno Suizo, 2005-2006).

Si bien el presente manuscrito integra gran cantidad de información de carácter técnico, se ha intentado ayudar la comprensión mediante soporte gráfico, en todos los casos en que fuese posible. Se excluyen del presente los Ríos y Arroyos no pertenecientes a la cuenca, así como los lagos de la zona suroeste del Departamento, para los que se realizarán informes específicos.

Resumen

- La **Laguna del Cisne** ya era clasificada como **eutrófica** a fines de los años 80.
- En las últimas dos décadas se ha registrado una franca disminución de la cobertura de plantas acuáticas emergentes y flotantes en la Laguna, sufriendo esta un marcadísimo incremento de la concentración de fósforo total. En la actualidad la Laguna debería ser clasificada como **hipereutrófica**.
- De acuerdo a la evidencia obtenida durante el desarrollo de la línea de base de calidad de agua (PEDCA), se propone la clasificación de este sistema como **distrófico**, ya que la producción primaria se encuentra limitada por materia orgánica disuelta coloreada (CDOM). Este factor sería aditivo respecto a la turbidez por resuspensión de sedimentos.
- El **humedal del Estero**, ubicado al Este de la Laguna del Cisne sería responsable de servicios ecosistémicos de regulación de la calidad de agua de la Laguna, por lo que su conservación resulta indispensable.
- El sistema se encuentra bajo **fuertes tensiones** que integran la extracción de agua para potabilización y usos del suelo diversos en la cuenca.
- La cuenca está sufriendo en la actualidad fuertes **cambios del régimen del uso del suelo**, en dirección de la intensificación.
- La concentración de **fósforo total** resulta tan elevada, que son esperables respuestas sistémicas abruptas (catastróficas sensu: Scheffer et al. 2001) de dificultosa previsión.
- En función de lo antedicho, el **riesgo de ocurrencia de floraciones cianobacterianas potencialmente tóxicas** ha aumentado significativamente.

- El pasaje hacia un estado dominado por cianobacterias potencialmente tóxicas, no es capaz de ser revertido por la simple recuperación del nivel al que ocurra la transición brusca (ej. concentración de fósforo total). Este tipo de cambios hacen necesario la inversión de grandes esfuerzos para recuperar el estado ambiental de los sistemas. Este hecho determina fuertes condicionantes a **los programas de restauración ambiental de lagos, haciéndolos frecuentemente económicamente inaccesibles** en países como el nuestro.
- Aún si el aporte de nutrientes desde la cuenca se mantuviera constante, el calentamiento del agua provocado por el **cambio climático**, puede potenciar los efectos provocados por la eutrofización. El aumento de la variabilidad climática y la mayor ocurrencia de precipitaciones intensas implicaría pulsos de nutrientes de mayor magnitud, mientras que la mayor frecuencia o duración de períodos secos generaría mayores tiempos de residencia y concentración de los nutrientes en cada sistema, aumentando su disponibilidad para los organismos. Estos fenómenos, actuando independiente o interactivamente, contribuyen al aumento de la productividad ecosistémica, lo que provoca el detrimento de la calidad de agua.
- En función del elevado contenido de materia orgánica coloreada disuelta, debe considerarse a Laguna del Cisne como una fuente con elevado riesgo potencial de formación de **trihalometanos (THMs)**, compuestos considerados peligrosos para la salud humana y el ambiente.
- **El mantenimiento de la calidad de agua de la Laguna del Cisne debe ser entendido como un objetivo central en la gestión ambiental del Departamento, ya que en la actualidad no existen fuentes alternativas para el suministro de agua potable en la zona más densamente poblada de la Costa de Oro.**
- Se propone un conjunto de líneas de acción estratégicas.

Descripción del Estado Ambiental de la Laguna del Cisne en el Contexto de Cuenca

La Laguna del Cisne es el mayor sistema léntico (lacustre) natural de Canelones y se habría formado en la última década del siglo XIX debido a la obstrucción del curso del arroyo Tropa vieja por el transporte eólico de arena (Tribuna Popular, Pando 1893; citado por Gutiérrez Laplace 1995). Si bien en la actualidad, forma parte de la cuenca baja del Arroyo Pando, esto también sería resultado de una modificación relativamente reciente (pero anterior a 1893), a partir de su desembocadura original hacia el Río de la Plata (Gutiérrez Laplace 1995).

La Laguna recibe aportes de una cuenca de poco menos de 50 km², siendo el A°. Piedra del Toro y la Cañada del Cisne sus principales tributarios (37,3 y 28,9 % del área de la cuenca) (Fig. 1). La subcuenca Este que incluye el bañado denominado “El Estero” abarca el 24,8% del área de la cuenca, mientras la subcuenca Sur involucra únicamente al 9% (Fig. 1).

Desde el año 1971 el sistema es utilizado por la OSE como fuente de agua para potabilización, suministrando al sector turístico más importante del Departamento. En esa fecha se construyó un dique sobre el A° Tropa Vieja para ampliar la capacidad de almacenamiento de agua. En abril de 2008 se servían con agua del Cisne 22.800 conexiones (dato OSE), fecha en la que se amplió la capacidad de producción. Durante toda la historia del funcionamiento de la planta potabilizadora, los barros producidos en el tratamiento han sido vertidos nuevamente a la Laguna.

La cuenca soporta además actividades de forestación, ganadería, tambos, producción vitivinícola, horticultura y uso residencial, entre otros (Fig. 2). Algunos de estas actividades involucran el uso extensivo de agroquímicos (como herbicidas, insecticidas, funguicidas, etc.), aún en la zona más próxima a la laguna, estableciendo un riesgo ambiental y sanitario no despreciable.

Están previstas fuertes inversiones del ramo inmobiliario para la zona Este de la Cuenca (250 hectáreas), las que involucran la construcción de un campo de golf. Los predios correspondientes al mayor tambo de la cuenca (200 hectáreas; Fig. 2), presentan suelos con erosión severa

(Carta de Suelos del Uruguay). Los mismos habrían sido vendidos a capitales extranjeros, los que los destinarían a uso agrícola (probablemente soja).

El mantenimiento de la calidad de agua de la Laguna del Cisne debe ser entendido como un objetivo central en la gestión ambiental del Departamento, ya que en la actualidad no existen fuentes alternativas para el suministro de agua potable en la zona más densamente poblada de la Costa de Oro. Las alternativas futuras involucran la construcción de 70 km de cañerías desde la red de Laguna del Sauce (Maldonado) u obras de embalsamiento de arroyos costeros. Además de las inversiones millonarias por parte del Estado que involucrarían estas obras, las mismas provocarían fuertes impactos en los sistemas suministradores, por aumento significativo del nivel de extracción (sauce) o fragmentación y modificación del régimen hídrico (arroyo costero).

A fines de la década de 1980, principios de los 90, el sistema se encontraba colonizado por plantas acuáticas emergentes y flotantes libres (83% del área; Sommaruga et al. 1993; Fig. 3). Entre las últimas, el repollito de agua, *Pistia stratiotes* resultaba ampliamente mayoritaria (Crosa et al. 1990, Sommaruga et al. 1993, Mazzeo et al. 1995; Fig. 3). Desde hace al menos 7 años la laguna presenta un espejo de agua sin prácticamente vegetación flotante (Kruk et al. 2006) y la vegetación emergente se encuentra fundamentalmente restringida a la zona oeste (Fig. 3).

La casi desaparición de la comunidad vegetal habría sido consecuencia de la recuperación del nivel de agua derivada de la reparación del dique, realizada a comienzos de los años 90. Este aumento permanente del nivel habría provocado el ahogamiento de la vegetación emergente litoral, además de un incremento significativo de la superficie del espejo de agua sobre la que el viento interactúa (*fetch*), lo que resulta una condición crítica para la vegetación flotante. De acuerdo a la opinión de pobladores locales, habrían coadyuvado otros factores, como ser la utilización de herbicidas en cultivos de papa ubicados sobre la costa de la laguna y una extracción masiva de plantas que habría sido realizada por las Fuerzas

Fig. 1

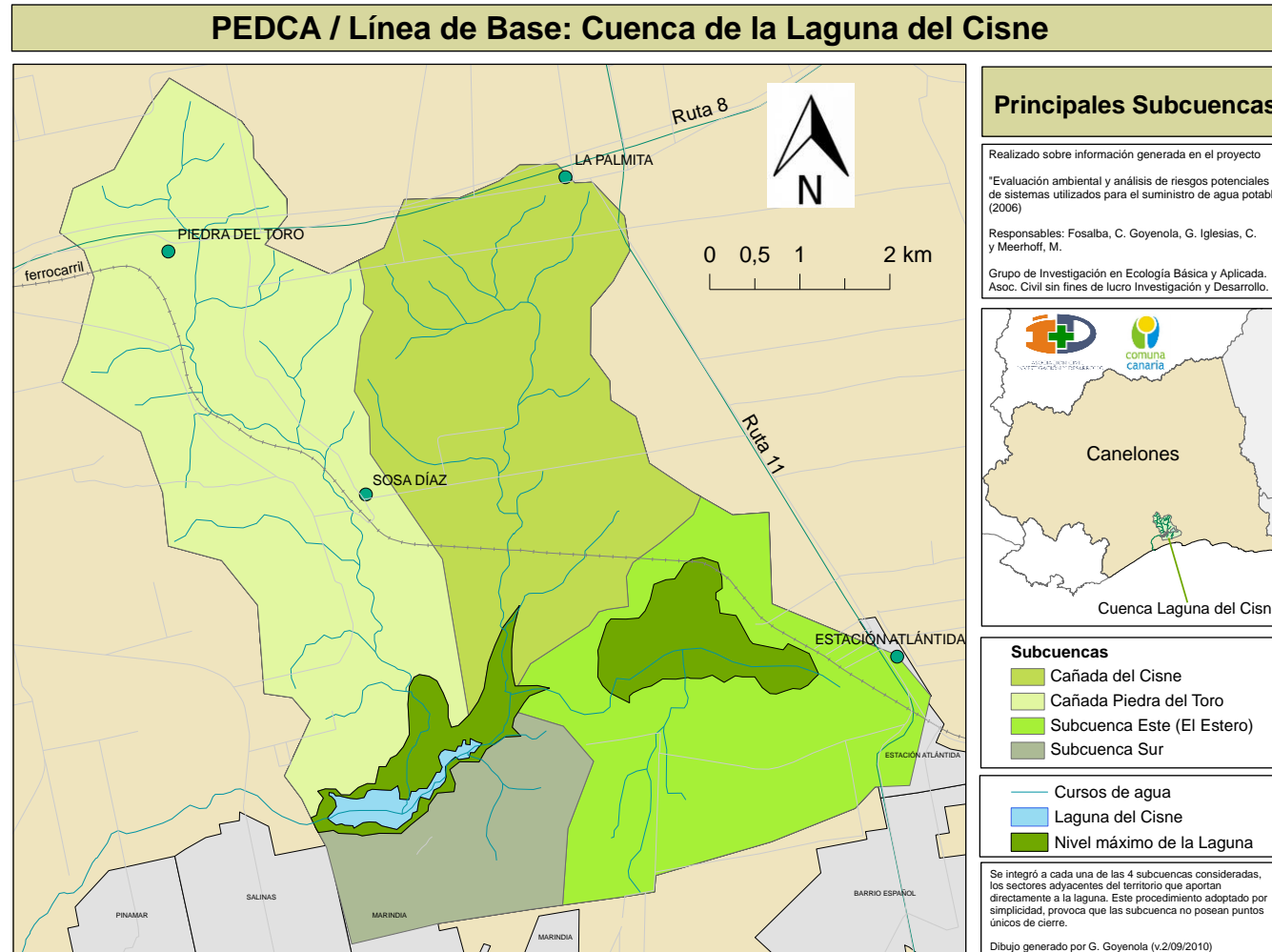


Fig. 2

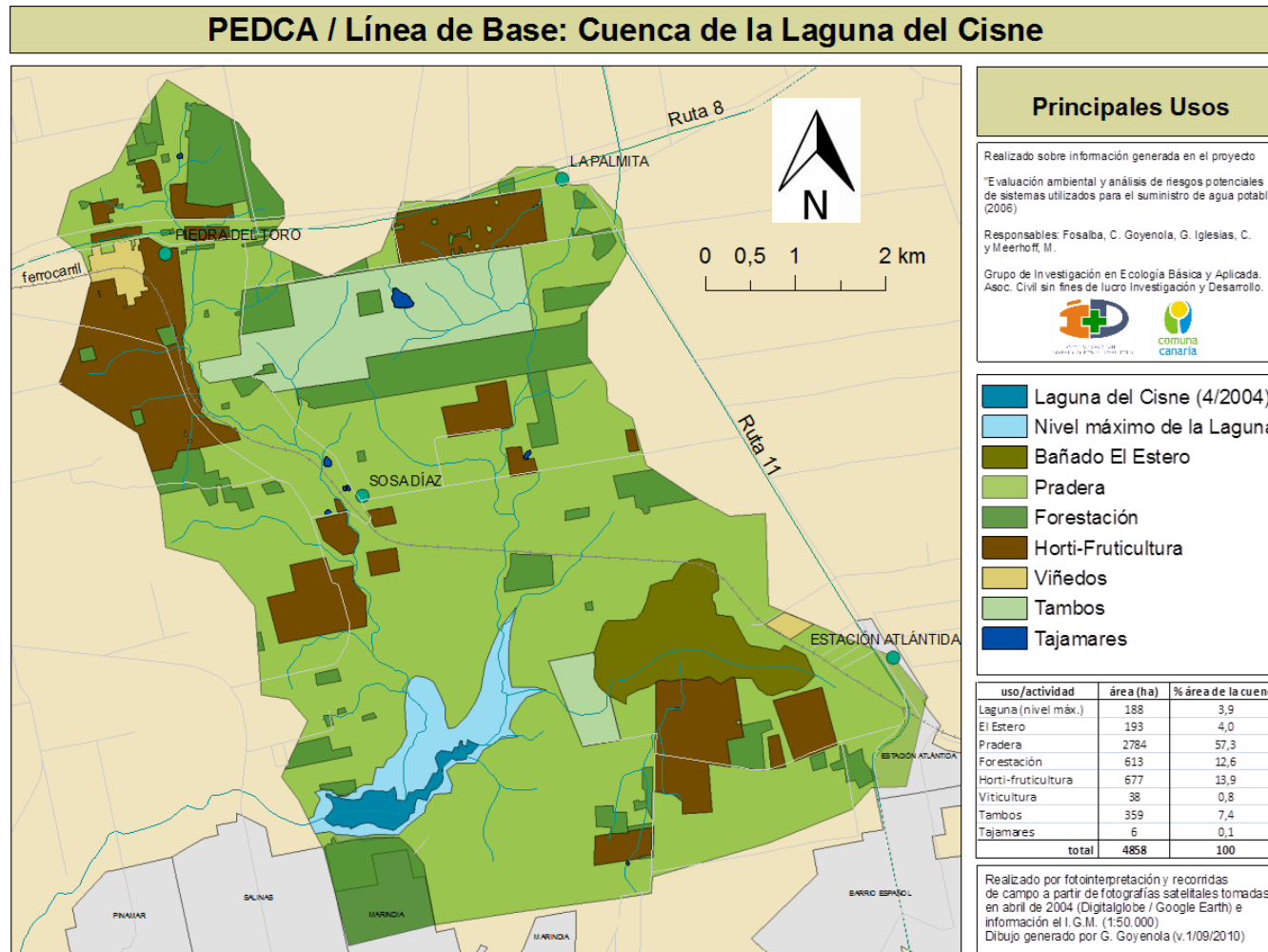




Fig. 3.- Obsérvese el descenso de la cobertura vegetal entre el año 1987 y el 2009.
Izquierda: Fotografía aérea del año 1987 (IGM); **Derecha:** Fotografía satelital 2009 (Google Earth)

Armadas a solicitud de la OSE. Al comenzar el otoño de 2009 se registró una importante superficie en el sector Este del sistema colonizado por plantas flotantes enraizadas (*Ludwigia peploides*) (muestreo línea de base, PEDCA).

En función de la muy escasa profundidad de extensos sectores del sistema, las variaciones de nivel asociadas a períodos de bajas precipitaciones, a la intensa extracción estival para potabilización y a las roturas y reparaciones del dique, modifican fuertemente el área del espejo de agua. En períodos de lluvias abundantes, el área total inundable ha alcanzado prácticamente 190 hectáreas (ej. setiembre 2006), sin embargo en primavera de 2005 el espejo de agua alcanzaba algo más de 100 y en abril de 2004 cubría solamente unas 40 hectáreas (análisis

línea de base, PEDCA). Estudios previos establecen estimaciones diversas. Crosa et al. (1990) estimaron un área de espejo de agua de 28 hectáreas y un área total del embalse de 48,5 hectáreas, mientras Kruk et al. (2006) calcularon una superficie de 157 hectáreas para el espejo con 49,6 hectáreas de humedal asociado. Durante la sequía de 2008-2009 el área del espejo de agua se redujo de forma extrema (Fig. 4), pero no ha podido ser calculada por no disponerse de fotografías aéreas o satelitales de esa fecha. En estas condiciones el sistema no fue capaz de mantener el abastecimiento de agua potable, por lo que la OSE debió establecer restricciones de uso y subvencionar el suministro realizando una conexión temporal desde el subsistema de Aguas Corrientes.

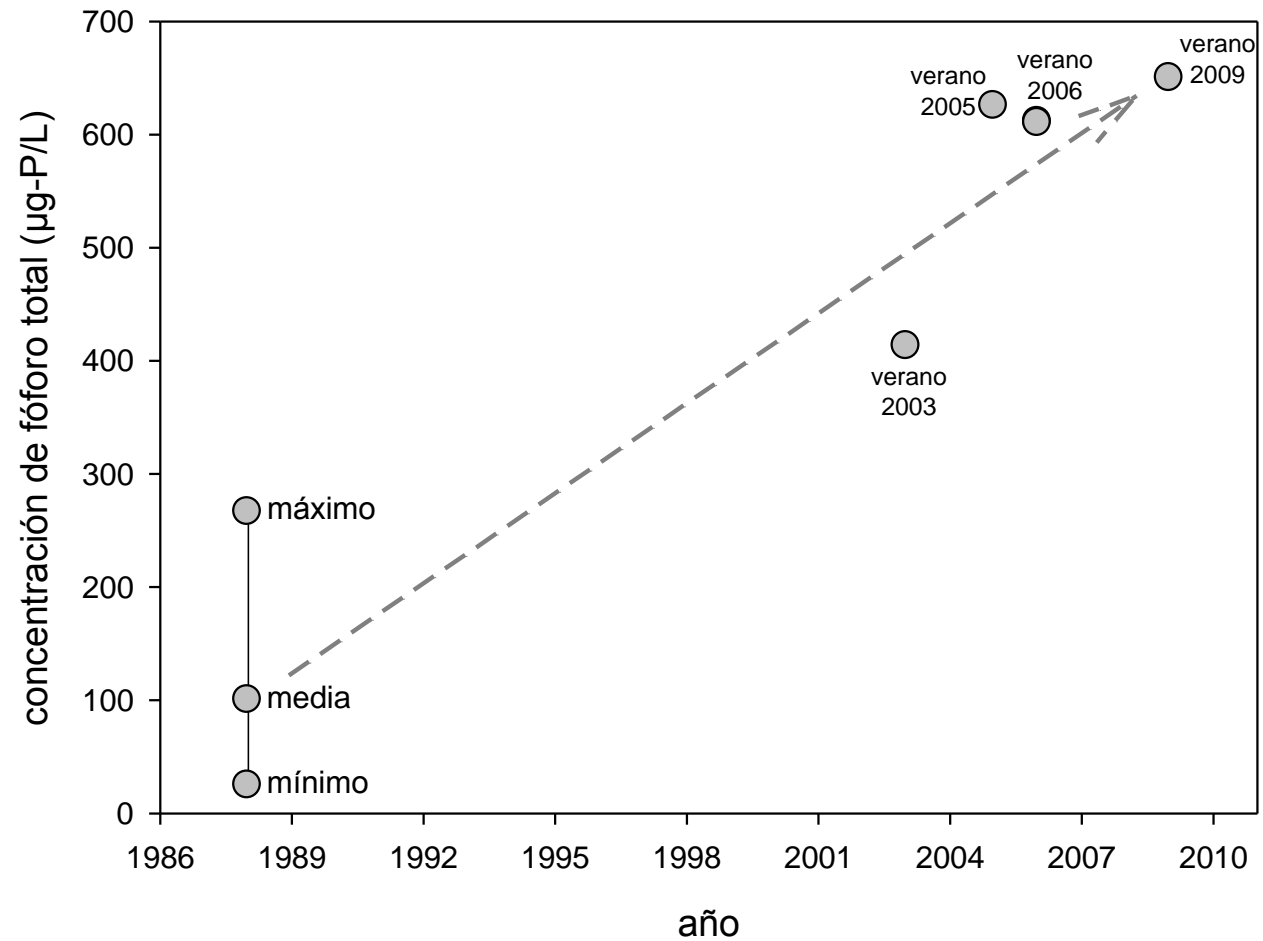
La baja profundidad establece también una fuerte interacción entre la columna de agua y el sedimento, generando resuspensión eólica de los sedimentos, aumentando la turbidez del agua. La concentración de sólidos en suspensión era ya elevada cuando el sistema presentaba extensa cobertura de plantas acuáticas (Crosa et al. 1990).

Entre los años 1987 y 1989, las concentraciones de fósforo total en agua registradas para la Laguna, se encontraron en un rango de entre 24,5 y 266,3 $\mu\text{g-P/L}$ (Mazzeo et al. 1995). A partir de ese momento, se ha producido un muy importante incremento de la concentración de fósforo en el sistema (Fig. 5), lo que habría derivado de la liberación de nutrientes retenidos en la vegetación. Ya en verano de 2003 la Laguna del Cisne presentaba la mayor concentración de fósforo total (en promedio 413 $\mu\text{g-P/L}$) entre las 18 lagunas estudiadas en toda la costa Este del País (Canelones, Maldonado y Rocha) (Kruk et al. 2006). En los muestreos realizados en el verano de 2005 (Meerhoff 2006) y en verano de 2006 (Gelós et al. 2010, Pacheco et al. 2010), las concentraciones de PT registradas ya excedían los 600 $\mu\text{g-P/L}$. Si bien en los muestreos realizados por la IMC se encontró una fuerte variación de los niveles de nutrientes entre muestreos (invierno: 71,9 $\mu\text{g-P/L}$; 160 $\mu\text{g-N/L}$; verano: 650 $\mu\text{g-P/L}$; 294 $\mu\text{g-N/L}$), la concentración de fósforo total registrada durante el verano, resultó la más elevada de la serie histórica. Comparativamente ese valor resultó más elevado aún que para los lagos artificiales de Ciudad de la Costa.

Fig. 4.- Retroceso del espejo de agua durante la sequía (enero de 2009)



Fig. 5.- Incremento de la concentración de fósforo total en agua en la Laguna del Cisne para el período 1987-2009. Para los muestreos 2003-2009, se tomaron únicamente los datos de verano. (fuentes: Mazzeo et al. 1995, Kruk et al. 2006, Meerhoff 2006, Gelós et al. 2010, Pacheco et al. 2010 y datos del PEDCA).



En general se entiende que los ecosistemas sufren cambios graduales frente a condiciones externas cambiantes. Así sería esperable que el aporte gradual de nutrientes desde la cuenca, incremente proporcionalmente los riesgos asociados. Sin embargo es frecuente que las respuestas aparezcan abruptamente al acercarse a ciertos niveles críticos. Estas transiciones críticas denominadas en el campo de las matemáticas como cambios catastróficos (Scheffer et al. 2001) ocurren sin anuncios previos o señales tempranas, por lo que su previsión no resulta sencilla. Otra característica relevante es que recuperar el nivel al que ocurrió el cambio catastrófico (ej. concentración de fósforo total), no resulta suficiente para revertir a las condiciones ambientales previas al colapso. Resulta necesario invertir esfuerzos muy grandes para recuperar el estado ambiental de los sistemas. Este hecho determina fuertes condicionantes a los programas de restauración ambiental de lagos, haciéndolos frecuentemente económicamente inaccesibles en países subdesarrollados.



**CUADRO 1.-
Algunos ejemplos de Sistemas
eutróficos-hipereutróficos Uruguayos:**

Primer fila: lagos de Ciudad de la Costa (Canelones)

Segunda fila: izq.: Acercamiento de acúmulos cianobacterias de un lago de ciudad de la Costa (Canelones);

centro: floración cianobacteriana potencialmente tóxica ocurrida en un tajamar de la zona de Tala (Canelones). la coloración azul está dada por pigmentos fotosintéticos exclusivos de la cianobacterias, liberados tras la rotura celular; **der.:** floración dominada por cianobacterias potencialmente tóxicas en el Lago Rivera (Montevideo);

Tercera Fila: izq. y centro: lagos de Ciudad de la Costa dominados por plantas acuáticas; **der.:** Dominio de plantas sumergidas y flotantes, además de algas filamentosas en la Laguna del Diario (Maldonado).

Evaluación del estado ambiental: factores determinantes de la calidad de agua

En sistemas lénticos con concentraciones de nutrientes tan elevadas y sin plantas o macroalgas presentes, es esperable el desarrollo explosivo (floración o bloom) de microformas fotosintéticas (fitoplancton)¹, frecuentemente con dominio de cianobacterias potencialmente tóxicas (CUADRO 1). Uno de los inconvenientes más serios asociados a la eutrofización es la toxicidad de ciertos metabolitos secundarios de las cianobacterias (cianotoxinas), que representan un creciente peligro tanto para la salud humana como la ambiental (Chorus & Bartram 1999, Tarczynska et al. 2001). Entre estas se conocen toxinas con efecto hepatotóxico, neurotóxico, irritante dérmico y cancerígeno (Chorus & Bartram 1999). En Uruguay son frecuentes especies que ya han causado decenas de muertes en países limítrofes (Jochimsen et al. 1998, Azevedo et al. 2002). Esta condición no resulta deseable para la conservación de la calidad de agua en sistemas utilizados para suministro de agua potable, donde incrementan significativamente los costos de tratamiento (Goyenola 2008). Adicionalmente el pasaje al dominio fitoplanctónico (aguas turbias-verdes; Scheffer & Jeppesen 1998), involucra un incremento superlativo de la variabilidad ambiental (ej. pH día > 9, pH noche < 7; saturación oxígeno disuelto día >> 100 %, saturación oxígeno disuelto día ≈ 0%), lo que provoca la extinción local de especies susceptibles y el desarrollo explosivo de pocas especies tolerantes. Este tipo de fenómenos involucran entonces un fuerte impacto en la biodiversidad.

¹ Un lago eutrófico debe ser entendido como un campo regado y fertilizado, donde sin duda germinarán las semillas presentes.

Kruk et al (2006), utilizaron un modelo para evaluar el riesgo de que el sistema sufra un cambio brusco hacia un estado dominado por fitoplancton². Entre los 8 criterios considerados, la carga de nutrientes, la ausencia de plantas o macroalgas sumergidas y la pequeña superficie relativa de humedal costero asociado, serían los factores de mayor peso, estableciendo un riesgo potencial de 0,7/1. Sin embargo, a pesar de este elevado riesgo de ocurrencia de floraciones fitoplanctónicas, la Laguna del Cisne se ha caracterizado en todas las ocasiones por una muy baja biomasa fitoplanctónica (máximo registro publicado 5 µg/L; Gelós et al. 2010; Tabla 1 y Fig. 6).

Tabla 1.- Según la propuesta de Carlson (1977) los lagos pueden clasificarse según la concentración de fósforo total o Clorofila a en agua. El índice de estado trófico (TSI por sus siglas en inglés) se calcula como $TSI = 14,42 \cdot \ln[\text{fósforo total}] + 4,15$ ó $TSI = 9,81 \cdot \ln[\text{Clorofila a}] + 30,6$. Los resultados para la Laguna del Cisne se resumen gráficamente en la Fig. 6.

TSI	Fósforo total (µg/L)	Clorofila a (µg/L)	Atributos	Calidad de agua/interferencias con usos
<30-40	6-12	<2,6	Oligotrofia: aguas claras y bien oxigenadas	El agua puede ser utilizada para suministro de agua sin filtración.
40-50	12-24	2,6-7,3	Mesotrofia: agua moderadamente clara. Aumenta la probabilidad de que la zona profunda de los lagos se encuentre desoxigenado durante el verano	Los problemas de gusto y olor derivados de hierro y manganeso empeoran. El agua debe ser sometida a filtración.
50-70	24-96	7,3-56	Eutrofia: zona profunda de los lagos desoxigenada; dominio de cianobacterias, espumas verdes (verdín) y problemas por sobre desarrollo de plantas y algas.	Impedimentos para uso por recreación y navegación. Ocurrencia de floraciones tóxicas. Mortandades masivas de peces.
70-100	>96	>56	Hypereutrofia: densa cobertura de algas y macrófitas, intensas floraciones fitoplanctónicas	

² Análisis multicriterio de la "aptitud" de cada laguna de desarrollar y mantener un estado de agua turbia dominado por fitoplancton.

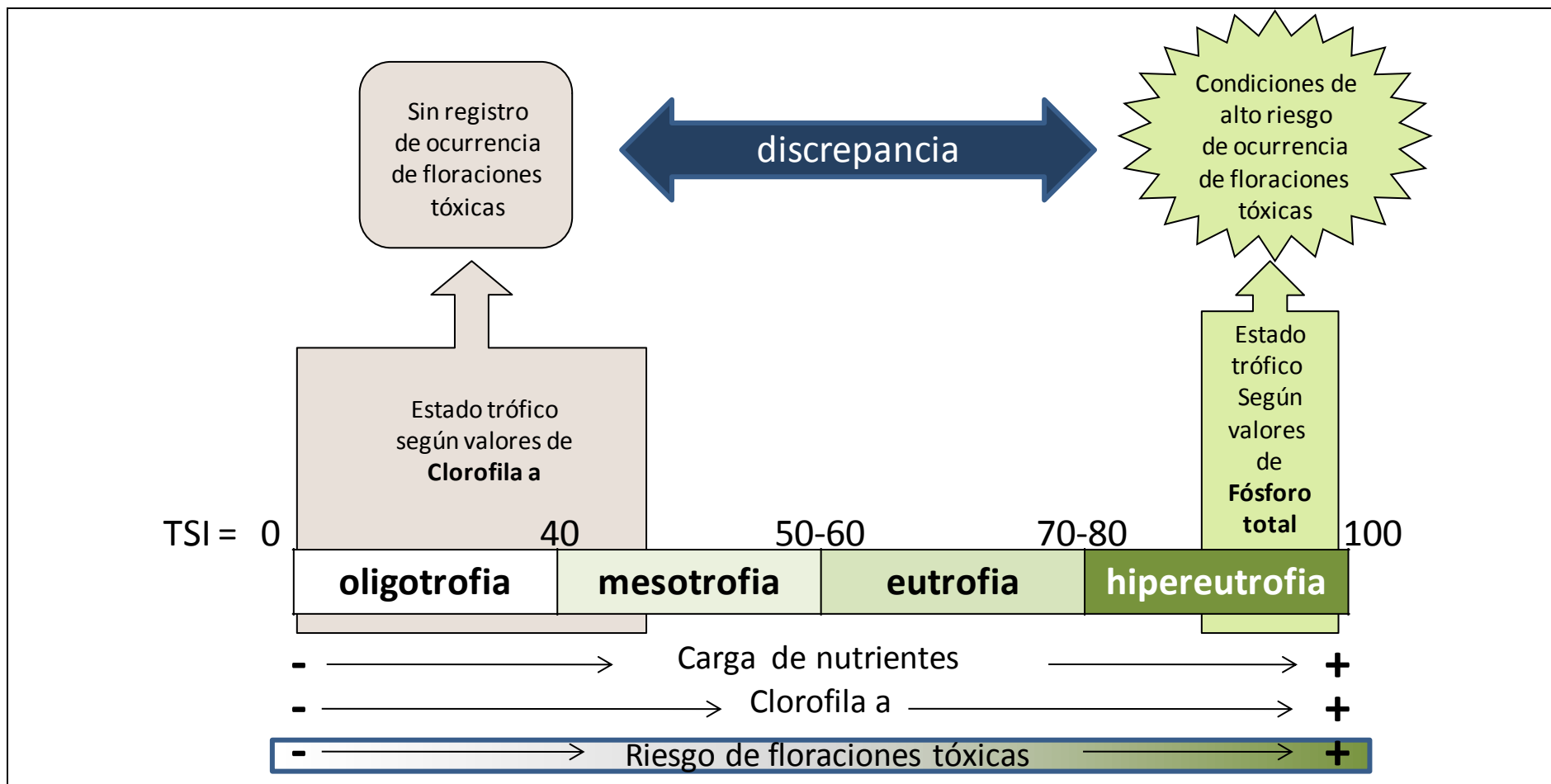


Fig. 6- Discrepancia entre el estado trófico de la Laguna del Cisne asignado en función de la variable “concentración de fósforo total en agua” y “concentración de Clorofila a en suspensión” (TSI: trophic state index o índice de estado trófico, Carlson 1977; ver Tabla 1).

La pregunta a responder es: ¿Porqué con el elevado riesgo de ocurrencia de floraciones potencialmente tóxicas, éstas no ocurren?.

Se consideraron únicamente las muestras de verano 2003 (Kruk et al. 2006), 2005 (Meerhoff 2006), 2006 (Gelós et al. 2010) y 2009 (PEDCA, línea de base).

Basados en el estudio de las características de la Laguna, Kruk et al (2006) llegaron a la conclusión que el desarrollo del fitoplancton se encontraba limitado por la disminución en la penetración de la luz causada por los sedimentos en suspensión (turbidez)³. Sin embargo, en períodos de vientos calmos con bajos niveles de sólidos en suspensión (como en uno de los muestreos realizados en el marco del PEDCA), los valores de clorofila a continuaron siendo sumamente bajos, por lo que es probable que exista algún factor adicional que actúe permanentemente inhibiendo el desarrollo del fitoplancton.

El agua de la laguna en períodos de baja turbidez, presentó coloración rojiza (Fig. 7). Resultado similar se obtuvo al retener por filtración los sedimentos en suspensión. Esto resulta consecuencia del aporte de materia orgánica disuelta coloreada (sigla en inglés CDOM⁴) por parte de un extenso humedal denominado El Estero, ubicado al este de la laguna (193 hectáreas; Fig. 2). Este se conecta a la laguna a través de un canal, cuya agua presenta una muy intensa coloración rojiza derivada de los ácidos orgánicos liberados naturalmente por las plantas acuáticas. Estas sustancias son responsables de la disminución estival del pH hasta 6,24 (valor extremo de todos los monitoreos realizados en Canelones). La descomposición de la vegetación existente hasta los años 90 en la Laguna, también habría contribuido al incremento de la CDOM.

El conjunto de sustancias descritas en conjunto como CDOM genera la inhibición fitoplanctónica por varios mecanismos suplementarios, como ser: disminución de la transparencia, efectos alelopáticos (productos metabólicos de plantas, algas o cianobacterias que inhiben el crecimiento y desarrollo de otras especies) y captura de nutrientes (los que no quedan disponibles para su utilización por los productores primarios). Los

³ Debe tenerse en cuenta que la limitación del desarrollo fitoplanctónico por baja transparencia, favorece a las especies capaces de regular su flotación. Este grupo está compuesto por generalmente por cianobacterianas potencialmente tóxicas (ej. *Microcystis sp*) que pueden mantenerse más tiempo en el sector iluminado de la columna de agua (zona eufótica).

⁴ CDOM: “*chromophoric dissolved organic matter*”; también ha sido denominada como “*refractory dissolved organic carbón*” (RDOC).

lagos con elevados niveles de CDOM se clasifican como distróficos, ya que tienen limitada su productividad primaria, más allá de su carga de nutrientes. La aditividad de los efectos de la turbidez por resuspensión de sedimentos y los elevados contenidos de CDOM, disminuyen el riesgo de ocurrencia de floraciones cianobacterianas potencialmente tóxicas.

La desinfección con cloro como técnica estándar de tratamiento de agua, es considerado uno de los mayores avances en salud pública del siglo XX (Mughal 1992). Sin embargo, además de producir una acción desinfectante residual, el cloro genera sub-productos al entrar en reacción con la materia orgánica natural presente en el agua (ej. CDOM). Entre estos subproductos, se han identificado sustancias cancerígenas, mutagénicas, teratogénicas y tóxicas (WHO 2005). Los subproductos de desinfección más comúnmente formados son los Trihalometanos (THMs), compuestos de un solo átomo de carbono de fórmula CHX_3 , donde X representa el halógeno (fluor, cloro, bromo o yodo o combinaciones de estos). Entre estos, los más comunes en el agua potable son el cloforormo ($CHCl_3$), bromodiclorometano ($CHBrCl_2$), dibromoclorometano ($CHBr_2Cl$) y bromoformo ($CHBr_3$). En función del elevado contenido de CDOM, debe considerarse a Laguna del Cisne como una fuente con elevado riesgo potencial de formación de trihalometanos, por lo que sus consecuencias para la salud humana y el ambiente no pueden ser despreciadas. Particularmente considerando que la planta de tratamiento que no incluye filtros de carbono activado.

En conclusión, durante la década del 80 y 90 las floraciones fitoplanctónicas habrían estado limitadas por el extenso desarrollo de la comunidad vegetal, quien competía por luz y nutrientes (Fig. 8). Adicionalmente actuaría el efecto sombra provocado por la resuspensión eólica de sedimentos. A posteriori de la disminución de la cobertura de plantas, la turbidez fue entendida como el factor limitante remanente (Fig. 8). Este modelo conceptual sobre el funcionamiento de la Laguna del Cisne se restringe a los límites de la propia laguna. Sin embargo si se considera rol que cumple el aporte de CDOM del muy extenso humedal asociado, puede comprenderse que los mecanismos que mantienen la

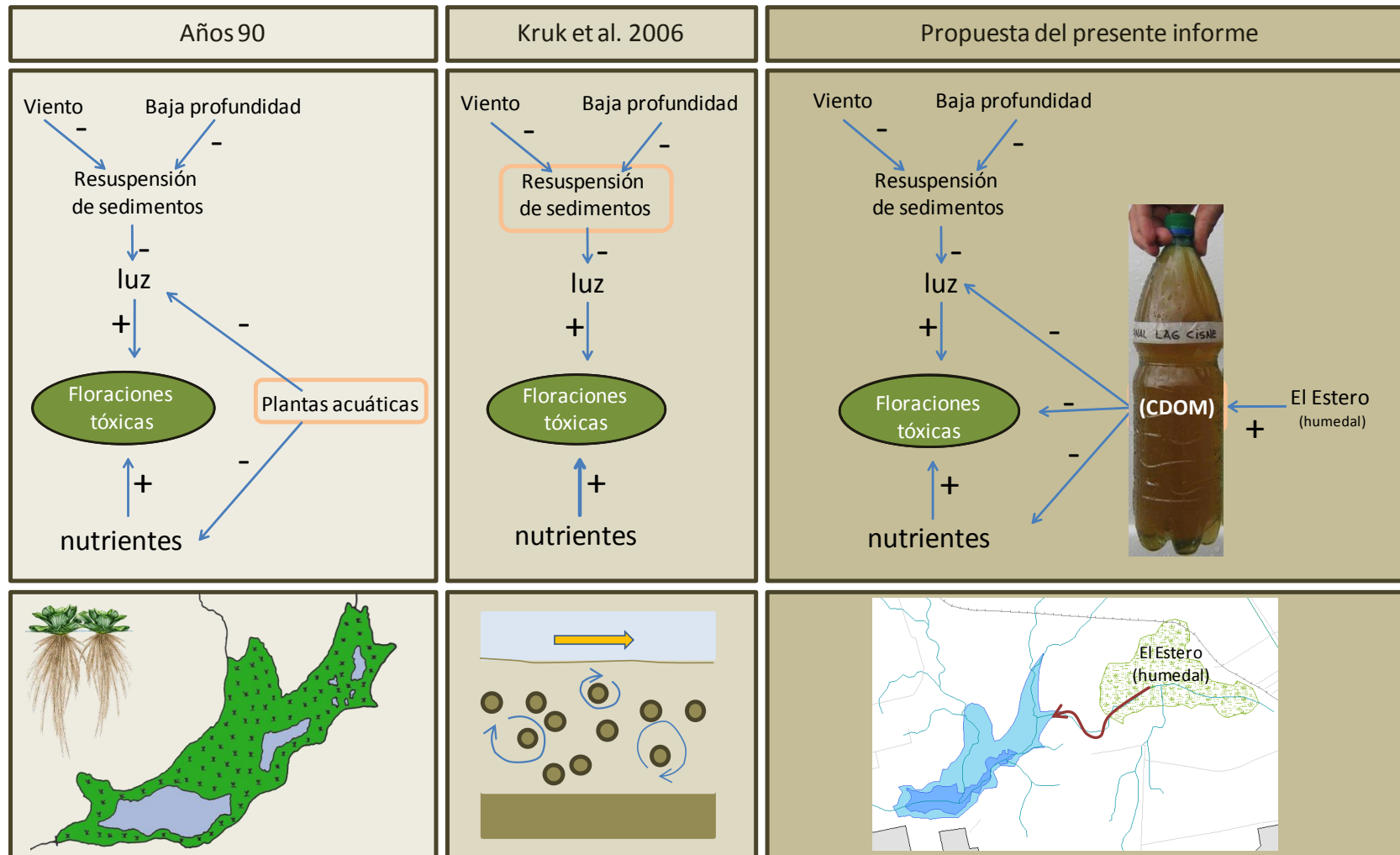
calidad de agua del sistema a pesar de los muy elevados niveles de nutrientes, son dependientes también de la existencia de otros ecosistemas distantes dentro de la cuenca (Fig. 8).



Fig. 7- El factor CDOM (materia orgánica disuelta coloreada): Izquierda: disco de Secchi en Lago del Parque Roosevelt. Centro: Disco de Secchi en el canal que comunica El Estero con la Laguna del Cisne. Derecha: muestras de agua de afluentes de la Laguna del Cisne (canal del Estero y Piedra Alta).

Los servicios ecosistémicos comprenden los beneficios que las sociedades obtienen de los ecosistemas (WRI 2003). Estos incluyen los servicios de suministro (ej. de agua potable) y de regulación (ej. de la calidad de agua), sustentados por los servicios denominados de base o soporte de la vida (ej. reciclado de nutrientes), sin los cuales los anteriormente nombrados serían imposibles (Carpenter & Folke 2006). Los servicios de suministro abarcan productos o materias primas que se obtienen de la naturaleza y que pueden ser incorporados a una cadena productiva, o comercializados directamente en el mercado. El régimen de propiedad de los productos de estos servicios es fácilmente determinable y regulable, por lo tanto su intercambio en el mercado también lo es. Por el contrario, los servicios de base, así como los de regulación y los culturales, no son identificables en forma inmediata. La disponibilidad de estos servicios ecosistémicos es generalmente considerada como garantizada, y recién cuando dichos servicios son afectados o desaparecen como consecuencia de actividades antrópicas, la sociedad toma conciencia de su importancia y comienza la discusión sobre su valor. Generalmente se los considera de libre acceso lo que facilita su apropiación y la consiguiente privatización de sus beneficios por parte de algunos actores económicos. Esto dificulta la sujeción de su uso a alguna regulación jurídica o incluso técnica. La identificación y cuantificación de los servicios ecosistémicos es importante porque muchos de estos no son visibles para el ciudadano o incluso por los tomadores de decisión. En particular los servicios de regulación son ignorados frecuentemente aunque sean cruciales para los otros servicios ecosistémicos. Resulta indispensable comprender el rol regulador que cumple el Humedal del Estero sobre la calidad de Agua de la Laguna del Cisne. La comprensión de este aspecto establece nuevos desafíos desde la gestión ambiental y el ordenamiento territorial.

Fig. 8- Análisis de interacciones ecológicas determinantes de la producción primaria (específicamente floraciones tóxicas). Las flechas representan relaciones. Los signos "+" y "-" establecen el tipo (ej. la luz favorece [+] el desarrollo de floraciones)



Posibles efectos del cambio climático en funcionamiento de la Laguna del Cisne

Los modelos climáticos predicen que la temperatura global superficial media se incrementará entre 0,6 y 4 °C para el año 2100 (IPCC 2007). Los modelos de circulación general (“GCMs”, por su nombre en inglés) predicen que el calentamiento no es, ni será, uniforme geográficamente (IPCC 2007). Particularmente para la Cuenca del Plata se han detectado tendencias al aumento en la ocurrencia de noches cálidas y precipitaciones abundantes (Marengo et al. 2010).

El aumento de la temperatura puede afectar los ecosistemas y las comunidades a diferentes niveles, desde el fisiológico o fenológico, a la distribución geográfica de las especies y la estructura comunitaria (Hughes 2000, Walther et al. 2002). Los procesos biológicos de la mayoría de los organismos acuáticos son dependientes de la temperatura. Un aumento de la temperatura puede incrementar las tasas de crecimiento y estimular la producción (Poff et al. 2002). Asimismo, mayores temperaturas incrementan las tasas de actividad microbiana y, por lo tanto, la tasa de descomposición del material orgánico (Poff et al. 2002).

La Laguna del Cisne es un sistema somero, turbulento y bien mezclado, por lo que es esperable que el aumento de la temperatura atmosférica superficial genere impactos tempranos, tanto en el metabolismo ecosistémico como en la dinámica de nutrientes. Aún si el aporte de nutrientes desde la cuenca se mantuviera constante, el calentamiento del agua puede potenciar los efectos provocados por la eutrofización (Poff et al. 2002). La mayor ocurrencia de precipitaciones intensas implicaría pulsos de nutrientes de mayor magnitud, mientras que la mayor frecuencia o duración de períodos secos generaría mayores tiempos de residencia y concentración de los nutrientes en cada sistema, aumentando su disponibilidad para los organismos (Poff et al. 2002). Estos fenómenos, actuando independiente o interactivamente, contribuyen al aumento de la productividad ecosistémica, lo que provoca el detrimento de la calidad de agua (Poff et al. 2002).

Estrategias para la conservación de la calidad ambiental de la Laguna del Cisne:

Se considera que en la actualidad los principales riesgos a los que se ve sometido el sistema son:

- Vulnerabilidad frente a intervenciones que generen disminuciones en la turbidez/aumento de la transparencia del agua.
- Intensificación y cambios en el régimen de uso del suelo en la cuenca.
- Disminución de la cobertura de los humedales asociados
- Aumento de la carga de nutrientes.
- Utilización de agrotóxicos.
- Variabilidad y cambio climático
- Inexistencia de un Comisión de Cuenca

Por lo antedicho, resulta necesario implementar las siguientes líneas de acción:

- Debe asegurarse la conservación de la Laguna del Cisne y el humedal del Estero, ya que los mismos brindan servicios ecosistémicos de suministro y regulación de agua de capital interés social y elevadísimo costo de reposición. En particular se sugiere clasificar el área como Suelo Rural Natural (Competencia Departamental según Ley de Ordenamiento Territorial, N° 18.308). Se sugiere aplicarle la misma clasificación a todos los predios fiscales de la cuenca. Podrán llegar a admitirse actividades productivas de bajo impacto en el territorio privado así clasificado, las que deberán ser oportunamente evaluadas y aprobadas.
- En consonancia, aplicar la categoría de Áreas Departamentales Protegidas a la laguna del Cisne y al Humedal del Estero.
- Se recomienda la aplicación de medidas cautelares que establezcan mecanismos de evaluación y aprobación previa sobre toda actividad que pueda afectar potencialmente la calidad de agua o el régimen hídrico. Medidas similares han sido establecidas para los Humedales de Santa Lucía. Si bien esto deberá ser reglamentado en detalle, deberían incluirse actividades de riego, impermeabilización de grandes superficies, aumento de la escorrentía y erosión, construcción de tajamares, uso de fertilizantes y herbicidas, forestación, desarrollo de feedlots, tambos, cultivo de soja, urbanización, y otros proyecto en general. En este marco debe desarrollarse normativa que establezcan la obligatoriedad de realizar declaraciones juradas del uso de fertilizantes y agrotóxicos, con una anterioridad de al menos 30 días a su aplicación. Esto permitiría establecer los recaudos necesarios (ej. monitoreo de calidad, modificaciones en las pautas de tratamiento del agua) que aseguren la conservación ecosistémica, así como la calidad de agua potable enviada a la red de distribución.

- Deben cuantificarse los riesgos sobre la calidad de agua asociados a las diferentes actividades actuales y potenciales en la cuenca. Estas evaluaciones deberían realizarse mediante modelación al menos para el aporte de nutrientes (fósforo y nitrógeno), así como para agrotóxicos. La generación de esta información debe ser base para el ordenamiento de las actividades productivas a nivel cuenca, de forma de asegurar la seguridad del suministro de agua para la mayor parte de la Costa de Oro. No debe perderse de vista que “el abastecimiento de agua potable a la población es la principal prioridad de uso de los recursos hídricos” (Política Nacional de Agua, Art. 8, Ley N° 18.610).
- Debe mantenerse y profundizarse en el tiempo un plan de Monitoreo de la Calidad de Agua a nivel de cuenca de forma de poder evaluar a tiempo real los cambios ambientales que se produzcan.
- El nivel de la laguna ha resultado sumamente variable con el tiempo. La Laguna responde rápida y drásticamente a las precipitaciones y los eventos de sequía y es profundamente afectada por las modificaciones realizadas sobre la obra de descarga (dique). En función de esta característica, debería implementarse un registro periódico de nivel (limnómetro), asociado a las evaluaciones de capacidad de almacenaje de la Laguna, así como la modelación hidrológica para la cuenca. Este conocimiento permitirá conocer las respuestas del sistema frente a la variabilidad climática y la presión de extracción, así como detectar tempranamente modificaciones no deseadas sobre la obra de drenaje, lo que resulta indispensable para el manejo hídrico del sistema y el mantenimiento del servicio ecosistémico de suministro de agua para potabilización. Debería establecerse un nivel mínimo de la laguna, por debajo del que no deba realizarse extracción de agua (caudal ecológico).

- No se recomienda elevar el nivel del agua aumentando la altura de la represa, con el fin de almacenar un mayor volumen de agua. Este tipo de obras, aumentaría el tiempo de residencia del agua y nutrientes, elevando su concentración y magnificando las problemáticas derivadas de la eutrofización.
- Adicionalmente debe encontrarse de manera urgente una solución definitiva a la disposición final de los barros de la planta de tratamiento, en un punto no perteneciente a la cuenca.
- Generar herramientas de Ordenamiento territorial que limiten la expansión urbanizadora en la cuenca, así como prohíban el establecimiento de industrias capaces de generar efluentes con elevada carga orgánica y de nutrientes (ej. industria cárnica).
- Es aconsejable mantener las restricciones al acceso de público a la Laguna, por lo que se desaconseja fuertemente la realización de caminería hacia la Laguna.
- Debería limitarse el desarrollo forestal en la zona sur y sureste de la laguna, ya que la generación de cortinas de viento contribuyen a la disminución de la turbidez del agua, incrementando el riesgo de floraciones cianobacterianas potencialmente tóxicas.
- Todas las pautas de gestión propuestas, deben acompañarse de un programa de educación ambiental con fuerte involucramiento de la población local.

- Fomentar el desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales basado en humedales artificiales para las viviendas de la cuenca.
- Generar planes de conservación del suelo, humedales y zonas riparias (montes asociados a cursos de agua) para toda la cuenca. Esta medida resulta fundamental ya que amplifica la capacidad de amortiguación del sistema frente a los aportes externos de nutrientes, agrotóxicos y otros contaminantes.
- Desarrollar y aprobar normativa que prohíba la utilización de embarcaciones a motor con fines recreativos en la Laguna.
- Desarrollar y aprobar normativa que prohíba la pesca artesanal o industrial en la Laguna, así como la utilización de redes de enmalle, trasmallos, espineles, entre otras. La caza ya está prohibida por ley para todo el Departamento.
- Debe establecerse una Comisión de Cuenca con representación amplia de los actores locales con presencia activa en el territorio, bajo el amparo del Art. 29 de la Política Nacional de Agua, Ley N° 18.610. La comuna canaria y la OSE deberían ser actores claves en la conducción del proceso.

Referencias

- Azevedo, S.M.F.O., W.W. Carmichael, E.M. Jochimsen, K.L. Rinehart, S. Lau, G.R. Shaw & G.K. Eaglesham. 2002. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru/Brazil. *Toxicology* 181/182: 441-446.
- Carlson, R.E. 1977. A Trophic State Index for Lakes. *Limnology and Oceanography* 22: 361-369.
- Carpenter, S.R. & C. Folke. 2006. Ecology for transformation. *Trends in Ecology & Evolution* 21: 309-315.
- Crosa, D., J. Gorga, J. Ferrando & N. Mazzeo. 1990. Aspectos morfométricos y físicos del Embalse del Cisne (Canelones-Uruguay). *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral* 21: 81-90.
- Chorus, I. & J. Bartram (ed.). 1999. Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. UNESCO, WHO and UNEP by E&FN Spon, London.
- 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. 2008. Historia de vida, rol trófico y uso del espacio de *Jenynsia multidentata* (Pisces): implicancias sobre la calidad de agua en un sistema léntico somero eutrófico sin peces piscívoros. MSc., UDELAR, Montevideo.
- Gutiérrez Laplace, J.M. 1995. Atlántida. Un sueño que surgió desde las olas. Banda Oriental, Montevideo.
- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already? *Trends in Ecology and Evolution* 15: 56-61.
- IPCC. 2007. Summary for policymakers. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Enhen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor & H.L. Miller (ed.) *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, Cambridge University Press, UK & NY.
- Jochimsen, E.M., W.W. Carmichael, J. An, D.M. Cardo, S.T. Cookson, C.E.M. Holmes, M.B. Antunes, D.A. de Melo Filho, T.M. Lyra, V.S.T. Barreto, S.M.F.O. Azevedo & W.R. Jarvis. 1998. Liver failure and death after exposure to microcystins at hemodialysis center in Brazil. *The New England Journal of Medicine* 338: 873–878.
- Kruk, C., L. Rodríguez-Gallego, F. Quintans, G. Lacerot, F. Scasso, N. Mazzeo, M. Meerhoff & J.C. Paggi. 2006. Biodiversidad y calidad de agua de 18 pequeñas lagunas en la costa sureste de Uruguay. pp. 599-610. In: R. Menafrá, L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino & D. Conde (ed.) *Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya, Vida Silvestre Uruguay*, Montevideo.
- Marengo, J., M. Rusticucci, O. Penalba & M. Renom. 2010. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. *Climatic Change* 98: 509-529.
- Mazzeo, N., J. Gorga, D. Crosa, J. Ferrando & W. Pintos. 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: 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.
- Mughal, F.H. 1992. Chlorination of drinking water and cancer: a review. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology, Oncology* 11: 287-292.
- 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.
- Poff, N.L., M.M. Brinson & J. Day, John W. 2002. Aquatic ecosystems and global climate change: Potential impacts on inland freshwater and coastal wetland ecosystems in the United States. Pew Center on Global Climate Change. 45 pp.
- Scheffer, M., S. Carpenter, J.A. Foley, C. Folke & B. Walker. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413: 591-596.
- Scheffer, M. & E. Jeppesen. 1998. Alternative stable states in shallow lakes. pp. 397-407. *In*: E. Jeppesen, M. Søndergaard, M. Søndergaard & K. Cristoffersen (ed.) *The structuring role of submerged macrophytes in lakes*, Springer Verlag.
- Sommaruga, R., D. Crosa & N. Mazzeo. 1993. Study on the decomposition of *Pistia stratiotes* L. (Araceae) in Cisne Reservoir, Uruguay. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 78: 263-272.
- Tarczynska, M., G. Nalecz-Jawecki, Z. Romanowska-Duda, J. Sawicki, K. Beattie, G. Codd & M. Zalewski. 2001. Tests for the toxicity assessment of cyanobacterial bloom samples. *Environmental Toxicology* 16: 383-390.
- Walther, G.-R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T.J.C. Beebee, J.-M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg & F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.
- WHO. 2005. Trihalomethanes in drinking-water. pp. 59, WHO/SDE/WSH/05.08/64.
- WRI. 2003. Millenium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Wellbeing: A Framework for Assessment. Island Press, Washington.