

## Convenio

# Bases técnicas para el establecimiento de un plan de gestión ambiental de los lagos de la Ciudad de la Costa y zonas aledañas

Informe final  
Setiembre 2014



### Grupo de trabajo/autores del presente informe:

Guillermo Goyenola<sup>①</sup>, Franco Teixeira de Mello<sup>①</sup>, Paula Bianchi<sup>②</sup>, Magdalena Fuentes<sup>②</sup>, Juan Pablo Pacheco<sup>①</sup>, Carla Benítez<sup>③</sup>, Claudia Fosalba<sup>①</sup>, Néstor Mazzeo<sup>①</sup>

### Roles temáticos:

Responsable: Guillermo Goyenola ([goye@fcien.edu.uy](mailto:goye@fcien.edu.uy), [ggoyenola@cure.edu.uy](mailto:ggoyenola@cure.edu.uy))

Limnología-Gestión Ambiental: Guillermo Goyenola, Franco Teixeira de Mello, Néstor Mazzeo

Gestión Ambiental: Lic. Paula Bianchi, Prof. Magdalena Fuentes

Diseño de Paisaje: Carla Benítez

Análisis de Muestras fitoplanctónicas: Juan Pablo Pacheco

Análisis Químicos: Claudia Fosalba

<sup>①</sup> Ecología y Rehabilitación de Sistemas Acuáticos, Departamento de Ecología Teórica y Aplicada, Centro Universitario Regional Este-Facultad de Ciencias, Universidad de la República

<sup>②</sup> Licenciatura en Gestión Ambiental, CURE-UDELAR

<sup>③</sup> Licenciatura en Diseño de Paisaje, CURE-UDELAR

El presente informe es el producto del CONVENIO DE COLABORACIÓN entre la Universidad de la República y la Intendencia Departamental de Canelones con el objetivo de establecer las “Bases técnicas para el establecimiento de un plan de gestión ambiental de los lagos de la Ciudad de la Costa”. 130 pp.

**Cita sugerida:** Goyenola, G., Teixeira de Mello, F., Bianchi, P., Fuentes, M., Pacheco, P., Benítez, C., Fosalba, C., Mazzeo, N. 2014. Bases técnicas para el establecimiento de un plan de gestión ambiental de los lagos de la Ciudad de la Costa. Informe Final. Centro Universitario Regional Este- Facultad de Ciencias-, UDELAR.

**Fe de erratas:** en el presente documento fue corregida la Tabla de datos del Anexo A (pág. 128), ya que por motivos de edición gráfica, parte de sus contenidos no resultaban visibles.

## 1. TABLA DE CONTENIDOS

---

1.	<b>TABLA DE CONTENIDOS</b>	2
2.	<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	3
3.	<b>ANTECEDENTES</b>	5
4.	<b>EL ESPACIO URBANO COMO UN SISTEMA SOCIO-ECOLÓGICO</b>	8
5.	<b>OBJETIVOS</b>	10
6.	<b>ESTRATEGIA DE TRABAJO</b>	10
6.1.	Recopilación y generación de información	12
6.2.	Información recopilada y generada	14
7.	<b>AVANCES EN ORDENAMIENTO TERRITORIAL</b>	17
8.	<b>LAGOS PRE-EXISTENTES</b>	18
8.1.	Caracterización y evaluación ambiental: Marco teórico	19
8.2.	Trabajo de campo	22
8.2.1.	LAGOS con dominio fitoplanctónico	24
8.2.2.	LAGOS con dominio de plantas flotantes libres	44
8.2.3.	Otros lagos	55
9.	<b>OBRAS PREVISTAS: Zona B</b>	57
10.	<b>LAGOS NUEVOS de CIUDAD de la COSTA: ZONA A</b>	63
10.1.	LAGOS del Subsistema Lago Central	65
10.2.	LAGOS del subsistema Secco García	67
11.	<b>ESTABLECIMIENTO DE ESCENARIOS MÁS PROBABLES</b>	73
12.	<b>GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN AMBIENTAL</b>	80
13.	<b>DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN: ASPECTOS CRÍTICOS</b>	83
14.	<b>OPCIONES DE MANEJO Y REHABILITACIÓN</b>	86
14.1.	Control de los aportes externos	86
14.2.	Eliminación o manejo de la carga interna	88
14.3.	Manejo del tiempo de residencia y promoción de pérdida de biomasa por lavado	92
14.4.	Desarrollo de humedales y manejo de la comunidad vegetal	96
14.5.	Gestión de floraciones cianobacterianas	100
14.6.	Manejo del consumo de fitoplancton: biomanipulación	108
14.7.	Gestión de otras problemáticas	111
14.8.	Apuntes sobre diseño paisajístico	112
15.	<b>MONITOREO</b>	113
16.	<b>REFERENCIAS</b>	123

## **2. RESUMEN EJECUTIVO**

---

Los lagos originados por la extracción de arena forman hoy parte del paisaje característico del sector sudoeste del Departamento de Canelones. Estos lagos brindan diversos servicios ecosistémicos (beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas), aunque han reportado síntomas de una acentuada degradación ambiental desde la década del 80.

En los últimos años en el marco del Proyecto de Infraestructura de Saneamiento Drenaje Pluvial y Vialidad de Ciudad de la Costa, se dispuso la preservación y optimización del uso de lagos existentes y la generación de nuevos lagos, para ser utilizados como componentes del diseño de una red de drenaje pluvial. Este hecho constituye un nuevo desafío y una oportunidad para aportar a una gestión ambiental moderna en este sector del territorio. En ese marco es que se estableció un Convenio de Colaboración entre la Universidad de la República y la Intendencia Departamental de Canelones

Los objetivos del mencionado convenio fueron 1) evaluar el estado ambiental de los lagos y analizar los escenarios futuros más probables, 2) generar pautas para la rehabilitación de forma que los sistemas adopten estados compatibles con el entorno urbano y 3) explicitar un conjunto de bases técnicas para el establecimiento de un plan de gestión ambiental. Se desarrollaron dos fases complementarias de recopilación y generación de información pertinente, se clasificaron los sistemas en función de su historia y condición ambiental (sección 8 a 10), así como se establecieron los escenarios futuros más probables (sección 11). Sobre esta base se presentan una serie de aspectos críticos para el desarrollo del plan de gestión (sección 13), y se presentan las opciones de manejo y rehabilitación consideradas válidas

(recomendadas), así como no válidas (no recomendables) desde el punto de vista técnico (sección 14).

Al 2014 se dispone de una batería de opciones de intervención ecosistémica fundamentadas en el desarrollo científico reciente de la ecología de lagos. Sustentadas en un adecuado diagnóstico, es posible modificar la estructura y funcionamiento sistémico, rehabilitando el sistema de forma que cumpla con estándares mínimos pretendidos. Sin embargo, ninguna inversión o intervención única, permitirá solucionar la problemática definitivamente. Una vez comenzados, los planes de rehabilitación deben ser seguidos y sostenidos en el tiempo, con la misma lógica que involucra el mantenimiento de un jardín u otro espacio público verde, la recolección de residuos o la eliminación de basurales endémicos. Sólo implementando un sistema de gestión sobre ese supuesto es que se lograrán los objetivos perseguidos. Si bien en un primer análisis puede suponerse que la dificultad es técnica, la clave del éxito está en encontrar el diseño organizacional más adecuado, las vías de financiamiento sostenibles en el tiempo y desarrollar las capacidades humanas y de infraestructura indispensables. Las opciones de manejo y rehabilitación mencionadas en el presente manuscrito no configuran un listado exhaustivo, pero sí una referencia extensa de fundamentos y procedimientos pasibles de ser aplicados. En muchos casos será más adecuado o necesario implementar una combinación de alternativas más que medidas aisladas y, en todos los casos, cualquier opción deberá estar enmarcada en un plan de monitoreo adecuado (sección 15). El plan de acción debe ser incremental, tener capacidad de aprendizaje y ajuste adaptativo. El trabajo desarrollado pretende ofrecer una visión comprehensiva de la situación, sus causas y problemas asociados y no un conjunto de fórmulas concretas a ser aplicadas.

### 3. ANTECEDENTES

---

En los años 80s y 90s el sector sudoeste del departamento de Canelones fue objeto de una rápida transformación hacia el uso residencial, sin una planificación territorial adecuada por parte de las autoridades locales<sup>1</sup>. Como consecuencia, la estructura urbana resultante presenta características precarias, desordenadas y carentes de servicios fundamentales (por ejemplo saneamiento)<sup>1</sup>. En este contexto, y a partir de 2005, se comienzan a desarrollar un conjunto de iniciativas institucionales con el objetivo de generar un plan estratégico de ordenamiento territorial de la Micro Región de la Costa (COSTAPLAN), el proyecto de saneamiento, drenaje pluvial y vialidad para la Ciudad de la Costa<sup>1</sup> y el Plan Estratégico Departamental de Calidad de Agua<sup>2</sup>.

Los lagos originados por la extracción de arena desde hace más de 50 años, forman hoy parte del paisaje característico de la ciudad. Estos lagos, en su mayoría de propiedad privada, tienen un gran potencial paisajístico y cumplen diversos servicios ecosistémicos (los beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas, *sensu* <http://www.millenniumassessment.org/>), como por ejemplo amortiguación del drenaje pluvial<sup>1</sup>, recreación, contemplación paisajística, entre otros. Adicionalmente, han reportado síntomas de una acentuada degradación ambiental desde la década del 80<sup>3</sup>.

En los últimos años en el marco del Proyecto de Infraestructura de Saneamiento Drenaje Pluvial y Vialidad de Ciudad de la Costa, los lagos existentes fueron incluidos como componentes del diseño de una red de drenaje para resolver el destino de las aguas pluviales de modo de mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona<sup>4</sup>. Con ese objetivo se dispuso la preservación y optimización del uso de lagos existentes y la generación de nuevos lagos en terrenos disponibles, para ser utilizados como lagunas de retención, laminación de flujo y disminución del caudal pico. El diseño se basó en la construcción de un “sistema con laminación en micro y macro drenaje” que

logre retener un determinado volumen de agua de lluvia durante el evento lluvioso en las cunetas y a su vez laminar utilizando para ello lagos y las propias estructuras de conducción, sin aumentar los caudales que se descargan en la playa.

Dada la gran extensión del área del proyecto, su desarrollo involucró la subdivisión en 3 etapas/zonas. La primer etapa (Zona A) abarca un área de 431 hectáreas entre las calles Real de Azúa y Bahía Blanca, Ruta Interbalnearia, Calle Mar del Plata y Rambla Costanera. La obra ya está en marcha, se finalizó la construcción de la Planta de Tratamiento, ubicada al Norte de la Ruta Interbalnearia, y la Estación de bombeo en la Rambla de los Escorpiones. Se están construyendo el Emisario Terrestre y el Emisario Subacuático, y se dio inicio a las obras de infraestructura cuadra por cuadra, saneamiento, drenaje pluvial y vialidad (Fig. 1). La zona A no incluía ningún lago artificial, y se definió la construcción de 5 nuevos lagos para la laminación de pluviales (ver sección 10).

La segunda etapa fue nombrada como Zona B, la que abarca un área de aproximadamente 854 hectáreas ubicadas al oeste de la zona A y al Este del parque Roosevelt. La mayor parte de la Zona B se encuentra al sur de la Avenida Giannattasio. Si bien dentro de los límites definidos para la obra de saneamiento, pluviales y vialidad de la zona B únicamente se encuentra un lago (Calle Calcagno y Gestido), en el presente informe se consideran como parte del mismo macrosistema de drenaje pluvial a todos los lagos preexistentes en la zona oeste de Ciudad de la Costa (Fig. 1).



#### **4. EL ESPACIO URBANO COMO UN SISTEMA SOCIO-ECOLÓGICO**

---

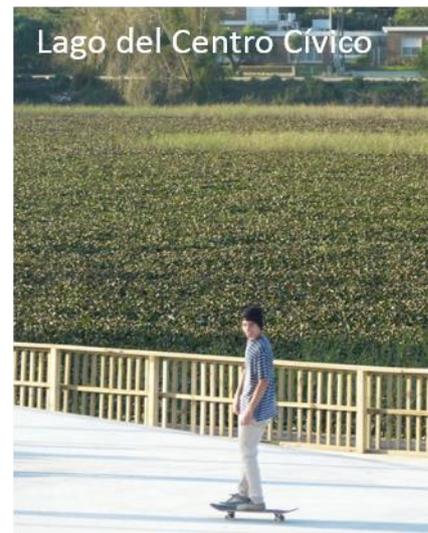
El problema de la expansión de la ciudad en todas sus dimensiones no sólo tiene implicancias económicas, sociales y culturales que es necesario atender, también exige atención desde una perspectiva ambiental<sup>5</sup>. El establecimiento de núcleos urbanos, modifica profundamente el entorno incluso no cercano, actuando como fuente de impacto ambiental, transformando los ciclos biogeoquímicos a medio y largo plazo, en muchos casos irreversiblemente<sup>6</sup>, y constituyen sumideros donde se concentran las externalidades ambientales derivadas de la alteración de las dinámicas ecológicas por parte de la actividad humana<sup>7</sup>. Las áreas urbanas albergan subsistemas con diferentes niveles de presión antrópica, muchos de estos resultan directamente del diseño y la labor humana, mientras otros resultan por su naturaleza menos modificables<sup>8</sup>, tal como es el caso de los lagos. El **ecosistema urbano** puede ser entendido como un sistema ecológico dinámico, conectado, abierto y heterótrofo<sup>5,9</sup>, donde el hombre controla la estructura física del ecosistema<sup>10</sup>. Entender a la ciudad como un ecosistema permite analizar su estructura y funcionamiento como sistema complejo así como analizar los vínculos entre los componentes, naturales y sociales de una manera holística<sup>6</sup>.

Este tipo de sistemas en los que los componentes culturales, políticos, sociales, económicos, ecológicos y tecnológicos interactúan, son referidos como **sistemas socio-ecológicos (SSE)**, o **sistemas acoplados humanos y naturales (CHANS)**, por su sigla en inglés). El enfoque SSE enfatiza en la perspectiva “humanos en la naturaleza”, según el cual los ecosistemas están integrados con la sociedad humana. Al igual que otros tipos de sistemas, un SSE se compone de diferentes partes que interactúan para formar una entidad más compleja con capacidades de organización (es decir, ajuste a través de interacciones entre sus componentes), que permiten el surgimiento de nuevas configuraciones y la adaptación. A su vez, partes de un SSE pueden responder a los cambios en otros componentes desencadenando mecanismos

que retroalimentan y amplifican los cambios de todo el sistema, o por el contrario pueden generar efectos estabilizantes<sup>11</sup>. Estos sistemas exponen dinámicas de cambios no lineales, retroalimentación, transiciones bruscas a partir de umbrales desconocidos, irreversibilidad, incertidumbre y sorpresa. Los impactos ecológicos y socioeconómicos de acoplamientos hombre-naturaleza pueden no ser inmediatamente observables ni predecibles debido a desfases entre las interacciones hombre-naturaleza y la aparición de consecuencias ecológicas y socioeconómicas <sup>12</sup>. Estas características de los SSE hacen que su gestión resulte un verdadero desafío <sup>13</sup>

La construcción de un modelo de **desarrollo urbano sostenible** involucra garantizar una oferta adecuada y oportuna de bienes y servicios ambientales, que permitan el mejoramiento de las condiciones de vida actuales sin disminuir las posibilidades de las generaciones futuras. Para lograrlo se hacen imprescindibles acciones de dirección, de articulación y de negociación en el plano político y en el plano de la gestión. Sin un papel del Estado y de las autoridades de Gobierno, sin medidas que obliguen a la sociedad, a los actores sociales y agentes económicos a tomar determinadas decisiones no es posible ni siquiera iniciar ese proceso. Los instrumentos de la gestión y la política ambiental, son de tal modo herramientas necesarias dentro de la Política Ambiental, considerada como una política pública de carácter transversal, pues atraviesa a todas las políticas públicas y las unifica y articula de acuerdo a lo ambiental como hilo conductor <sup>14</sup>.

En este marco, el enfoque de la **Ecología Urbana** integra la aproximación ecológica clásica con el ámbito físico, biológico y social particular del sistema urbano, con el



objetivo de intentar comprender los principios de la **sostenibilidad** a diferentes escalas y trasladar este conocimiento a los **procesos de gestión y planificación**<sup>15</sup>.

## 5. OBJETIVOS

---

Para los lagos de la Ciudad de la Costa y zonas aledañas:

- Evaluar el estado ambiental de los mismos y analizar los escenarios futuros más probables
- Generar pautas para la rehabilitación de los sistemas de forma que adopten estados compatibles con el entorno urbano (incluyendo su uso como parte del sistema de drenaje pluvial de la ciudad)
- Explicitar un conjunto de bases técnicas para el establecimiento de un plan de gestión ambiental.

## 6. ESTRATEGIA DE TRABAJO

---

Para la consecución de los objetivos perseguidos, se desarrollaron dos fases complementarias de recopilación y generación de información pertinente (Fig. 2). La primera de las fases involucró la realización de múltiples reuniones con informantes y actores relevantes, así como búsqueda bibliográfica sobre la temática de trabajo. Concomitantemente se desarrolló una fase de generación de información que involucró trabajo de campo tendiente a la evaluación del estado ambiental de los lagos preexistentes, de los recientemente creados y la visita a los terrenos donde se crearían nuevos lagos, con el objetivo de generar una clasificación multicriterio. Comprender el estado ambiental de los lagos preexistentes en la región, permitirá establecer las trayectorias ambientales probables para estos sistemas así como para los lagos más nuevos. El establecimiento de los escenarios más probables para la

evolución futura de los sistemas, permitió realizar un análisis de opciones sobre el que se realiza la formulación de bases técnicas para la formulación de un Plan de Gestión.



**Fig. 2.-** Representación diagramática de la estrategia establecida para la ejecución del convenio.

## **6.1. Recopilación y generación de información**

Entre abril y octubre de 2013 se realizaron reuniones con representantes del Consorcio Canario, Dirección General de Gestión Ambiental y Dirección General de Obras de la Comuna Canaria, COSTAPLAN. A las mismas concurrieron representantes de las Alcaldías de la zona, funcionarios con responsabilidad técnica y política sobre la temática.

En reunión inicial del 17/4/2013 se convino recopilar, generar y sistematizar información pertinente para el desarrollo del proyecto. El Cuadro 1 resume los acuerdos alcanzados.

Los lagos fueron visitados en varias oportunidades durante el año 2013. El día 1/06/2013 se realizó un relevamiento de campo de los lagos de la Zona A y B de Ciudad de la Costa, Parque Roosevelt, Parque Miramar y Paso Carrasco. Se aplicó un protocolo rápido de evaluación de estado ambiental, realizando muestreos costeros en zonas de potencial uso recreativo (pasibles de contacto directo de la población con el agua), siguiendo la metodología utilizada para los muestreos realizados en 2008-2009 por el Plan Estratégico Departamental de Calidad de Agua (PEDCA-IDC<sup>16</sup>). Adicionalmente se utilizó una sonda multiparamétrica YSI modelo 6600V2 para registrar *in situ* variables fisicoquímicas (conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, pH), y biológicas relevantes (clorofila y número de células cianobacterianas que contienen ficocianina), se tomaron muestras para análisis de nutrientes (nitrógeno y fósforo), tanto fracciones disueltas como totales, además de clorofila a en suspensión para analizar en laboratorio. En los sitios donde se registró por conteo alta densidad de fitoplancton (floraciones y espumas verdes) se tomaron muestras para análisis de composición y abundancia. No se tomaron muestras o datos desde embarcación, ya que el esfuerzo necesario trasciende las posibilidades y magnitud del presente proyecto de trabajo. Se visitó un total de 19 lagos.

**Cuadro 1.- Acuerdo sobre recopilación, generación y sistematización de información (reunión 17/4/2013)**

		<b>LAGOS DE CANELONES</b> <b>Convenio CANELONES-UDELAR</b>		
<b>Documento de trabajo n° 1 - Reunión 17/4/13: Tarea definida 2</b> <b>Autor. G. Goyenola</b>				
<b>Tarea definida 2: Recopilación, generación y sistematización de información</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La calidad del producto, dependerá de la calidad de los insumos</li> <li>• La idea es lograr recopilar toda la información que sea o se considere relevante.</li> <li>• Se agradece el esfuerzo por dejar plasmadas también por escrito todas las piezas de información que deriven de la experiencia y no se encuentre registro escrito previo.</li> <li>• Se agradece el esfuerzo para que la información pueda ser recopilada en un sistema de información geográfica (poner atención en el formato).</li> <li>• Un aspecto clave es lograr reportar tanto el estado actual de los sistemas, obras, planes, como el conocimiento sobre su trayectoria pasada (ej, rellenos realizados recientemente, denuncias, juicios, eventos de malos olores, etc.), así como los planes existentes a futuro (el cronograma más realista que pueda proponerse, o escenarios alternativos si resulta adecuado).</li> </ul>				
Información a recopilar/generar	Actor encargado y persona de contacto frente a dudas	Observaciones	comentarios	
Diseño del sistema de pluviales		Delimitación de cuencas (áreas que aportan escorrentía a los lagos) Comportamiento hidrológico previsto		
Diseño de los lagos		Morfometría (forma, profundidad) Conectores: diseño y funcionamiento, existencia de compuertas, conectividad actual y prevista, etc. Comportamiento hidrológico previsto (variación de nivel, tiempo de residencia, etc.)		
Cobertura saneamiento		Actual y prevista		
Información existente sobre aguas subterráneas		Nivel de la napa freática Calidad del agua		
Información sobre calidad de agua		Monitoreos realizados (fechas, métodos, resultados) ¿informes?		
Usos actuales conocidos y previstos de los lagos. Usos conocidos y previstos del territorio asociado (cuando relevante)		Proyectos urbanísticos, industriales u otros relevantes		
Identificación de actores		institucionales, locales, etc.		
Percepción de problemas		Ej. basurales endémicos, malos olores, mortandades de peces, <i>Aedes</i> .		
Conflictos percibidos				
Programas de mantenimiento actual de lagos y sistema de pluviales				
Propiedad de los predios en el que se encuentran los lagos		Incluir si existen o se prevén vías de acceso público.		
Intervenciones realizadas recientemente o previstas		Debe incluir obras previstas por el convenio y su cronograma (posible desecación, etc.). También refulados, rellenos, imprescindible conocer origen y calidad de materiales		
Documentos relevantes		Ej. Solicitud dela DINAMA sobre un plan de gestión para los lagos nuevos lagos de la zona A		
Otros- agregar				

## **6.2. Información recopilada y generada**

Los diferentes actores consultados disponían y brindaron piezas de información complementaria. La realización de reuniones con los actores vinculados a la gestión permitió aumentar la cantidad de información manejada a medida que se desarrollaba el trabajo.

En términos generales la Dirección General de Gestión Ambiental (DGGA) asumió el liderazgo del desarrollo del proyecto de trabajo, en asociación con el Consorcio Canario. Ambos actores participaron activamente en todas las etapas y encuentros desde mucho tiempo antes de la firma del Convenio con la UDELAR. La DGGA brindó información sobre la ubicación de basurales endémicos, así como la información recabada e informes producidos durante las etapas previas del Plan Estratégico Departamental de Calidad de Agua. El Consorcio Canario hizo accesible gran cantidad de información sobre el proyecto de drenaje pluvial y el estado de las obras, incluyendo detalles constructivos y planos de los lagos proyectados, información de monitoreo de calidad de agua y sobre las obras de saneamiento. El desarrollo del proyecto de saneamiento, drenaje pluvial y vialidad para la Ciudad de la Costa involucró una prolífica producción de documentos en diferentes etapas, cuyo análisis estableció una demanda de tiempo considerable. La Dirección General de Obras participó activamente durante todo el año 2013 y posibilitó el acceso a información sobre la delimitación de cuencas del sistema de drenaje y de particular relevancia, las memorias descriptivas y de cálculo de drenaje pluvial para las zonas A, B y C de Ciudad de la Costa, entre otros documentos. COSTAPLAN poseía un registro histórico detallado desde las primeras etapas del desarrollo del proyecto (año 2006) en formato digital. Adicionalmente brindó acceso a la base de datos georeferenciada generada

durante el desarrollo del Plan de Ordenamiento Territorial de la Micro Región de la Costa (POT de la Costa), entre otra información.

Los grandes avances realizados en el POT de la Costa, determinaron la aprobación del Decreto Departamental denominado COSTAPLAN (Nº 6 del 27 de Octubre de 2010), donde se establecen regímenes diversos de Categorización del Suelo y Zonificación y regímenes específicos, incluyendo las Zonas de Ordenamiento Concertado (ZOC), algunas de ellas denominadas específicamente borde de Lagos y otras de ZOC que incluyen Lagos dentro de su territorio (ver sección 7).

La mayoría de los documentos analizados no resultaron autocontenidos o autoexplicativos, haciendo compleja la interpretación por terceros. También se detectaron inconsistencias entre documentos con perfil planificador y la implementación de los mismos, particularmente en lo que refiere a algunas prácticas de monitoreo. Las mayores dificultades para la consecución de información se vincularon con que ciertas piezas relevantes de información no presentaron sustento documental asociado y sólo se dispuso de los intercambios orales realizados en las reuniones colectivas y correos electrónicos. La ausencia más destacada diagnosticada involucró la imposibilidad de acceder a los hidrogramas y el modelo de las conducciones utilizado para el diseño del proyecto. Sólo estarían disponibles algunas planillas de cálculo sin los macros asociados. Se transmitió que repetir los cálculos no resultaba una opción viable.

Se detectaron algunas incompatibilidades entre archivos de diferentes fuentes, en particular planimetría en formato CAD y capas del Sistema de Información Geográfica.

Los documentos recopilados (Tabla 1) fueron sistematizados y se presentan como adjunto, con el objetivo de contribuir a la reconstrucción de la memoria del proceso sobre una base colectiva.

**Tabla 1.-** Esquema básico sobre la información recopilada según fuente (por más detalle consultar adjunto en soporte digital).

Quién	Que	detalle
Consortio Canario	Planos de lagos	Zona A <b>Obras ejecutadas</b> (Hípico, Secco García I y II) <b>Obras proyectadas</b> (Central, General y Real de Azúa)
	Información monitoreo	2010-2013
	Saneamiento	Zona A Obra ejecutada Obra prevista
La información fue suministrada como archivos *.doc y *. pdf		
Dirección General de Obras	Informes microbiológicos de agua de abatimiento de freático en frentes de obra	Relevante para evaluación de la exposición ocupacional de obreros.
	Informe sobre indicadores de calidad de agua de napas y contaminación del arroyo pando	El documento no tiene fecha
	Monitoreo de aguas en Lagos de retención de pluviales (Obra 3 Zona A Oeste) y en Lago La Botavara	Información relevante sobre historia de monitoreo El documento no tiene fecha.
	Informe muestreo agua superficial Lago Botavara/Puerto Gourmet 12/2012	
	Informes análisis de calidad de agua del A° Pando realizados por el LATU	1) sin fecha con 2 muestras marcadas aguas arriba y aguas abajo 2) única muestra ingresada el 6/10/11 No se aclara sitios de toma en ninguno de los dos informes
	Intervenciones en faja costera - Zona A 2/2008	

## **7. AVANCES EN ORDENAMIENTO TERRITORIAL**

---

Por Decreto Departamental se definieron Zonas de Ordenamiento Concertado (ZOC) en terrenos considerados como espacios de oportunidad urbanística que requieren de protección patrimonial o ambiental. Los proyectos de desarrollo de iniciativa pública y/o privada para estos sectores del territorio serán analizados por la Intendencia, quien a través de una fase de concertación con los proponentes, podrán formular una propuesta definitiva. Entre los trece ZOC definidos en el Decreto, se generaron cuatro “ZOC borde de lagos” (Paso Carrasco, Parque Miramar, Santa Ana-Jardines de Carrasco y Jardín de Lagomar), con el objetivo de permitir tomar definiciones en forma conjunta con los privados sobre planes de manejo y gestión de los lagos para uso como parte del sistema de drenaje pluvial de la ciudad, el mantenimiento de la calidad de sus aguas y protección del paisaje. Más allá de eso, debe tenerse en cuenta que existen lagos ubicados en territorios no clasificados como “ZOC borde de lagos” (Parque Metropolitano/Roosevelt, lagos nuevos de la Zona A, entre otros).

Las posibilidades de gestión de los sistemas serán dependientes de la propiedad de los padrones incluidos en el cuerpo de agua, así como en los contiguos. COSTAPLAN brindó información sobre la propiedad estatal de algunos padrones asociados a un conjunto menor lagos. Sobre otros lagos se dispuso de información oral de que otros lagos se ubicaban en terrenos de propiedad pública (ej. lagos Secco García I y II, Zona A). En función de las condicionantes de información disponible, salvo que se aclare lo contrario, se trabajará bajo el supuesto de que todos los lagos presentan predios tanto bajo régimen de propiedad privada como pública.

## 8. LAGOS PRE-EXISTENTES

Los lagos de la región preexistentes al proyecto de drenaje Pluvial de Ciudad de la Costa, se ubican en Paso Carrasco, Parque Miramar, Parque Roosevelt y la zona oeste de Ciudad de la costa (ZONA B para los fines del presente informe, ver sección 3). Al no existir un nomenclátor oficial para los lagos de la zona, se presentan en la Figura 3 los nombres utilizados en el presente informe.



**Fig. 3.-** Nombres utilizados para identificar los lagos presentados de Oeste a Este.

### **8.1. Caracterización y evaluación ambiental: Marco teórico**

Los lagos preexistentes en el sector sudoeste del territorio canario son profundos (> 5m) y con una historia de más de 50 años. Los mismos surgieron como consecuencia de la extracción de áridos, formándose por infiltración desde la napa freática (acuífero libre).

Todos ellos presentan múltiples presiones sobre su calidad ambiental, resultado del entorno urbanizado en el que se encuentran y, en algunos casos, de la presión histórica de uso por parte de la industria. Se han reportado síntomas de una acentuada degradación ambiental ya desde la década del 80<sup>3</sup>. El principal problema de calidad de agua corresponde al proceso denominado técnicamente como **eutrofización**, generado por el aporte excesivo de nutrientes (fundamentalmente nitrógeno y fósforo) hacia el cuerpo de agua. La elevada oferta de nutrientes genera un aumento de la abundancia de productores primarios: plantas acuáticas (plantas flotantes o sumergidas), microalgas o cianobacterias. Este fenómeno genera importantes interferencias en el uso más difundido de estos sistemas, la recreación <sup>17</sup>. Además, provoca la pérdida de los valores paisajísticos, teniendo consecuencias en los valores inmobiliarios de los predios aledaños.

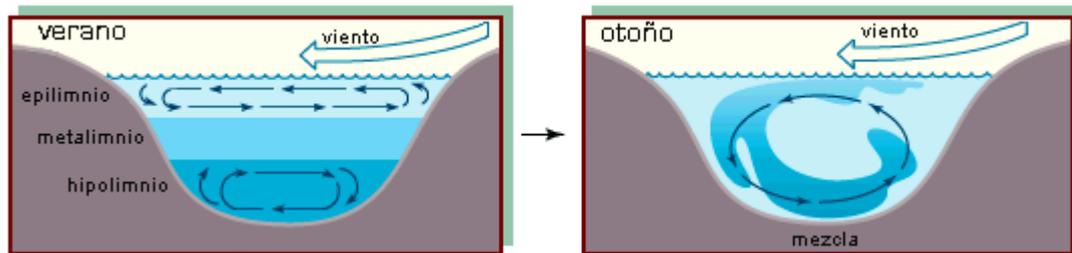
Los sistemas lénticos (lacustres) son por naturaleza sumideros/acumuladores de la materia que llega asociada a la circulación del agua (superficial o subterránea), o que es vertida directamente a los mismos. Así, a medida que los lagos envejecen, van aumentando su carga interna de sustancias (ej. nutrientes, metales pesados, etc.).

Un aspecto funcional particularmente relevante para los lagos más profundos es el de la estratificación vertical de origen térmico. Durante la estación cálida, la radiación solar es capaz de calentar la masa de agua superficial, disminuyendo la densidad del agua. Mientras, debido a la atenuación relativamente rápida de la luz, la capa profunda del lago permanece oscura, más fría y más densa. La estabilidad de la estratificación

térmica depende del volumen de cada capa de agua y de la diferencia de temperatura entre ambas, además de la forma de la cubeta y su orientación respecto a los vientos predominantes, y suele ser suficiente para ser el factor determinante de la distribución vertical de sustancias (como nutrientes) y partículas (incluyendo microorganismos y fitoplancton).

Mientras perdure la estratificación, la fotosíntesis únicamente puede ocurrir en la capa superficial iluminada, y el transporte vertical de materia es básicamente descendente condicionado por la gravedad. Como consecuencia, en la capa oscura y profunda no se produce oxígeno por fotosíntesis y a medida que la estratificación transcurre el oxígeno disponible se consume. En estas condiciones, los nutrientes acumulados, depositados, retenidos, secuestrados en los sedimentos, son liberados hacia la capa profunda de agua. Puede comprenderse entonces el funcionamiento de un lago profundo estratificado térmicamente, como un lago iluminado, cálido y relativamente poco denso, que interactúa con la atmósfera y que va perdiendo por gravedad paulatinamente su fósforo, flotando sobre un lago oscuro, más frío y denso, que interactúa con los sedimentos y que cada vez es más rico en nutrientes.

Los eventos de mezcla de la columna de agua ocasionados generalmente durante tormentas, determinan la homogenización vertical de la columna de agua (desestratificación), pudiendo hacer disponible nuevamente los nutrientes o contaminantes en las capas superficiales (Fig. 4). Los lagos pueden ser clasificados por su régimen de mezcla como polimícticos (estratificación poco duradera y mezcla frecuente), monomícticos (un evento de mezcla anual), dimícticos (dos eventos de mezcla al año), oligomícticos (lagos tropicales con gradiente vertical de temperatura débil pero mezclas poco frecuentes) y amícticos (estratificación permanente), entre otros. Los lagos más profundos presentan estratificaciones térmicas más perdurables en el tiempo (por ejemplo durante toda la estación estival).



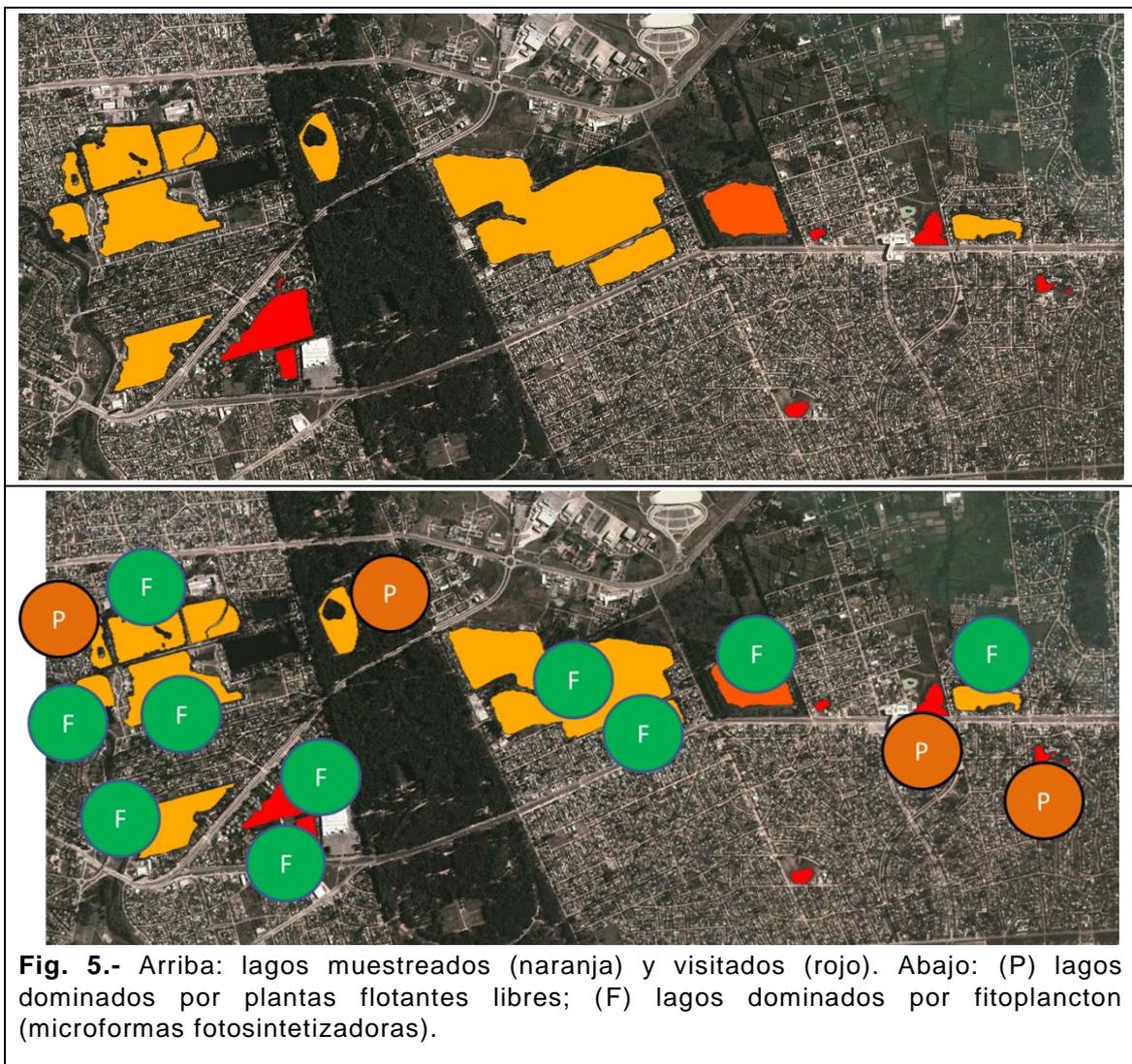
**Fig. 4.-** Régimen de mezcla. Izquierda: lago estratificado térmicamente. Derecha: lago mezclado por la acción del viento.

El aumento de la carga interna de nutrientes de un lago (eutrofización), se asocia directamente al surgimiento de problemáticas ambientales y sanitarias de relevancia. Un lago eutrófico debe ser entendido como un campo regado y fertilizado, donde sin duda germinarán las semillas presentes. En otras palabras, en sistemas lacustres con concentraciones de nutrientes elevadas, es esperable el desarrollo explosivo (floración o bloom) de organismos verdes-fotosintéticos, ya sean algas macroscópicas, plantas u organismos microscópicos (fitoplancton), que pueden generar un detrimento significativo de la calidad de agua. No debe perderse de vista que la cantidad de nutrientes existente en el sistema, puede presentar cambios muy importantes en su distribución espacial y temporal, estableciendo condicionantes significativos sobre la calidad de agua.

La considerable conectividad entre los lagos y el sistema de aguas subterráneas determina, en conjunto con la ausencia de saneamiento y la práctica de perforación de los pozos sépticos, un importante aporte de nutrientes que ocurre desde hace varias décadas.

## 8.2. Trabajo de campo

En junio de 2013 se visitaron los lagos de la Zona A y Zona B de Ciudad de la Costa, Paso Carrasco y Parque Miramar, habiéndose muestreado 10 de los mismos (Fig. 5). Se recopiló y analizó también información sobre muestreos realizados en años anteriores y se clasificaron los sistemas de acuerdo al estado trófico en función de la concentración de fósforo total (Fig. 6) y si se encontraba dominado por fitoplancton o por plantas flotantes libres (Fig. 5). Cabe consignar que algunos de los lagos presentan alternancia entre estos dos estados<sup>16</sup> (Cuadro 2).

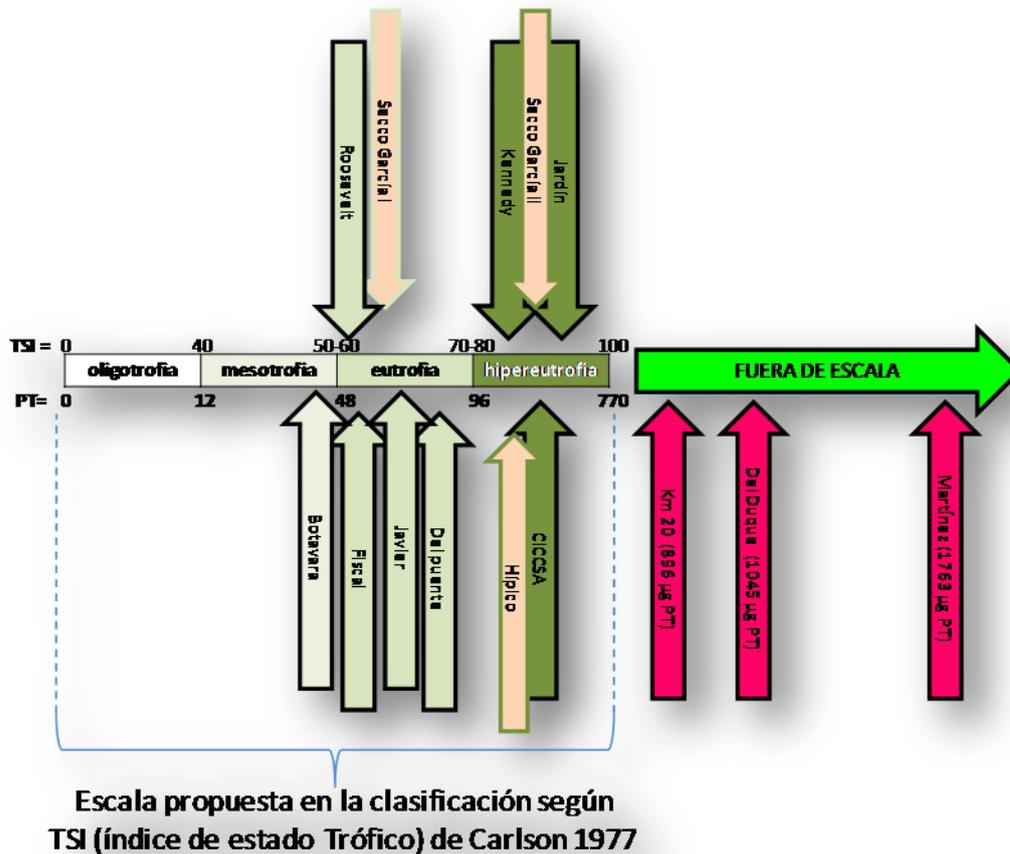


**Fig. 5.-** Arriba: lagos muestreados (naranja) y visitados (rojo). Abajo: (P) lagos dominados por plantas flotantes libres; (F) lagos dominados por fitoplancton (microformas fotosintetizadoras).

**Cuadro 2.- La teoría de los estados estables**

De acuerdo a lo planteado por Scheffer y Jeppesen <sup>18</sup> para los lagos poco profundos, estos pueden alcanzar diferentes **estados alternativos**. Uno denominado “claro” con alta transparencia del agua, baja biomasa fitoplanctónica y predominio de macrófitas y otro “turbio” con baja transparencia del agua, alta biomasa fitoplanctónica y sin macrófitas sumergidas. Hace sólo pocos años se propuso la existencia de un tercer estado estable para los sistemas someros, el dominado por vegetación flotante libre <sup>19,20</sup>.

Desde el punto de vista del manejo de recursos, de la conservación o de la recreación por contacto directo, resulta deseable mantener (o lograr conducir al sistema hacia) el estado de aguas claras <sup>21</sup>, aunque la proliferación excesiva de macrófitas puede interferir también con los usos pretendidos de los lagos.



**Fig. 6.-** Clasificación de los lagos de ciudad de la costa en función de su nivel de fósforo total (PT en µg/l). TSI = índice de estado trófico<sup>22</sup>.

### 8.2.1. Lagos con dominio fitoplanctónico

En los ambientes eutróficos profundos y expuestos al viento no es posible el desarrollo extensivo de macrófitas<sup>1</sup> sumergidas o plantas flotantes, por lo que la elevada carga de nutrientes se expresa a través del crecimiento de organismos microscópicos. En la mayor parte de los lagos bajo análisis es frecuente el predominio de cianobacterias, lo que involucra serios inconvenientes asociados a su capacidad de producción de sustancias tóxicas (cianotoxinas), que representan un riesgo tanto para la salud humana como la ambiental<sup>23,24</sup>. Las especies cianobacterianas para las que alguna de sus cepas ha sido descrita como tóxica en al menos una ocasión a nivel mundial, son consideradas potencialmente tóxicas. Ahora, la identificación bajo microscopio de la presencia de uno de estos organismos, no es suficiente para asegurar que la misma es capaz de producir, o está efectivamente produciendo toxinas. Una vez identificadas organismos potencialmente tóxicos, debe primar un criterio cauteloso y disparar protocolos de análisis de la presencia de las toxinas que podría producir.

Entre estos organismos se conocen especies productoras de toxinas con efecto hepatotóxico, neurotóxico, irritante dérmico por contacto y de las vías respiratorias por aspiración y cancerígeno<sup>24</sup>. En todo Uruguay, así como en la zona analizada son frecuentes especies que ya han causado muertes en países limítrofes<sup>25,26</sup>. Para los lagos mencionados existen múltiples registros de cianobacterias productoras potenciales de microcistina, toxina hepatotóxica y cancerígena ej: <sup>27,28</sup>. También ha sido registrada la cianobacteria invasora *Cylindrospermopsis raciborskii*, que en la región es capaz de producir toxinas que interfieren en la comunicación nerviosa (saxitoxina, anatoxina-a)<sup>28</sup>. La condición eutrófica, interfiere entonces significativamente con los usos de los sistemas y constituyen como un grave riesgo ambiental y sanitario. Desde el punto de vista ambiental, el dominio fitoplanctónico involucra un incremento superlativo de la variabilidad de la calidad de agua (ej. pH día

---

<sup>1</sup> Plantas o algas macroscópicas

> 9, pH noche < 7; saturación oxígeno disuelto día >> 100 %, saturación oxígeno disuelto noche → 0%), lo que provoca la disminución de la diversidad biológica debido a la desaparición de especies susceptibles y el desarrollo explosivo de pocas especies tolerantes. Debe tenerse en cuenta de que la composición de especies fitoplanctónicas resulta sumamente variable en el tiempo, no siendo esperable la permanencia de una especie, más allá de que sea tóxica o no lo sea.

La biomasa de microalgas podría reducirse si hubiera suficiente densidad de animales filtradores que las consumieran (particularmente microcrustáceos zooplanctónicos). Estos organismos son consumidos a su vez por peces pequeños, quienes a su vez son alimento para peces de mayor tamaño, así como para aves. Con la eutrofización la abundancia de peces de gran tamaño tienden a disminuir llegando incluso a desaparecer, ya que son particularmente sensibles a la turbidez y las fluctuaciones bruscas de los tenores de oxígeno. Al ocurrir esto, aumenta la densidad de los peces pequeños, los que se alimentan de los organismos consumidores de microalgas, por lo que tiende a aumentar aún más las microalgas (Cuadro 3).

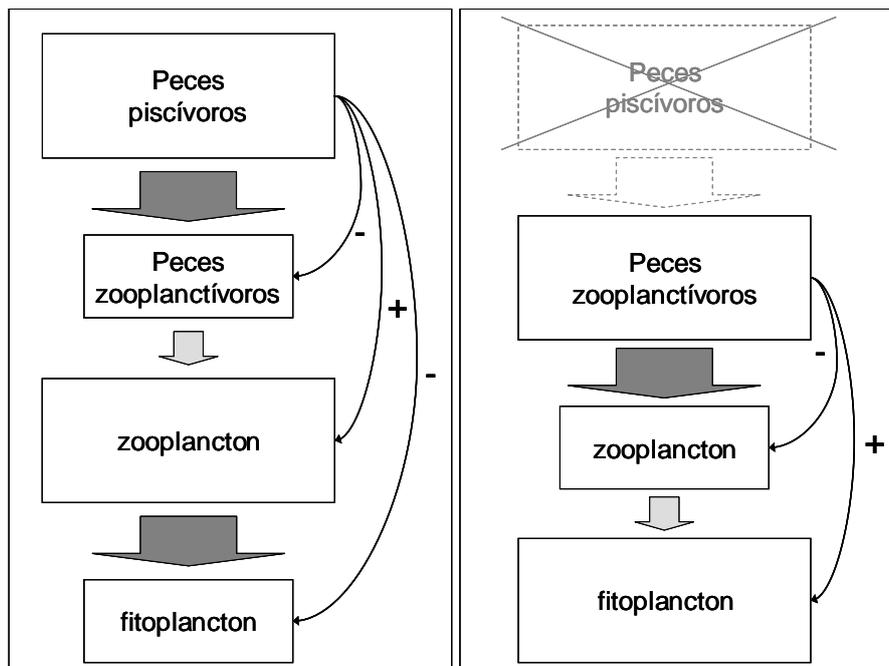
Los lagos del Puente, Fiscal, Javier, Martínez, Kennedy, Botavara, km20 y Jardín se encontraron dominados por “fitoplancton” (microformas fotosintetizadoras) (Fig. 5). En los lagos del Puente, Fiscal, Javier, Martínez, Kennedy se determinó *in situ* baja transparencia del agua y elevadas medidas de clorofila a en suspensión y abundancia de cianobacterias, por lo que se tomaron muestras costeras para análisis de las principales características composicionales de la comunidad de fitoplancton. Todas las muestras presentaron una comunidad fitoplanctónica dominada por cianobacterias con alta representación de especies potencialmente tóxicas (ver sección 8.2.1).

### Cuadro 3.- Interacciones tróficas y calidad de agua

De acuerdo a la hipótesis de Persson et al <sup>29</sup> existe una clara relación entre la complejidad de la red trófica y el estado trófico. En este sentido, desde la ultraoligotrofia a la mesotrofia, las redes incluyen uno (fitoplancton), dos (+zooplancton), tres (+peces planctívoros) y finalmente cuatro niveles tróficos (+peces piscívoros). Si seguimos recorriendo este gradiente de nutrientes se ha observado que como consecuencia del proceso de eutrofización, los peces planctívoros pasan a ser dominantes y los piscívoros raros <sup>30</sup>. Adicionalmente, las especies piscívoras son las que sufren mayor presión por pesca recreativa.

El desarrollo del fitoplancton dependerá no sólo de la disponibilidad de nutrientes (control *bottom-up* o ascendente), sino también de la presión de consumo por el zooplancton herbívoro (control *top-down* o descendente). Existen numerosas evidencias de que son los peces los que tienen la mayor influencia en la estructuración de las comunidades zooplanctónicas, pudiendo entonces generar consecuencias en cascada en los niveles tróficos más bajos y repercusiones indirectas en la calidad de agua.

La importante carga interna de nutrientes en conjunto con la baja carga de peces piscívoros, favorecería el desarrollo de comunidades de pequeños peces capaces de alimentarse de zooplancton. Esta estructura biológica puede ser un factor clave para el establecimiento de una fase turbia, dominada por fitoplancton que puede acarrear graves problemas de calidad de agua.



**Esquemas de interacciones tróficas en lagos.** A) Controles descendentes sobre la población fitoplanctónica <sup>31</sup> según la hipótesis de cascada trófica <sup>32</sup>. La fuerte presión por depredación ejercida por los peces piscívoros sobre los zooplanctívoros, condiciona indirectamente una disminución en la abundancia fitoplanctónica, lo que mejora indirectamente la calidad de agua. B) Esquema trófico en un sistema carente de piscívoros.

Timms y Moss <sup>33</sup> fueron los primeros en demostrar la importancia de la vegetación como un refugio para el zooplancton herbívoro de la depredación por peces. Otros estudios han confirmado que durante el día el zooplancton de mayor tamaño de los lagos someros tiende a dejar las aguas abiertas agregándose en, o cerca, de las macrófitas sumergidas <sup>34,35</sup>.

El **lago Botavara** es el de mayor superficie de toda la Ciudad de la Costa (70 ha aproximadamente) y presenta diversos usos (baño, navegación, pesca) y extracción de agua hasta hace pocos años (Fig. 7).

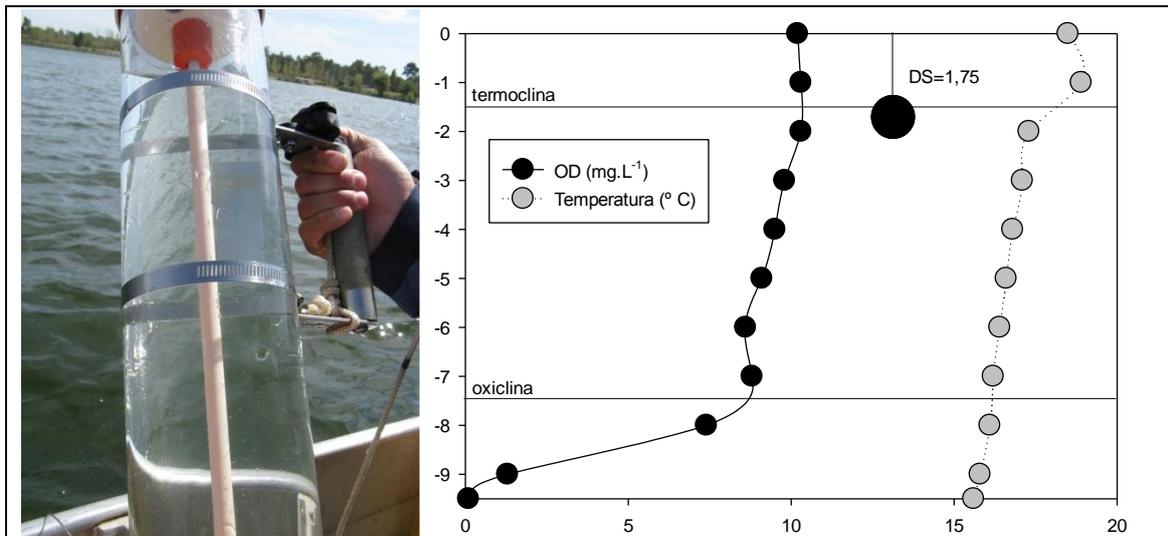
El sistema tendría una profundidad media de 9 metros y una máxima registrada de 14, y se ha registrado estratificación térmica <sup>16,36,37</sup> (Fig. 8). En el relevamiento realizado en junio de 2013, fue este el lago donde se registraron menores niveles de fósforo total en el agua superficial, correspondiendo a niveles de mesotrofia. Concordantemente, este lago suele presentar problemas de calidad de agua localizados en el espacio y por períodos no demasiado prolongados. Sin embargo en el pasado ya ha sido clasificado como hipereutrófico <sup>37</sup> y se cuenta con registros de blooms fitoplanctónicos (particularmente del dinoflagelado *Ceratium hirundinella*) <sup>37</sup> y cianobacterias potencialmente tóxicas en 2008-2009 <sup>16</sup>. Se cuenta también con registros de eventos de intensos malos olores por las noches.

El sistema recibe algunos aportes superficiales relevantes, particularmente uno que captura las aguas provenientes del Aeropuerto Nacional de Carrasco. Posee también un efluente que desagua por desborde hacia el canal lateral de la Calle Racine.

En la calle Kennedy, que separa este lago del descrito a continuación, se ubicaba un basural endémico que logró ser erradicado por la Intendencia en los últimos años.



**Fig. 7.-** Lago Botavara. Arriba: foto aérea (<http://goo.gl/TZ7MEy>). Medio: izquierda, acúmulos cianobacterianos concentrados en una playa del sector oeste y vecinos haciendo uso recreativo. Abajo: aspecto del lago en invierno de 2013.



**Fig. 8.-** Lago Botavara: Izquierda: muestra de agua profunda durante muestreo de octubre de 2008. Derecha: perfiles verticales de temperatura y oxígeno para la misma fecha. Puede observarse la estratificación térmica moderada y la desoxigenación extrema en la capa más profunda del lago. El lago se encontraba en una fase de agua clara con visibilidad del disco de Secchi > a 1 m (DS = 1,75 m).

El lago situado al sur de la calle **Kennedy** presenta urbanización sobre tres cuartas partes de la extensión de su franja costera. No se ha establecido la existencia de afluentes o efluentes superficiales al sistema, por lo que se asume un muy elevado tiempo de residencia del agua y nutrientes. Concordantemente se han registrado intensas y persistentes floraciones cianobacterianas desde al menos junio de 2008 (Fig. 9). En junio de 2013 se determinó dominancia mayor al 80% de la biomasa de cianobacterias filamentosas de la especie *Dolichospermum circinalis* (Rabenhorst ex Bornet et Flahault, ex: *Anabaena circinalis*) y presencia de colonias de gran tamaño de *Microcystis aeruginosa* (Kützing), ambas especies potencialmente tóxicas (Cuadro 4). El uso del sistema es mayormente recreativo.



**Fig. 9.-** Lago Kennedy. Arriba: acumulación costera de espumas (*scum*), producido por la floración cianobacteriana. Izquierda: julio 2008. Derecha: junio 2013. Las restantes fotos corresponden a junio de 2013.

El lago ubicado junto al puente de las Américas sería el producto de la excavación sobre un humedal asociado al curso del Arroyo Carrasco (Fig. 10), ocurriendo intercambio bidireccional de agua con este en función de las condiciones hidrológicas imperantes. El mencionado intercambio podría ser la causa de que este lago presente el mayor valor de conductividad de todos los lagos de la región al igual que en estudios anteriores <sup>16</sup>.

En el sector norte se sitúa una planta potabilizadora fuera de funcionamiento, que habría utilizado agua de este lago para suministro de la población local (no se tiene registro hasta que fecha). Sin embargo, en todas las visitas realizadas al lago durante los últimos 5 años, el agua presentó intensas floraciones fitoplanctónicas, con aguas verdes, elevada turbidez y presencia de espumas verdes (“scum” o verdín) típicas de cianobacterias potencialmente tóxicas (Fig. 11; Cuadro 4).



Fig. 10.- Lago del puente de Avda. de las Américas. Fotografía aérea de 1966.

Durante los muestreos de línea de base del PEDCA los valores de **clorofila a** para el lago en cuestión, fueron los más elevados registrados en todo el programa de

muestreo para diversos puntos del departamento (37 muestras de invierno-primavera de 2008 y 24 de verano-otoño de 2009). De acuerdo al índice de estado trófico (TSI) de Carlson <sup>22</sup> el sistema ha sido clasificado repetidamente como **hipereutrófico** en función de su concentración de clorofila durante los muestreos mencionados y como eutróficos en invierno de 2013 en función de su nivel de fósforo total (Fig. 6). Si bien la contaminación por nutrientes y sus efectos asociados, es un hecho común a los lagos de las inmediaciones, para el lago en cuestión se han registrado en pasados muestreos niveles extremos de variables ambientales asociados a floraciones potencialmente tóxicas <sup>16</sup>.

De acuerdo a los estudios realizados por la Sección Limnología de la Facultad de Ciencias, en mayo de 2009 el lago en cuestión se encontraba dominado por cianobacterias (*Planktothrix agardhii*). Se ha demostrado que esta especie es capaz de producir potentes toxinas neurotóxicas y hepatotóxicas por ingesta directa y reacciones cutáneas por contacto directo. Aunque su mera presencia no asegura que la cepa tenga capacidad de producir toxinas o aun teniendo capacidad, que las esté produciendo. En junio de 2013 se determinó la presencia de dinoflagelados de la especie *Ceratium hirundinella* (Müller) y la cianobacteria potencialmente tóxica *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) (Cuadro 4) capaz de producir toxinas con efecto neurotóxico.

Una característica distintiva del lago del puente de las Américas respecto a los otros lagos de la zona, sería su eventual **conectividad hídrica superficial bidireccional, con el arroyo Carrasco**. En función de la problemática ambiental de este último, no es posible concluir definitivamente cuál sería la consecuencia última en el lago de la mencionada conexión. Por un lado, permitiría la recolonización de especies en el sistema y el mantenimiento de la biodiversidad, mientras por otro puede trasladar problemas permanentes o circunstanciales desde el arroyo hacia el lago (entre ellos, nutrientes, coliformes fecales e inóculos de floraciones potencialmente tóxicas). Se

considera muy probable la existencia de un vínculo directo entre la degradación ambiental registrada en este lago (valores extremos en variables ambientales) y los problemas de calidad de agua del arroyo.



Fig. 11.- Lago del Puente. Arriba: puede observarse el “verdín” formado por acúmulos de células cianobacterianas (03/2009). Abajo: aspecto del agua en diferentes sectores durante el muestreo de junio de 2013. Izquierda: dominio cianobacteriano. Derecha: dominado por dinoflagelados (coloración marrón-rojiza).

El lago conocido como **Martínez**, presenta dominancia de cianobacterias coloniales de la especie *Microcystis aeruginosa* (Kützing) con menor representación de cianobacterias filamentosas *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska), Clorofitas (mayormente *Scenedesmus spp.*) y Cryptomonadales en bajas abundancias (Fig. 12). El lago cobró notoriedad por presentar intensas floraciones veraniegas que fueron atribuidas como causantes de muerte de un perro <sup>38</sup>.



Fig. 12.- Lago Martínez. Arriba y al medio: scum cianobacteriano (ver Cuadro 4). Abajo izquierda: cartelera situada luego. Abajo derecha: toma de agua con fines industriales.

El entorno del lago denominado **Javier** presenta elevado valor inmobiliario presentando un sector urbanizado sobre el sector sur, y un emprendimiento reciente en las franjas este y oeste. Este sistema presenta una floración virtualmente permanente de la cianobacteria potencialmente tóxica *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska), y en invierno de 2013 se determinó la presencia también de colonias de *Microcystis aeruginosa* (Kützing) (Cuadro 4). Las floraciones de la primera especie no generan espumas o acumulaciones (verdín), por lo que son difícilmente percibidas por los usuarios, aumentando el riesgo de exposición (Fig. 13). En este lago ha trabajado recientemente un grupo de investigación de la Sección Limnología de la Facultad de Ciencias, el que ha generado un informe específico dirigido a los vecinos <sup>39</sup>. En el mencionado informe se reporta concentraciones de hasta 2,1 µg/L de saxitoxina (cianotoxina producida por *Cylindrospermopsis raciborskii*), en muestras de la zona central del lago. Los autores del informe concluyen que en el centro del lago no existiría elevado riesgo para uso recreativo. Sin embargo, la biomasa de cianobacterias se suele acumular hasta 60 veces en la orilla del lago, donde es más probable el contacto directo. Adicionalmente debe considerarse la potencialidad de producir otras toxinas de estos organismos (como dermatotoxinas, entre otras).



Fig. 13.- Lago Javier. Abajo: Floración cianobacteriana evidente en la costa oeste.

El **Lago Jardín** está ubicado en Lagomar (Canelones), metros al norte de la Avenida Giannattasio a la altura del kilómetro 21. El sistema tiene valor edónico/paisajístico y es utilizado con fines recreativos (baño). No se consideran cambios futuros en estos usos. Se trata de un sistema de origen artificial con aproximadamente 6 hectáreas de superficie.

El sistema presenta un único afluente no permanente de naturaleza pluvial, ubicado al este de la Calle Del Lago. La cuenca es de pequeña extensión, actuando las Calles Buenos Aires al oeste y Juan José de Amezaga al norte como divisorias de aguas. El afluente recogería pluviales de la región al norte de Giannattasio y al este del sistema. No existe ningún tipo de efluente superficial en el sistema. En función de lo descrito, el sistema drenaría subterráneamente hacia el cercano Canal Artigas, manteniendo un nivel superficial cercano al de la napa freática. Esto determina un tiempo de residencia elevado para el agua, así como para todas las sustancias asociadas (como nutrientes y contaminantes).

Se recogieron relatos de repetidas mortandades masivas de peces, seguidas por reintroducción intencional por parte de vecinos (no se accedió a la lista especies). Está presente una grupo de aproximadamente 40 aves domésticas probablemente introducido y residente (fundamentalmente gansos, *Anser anser* y patos, *Cairina moschata*) (Fig. 14). También en junio de 2008 fueron encontrados grupos numerosos de aves acuáticas herbívoras (gallareta, *Fulica sp.*) y piscívoras (biguá, *Phalacrocorax olivaceus*).

Según el estudio realizado durante 1986, la especie fitoplanctónica mayoritaria era *Microcystis aeruginosa*<sup>3</sup>, una cianobacteria potencialmente tóxica. En mayo de 2008 se observó una floración fitoplanctónica generalizada, que por su aspecto también estaría dominada por cianobacterias. En junio de 2008, el sistema se encontraba en una fase de agua clara, con baja turbidez y cierta tendencia a la distrofia (coloración

marrón-amarillenta). En función de su elevada carga de nutrientes, el sistema fue clasificado “en un estado eutrófico avanzado” hace ya 22 años (Pintos y otros 1986).

Los sedimentos son básicamente arenosos. En algunas regiones costeras se registró coloración negra en los primeros centímetros de arena (10/06/2008), lo que es interpretado como aumento de la materia orgánica y condiciones reductoras. Es muy probable que este fenómeno sea extremo en zonas más profundas. El lago se encuentra rodeado de viviendas de las cuales algunos fondos o patios traseros terminan a las orillas del mismo. En el pasado fueron detectados y denunciados vertimientos irregulares. La población de aves domésticas probablemente contribuya significativamente al aumento de la carga de nutrientes.



**Fig. 14.-** Aspecto típico de la zona de baños del Lago Jardín de Lagomar. Izquierda: 6/2013, derecha: 8/02/2014.

El Lago denominado **Fiscal** se ubica en Paso Carrasco, cercano al Arroyo Carrasco. Su margen este ha sido objeto de urbanización recién en los últimos años. Se han registrado floraciones intensas de dinoflagelados durante invierno de 2008 (Fig. 15). En junio de 2013 el lago se encontró dominado mayormente por Clorofitas coloniales del género *Kirchneriella* y cianobacterias coloniales de pequeño tamaño del género *Aphanocapsa*. También se registró presencia de *Microcystis aeruginosa* (Kützing) en bajas densidades presente en forma de colonias de pequeño tamaño (Cuadro 4).



**Fig. 15.-** Lago Fiscal. Arriba: aspecto del lago y el agua durante una floración de dinoflagelados de invierno 2008. Abajo: aspecto del agua en junio 2013.

El lago ubicado en predio privado en la manzana al norte de la Avda. Giannattasio a la altura del **km 19** (Barrio Jardín, San José de Carrasco) no presenta urbanización sobre su franja costera. En recorrida del 4/07/2008 se registró una muy intensa floración de cianobacterias (probablemente *Microcystis aeruginosa*, una cianobacteria potencialmente tóxica) (Fig. 16).



**Fig. 16.-** Extensa e intensa floracion cianobacteriana (4/07/2008)

La costa del lago denominado de la **Caleta o Ton-Ton** es objeto de un acelerado desarrollo inmobiliario. Se dispone de publicaciones científicas donde se da cuenta de su estado eutrófico <sup>27,40,41</sup>. Según Sommaruga <sup>41</sup>, en 1986 el sistema tendría aproximadamente 8 metros de profundidad máxima. Fue clasificado como monomítico, con una estratificación térmica estable desde octubre a marzo (condiciones anaeróbicas por debajo de los 6 metros). Así mismo se presentan registros de floraciones potencialmente tóxicas (*Anabaena* sp. y *Microcystis aeruginosa*) <sup>27</sup>.

**Cuadro 4.- Especies fitoplanctónicas potencialmente tóxicas identificadas en el muestreo de 06/2013:**

***Dolichospermum circinalis*** (Rabenhorst ex Bornet et Flahault, ex: *Anabaena circinalis*)



**Toxinas:** Microcistinas (Hepatotóxica), Anatoxina-a (Neurotóxico), Saxitoxina (Neurotóxico), Neosaxitoxina (Neurotóxico)  
**Tipo de floración:** semi-acumulativa o acumulativa, evidente, se acumula superficialmente o en zonas de remanso.  
**Tipos de ambientes:** Sistemas límnicos eutróficos, con estratificación semanal a estacional. Forma floraciones comúnmente durante el periodo estival.

**Cuadro 4.- (cont.)**

***Aphanocapsa* spp.**

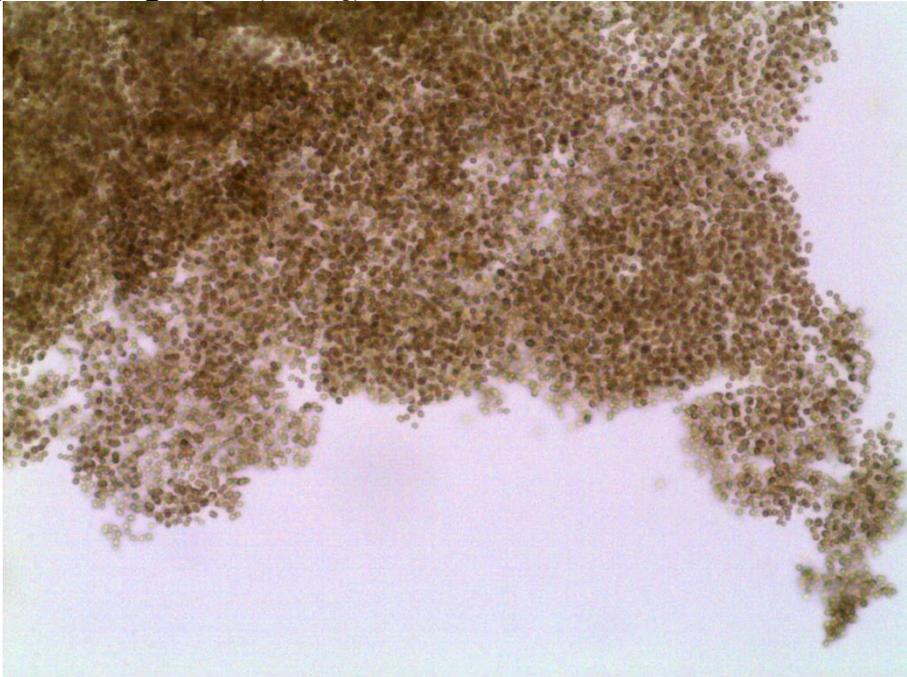


**Toxinas:** Microcistinas (Hepatotoxina), Lipopolisacáridos

**Tipo de floración:** No evidente, colonias de pequeño tamaño

**Tipos de ambientes:** Sistemas límnicos mesotróficos

***Microcystis aeruginosa* (Kützing)**



**Toxinas:** Microcistinas (Hepatotoxina)

**Tipo de floración:** acumulativa en superficie, evidente, se acumula superficialmente o en zonas de remanso con formación de acúmulos brillantes con forma de "grajea".

**Tipos de ambientes:** Registrada para Uruguay en múltiples sistemas límnicos eutróficos a hipereutróficos especialmente durante verano y otoño.

**Cuadro 4.- (cont.)**

***Cylindrospermopsis raciborskii*** (Woloszynska)



**Toxinas:** Saxitoxina (Neurotoxina), Neosaxitoxina (Neurotoxina). La especie es capaz de producir Cylindrospermopsina (Hepatotoxina), pero esta nunca fue registrada en cepas nativas.

**Tipo de floración:** dispersiva, poco evidente. Usualmente en capas inferiores en conjunto con grupos localizados en capas superiores.

**Tipos de ambientes:** sistemas límnicos someros y mezclados. Tolera bajas intensidades lumínicas.

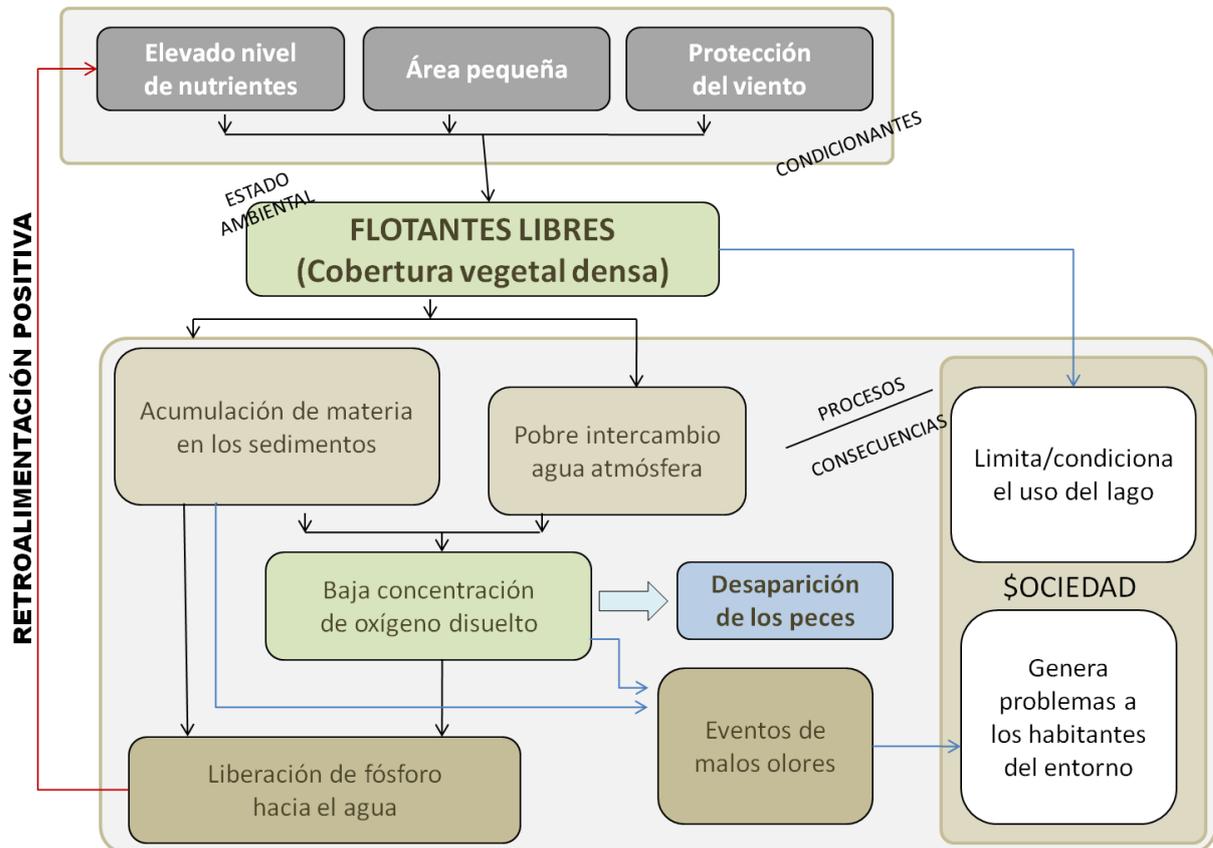
### **8.2.2. Lagos con dominio de plantas flotantes libres**

En los lagos profundos con elevada carga de nutrientes, menor área y protegidos de la acción del viento, es muy probable que la productividad primaria se exprese por el desarrollo de comunidades de plantas flotantes (camalotes, repollitos de agua, lentejas de agua, etc.) (Fig. 17). Desde el punto de vista ambiental, una cobertura extensa de plantas flotantes genera un efecto “tapa” que reduce o imposibilita mecánicamente el intercambio de oxígeno con la atmósfera y limita la producción *del fitoplancton* en función de la sombra generada. La columna de agua presenta típicamente valores de oxígeno disuelto de muy bajo a ausente durante el día y noche en toda la columna de agua. Estas condiciones ambientales limitan o imposibilitan la supervivencia de los organismos dependientes de oxígeno, por ejemplo los peces.

En una columna de agua estabilizada por la cobertura vegetal, no ocurre mezcla vertical significativa (aguas muy claras), predominando los fenómenos de deposición y captura de materia en los sedimentos (restos de plantas, residuos sólidos, nutrientes, contaminantes). En consecuencia, durante los primeros años de vida de este tipo de lagos predomina un aumento sostenido de la carga interna de fósforo, fundamentalmente retenido en los sedimentos. Ese incremento paulatino del nutriente en el lago es capaz de sostener, a posteriori, elevados niveles de nutrientes en el agua, aún muchos años después de que logran eliminarse los aportes exógenos. La liberación de fósforo desde los sedimentos hacia la columna de agua se ve determinada y favorecida por las condiciones de ausencia de oxígeno disuelto en el agua.

Los usos recreativos de lagos en este estado se ven fuertemente afectados. Además de la interferencia con la navegación y la recreación, la elevada carga de materia orgánica secuestrada en el sistema, suele favorecer el desarrollo de malos olores,

particularmente durante noches en períodos cálidos debido a la producción y liberación de Sulfuro de Hidrógeno, el gas que confiere el particular olor al huevo podrido.



**Fig. 17.- Lagos dominados por plantas flotantes libres.** Representación conceptual de los principales condicionantes, procesos y consecuencias.

El lago denominado del **Country de Lagomar**, el **lago del Duque** (Paso Carrasco) y el **lago menor cercano al Centro Cívico** se encuentran presentando estados estables dominado por plantas acuáticas flotantes (Fig. 18). En la actualidad, los tres lagos resultan virtualmente inaccesibles para la navegación y el análisis científico detallado de sus condiciones limnológicas, aunque dicho nivel de análisis no es necesario para los fines del presente informe.

El **lago del Country de Lagomar** es un lago relativamente pequeño (< 1 ha) que se encuentra ubicado en medio de una manzana fuertemente habitada y protegido por

una cortina continua de árboles en la mayor parte de su margen (Fig. 18). Además de los fondos del Country de Lagomar, cuenta en su margen noreste con una Escuela pública. La cobertura vegetal del lago tiene muchos años de historia y se encuentra en avanzado estado de sucesión biológica. Las plantas flotantes libres se han visto sustituidas por islas flotantes conformadas mayormente por plantas emergentes que se desarrollaron desde la zona litoral (particularmente *Typha* sp.) en gran parte de la superficie del lago. El sector aún dominado por plantas flotantes suele estar ocupado por camalotes (*Eichornia crassipes*) y helechos del género *Azolla*, entre otras plantas.



**Fig. 18.-** Cobertura vegetal del lago del Country de Lagomar. Izquierda: invierno 2013. Derecha: invierno 2008. Abajo: verano 2008-2009

El **lago menor cercano al Centro Cívico** y el **lago del Duque** (Fig. 19) se han mantenido al menos en los últimos 5 años en un estado dominado por plantas flotantes libres, con predominio de una densa cobertura de lemnáceas (lentejas de agua). Ambos lagos cuentan con una isla en posición aproximadamente central. El **lago menor cercano al Centro Cívico** es un lago sumamente pequeño (< 1 ha) y no presenta conectividad hidráulica superficial, por lo que el tiempo de residencia del agua (y otras sustancias) en el sistema, resultaría muy elevado. El **lago del Duque**

cuenta en las márgenes este y sur con una cortina de ejemplares de eucaliptus de gran altura que protegen el lago de la acción del viento. Se considera que estos factores resultan claves para el mantenimiento del estado dominado por plantas flotantes.



**Fig. 19.-** Fotografía del lago menor cercano al Centro Cívico. Izquierda: 2008. Derecha 2013. Medio: lago del Duque. Izquierda: fisonomía en invierno de 2008. Derecha: fisonomía del lago en invierno 2009. Abajo. Izquierda: descarte de residuos sólidos hacia el lago, 2009. Derecha: fisonomía del lago en invierno de 2013.

El entorno del **lago del Duque** resulta social y ambientalmente frágil, siendo sus márgenes históricamente utilizados para el descarte de residuos sólidos por parte de

clasificadores irregulares establecidos predominantemente en su costa este. Durante el muestreo realizado en junio de 2013 se constató una mejora muy significativa del entorno debida particularmente a la relocalización de los recicladores irregulares y la limpieza definitiva de los basurales establecidos históricamente en las márgenes. Es uno de los puntos identificados por la DGGGA sobre los que se trabaja sistemáticamente. En las márgenes norte y oeste, se encuentran los sectores con construcciones. Se obtuvo información sobre vertimiento directo sostenido de aguas servidas por parte de algunas viviendas de la zona por muchos años. Se constató la presencia de un predio recreativo de uso público, cercado hacia el lago.

Los **lagos del Parque Roosevelt** y el actualmente ubicado junto al **Centro Cívico** han presentado históricamente alternancia entre estados dominados por plantas flotantes libres y estados dominados por productores primarios microscópicos, con transiciones frecuentes entre estados.

El **lago del Parque Roosevelt** (Fig. 20) es uno de los lagos más recientes en la región (construido durante el período militar) y tiene la particularidad de no encontrarse en un entorno urbano con densidad de población media-alta. Sin embargo el lago presenta también alternancia entre estados frecuentes con dominio de plantas flotantes libres y esporádicas situaciones con dominio fitoplanctónico. Suelen dominar plantas del género *Salvinia* y *Limnobium*. El sistema tiene una isla en posición aproximadamente central y presenta una cortina de árboles continua en todo su margen. Estudios hidrogeológicos previos han encontrado elevados niveles de Hierro en el agua del lago de origen natural-geológico.



Fig. 20.- Arriba: foto satelital del Lago del Parque Roosevelt. Abajo izquierda: dominio de fitoplancton (2009). Derecha: dominio de plantas flotantes libres (2013).

El lago ubicado junto al **Centro Cívico** es un lago con una conformación peculiar en relación a los demás lagos de la región. El aspecto distintivo es la existencia de un canal que conduce los aportes superficiales de una cuenca relativamente grande y con uso tanto agrícola como urbano hacia el lago, así como un canal efluente que conduce las aguas del Lago hacia el Río de la Plata (Canal Artigas). Este hecho determina un tiempo de residencia relativamente bajo del agua en el lago y no favorece el desarrollo de organismos en suspensión, los que son arrastrados-lavados permanentemente. Se ha observado la recurrencia de plantas flotantes libres durante las últimas décadas, estado que parecería haberse consolidado durante los últimos años (Fig. 21). Esta

tendencia ambiental podría relacionarse con las modificaciones morfométricas ocurridas por el propio lago y la construcción de edificaciones altas en las inmediaciones durante los últimos años, en un escenario de mayor carga interna de nutrientes derivada de la acumulación histórica y condiciones climático-meteorológicas particulares. Durante el desarrollo de las obras previstas para la Zona B del proyecto de saneamiento, drenaje pluvial y vialidad para la Ciudad de la Costa está previsto que la superficie de los dos lagos cercanos al Centro Cívico, pasen a formar parte de un nuevo lago de mayor superficie. Se espera que dichas obras contribuyan a la sustantiva mejora de la calidad del agua.



**Fig. 21.-** Arriba: Lago del Centro Cívico dominado por camalotes. Arriba: febrero de 2007. Medio: junio de 2008. Abajo izquierda: diciembre 2012. Abajo derecha: junio 2013.

Se tienen registros de que el **lago de la Calle Calcagno y Gestido**, lago históricamente con un espejo de agua descubierto, presenta el sector NE cubierto por macrófitas emergentes (espadaña, *Typha sp.*), la cual senesce durante el invierno. En la recorrida de junio de 2008, el sistema presentaba una extensa floración fitoplanctónica, con aspecto cianobacteriano (Fig. 22). Durante la primavera-verano 2011-2012 presentó un pasaje por un estado dominado por plantas flotantes libres, momento en que la comuna intervino con maquinaria pesada en la cosecha y revirtió el sistema hacia un estado dominado por productores primarios microscópicos. Dicho lago presenta una colonia de gansos que establece aportes significativos de nutrientes y coliformes fecales al sistema<sup>16</sup>.



**Fig. 22.-** Lago de la Calle Calcagno y Gestido. Fila 1: floración fitoplanctónica (junio 2008). Fila 2: izquierda: lago dominado por plantas flotantes (diciembre 2011); derecha: Lago dominado por fitoplancton (junio 2013). Abajo: izquierda: colonia de aves de corral, factor condicionante de la calidad de agua. Derecha: fecas de las aves en la costa.

El lago lindero a la planta industrial de CICCSA presenta potentes tomas de agua con fines industriales (Fig. 1). El sistema se caracteriza por tener su superficie con una elevada cobertura de plantas acuáticas de forma casi permanente y según su contenido de fósforo total en la columna de agua su estado es hipereutrófico.



Fig. 1.- Lago de CICCSA. Arriba: cobertura de plantas flotantes en invierno 2008 (camalotes). Toma de agua de cicssa. 2ª fila: cobertura vegetal con predominio de lemnáceas (lentejas de agua), junio 2013; 3ª y 4ª fila: 3 tomas de agua situadas en diversos puntos del lago. Última foto: sector sur con talud fuertemente erosionado y grueso caño de conducción de agua a la vista.

### 8.2.3. Otros lagos

Este informe no abarca los demás lagos no mencionados, los que no presentan usos directos actuales evidentes o que resultan inaccesibles desde la vía pública.



Fig. 24.- Manzana al norte de la avda. Giannattasio a la altura del km 20 (San José de Carrasco).

Una situación particular es la del lago que existió a la altura del km 20, abarcando varios padrones privados en el centro de una manzana y ha sido casi totalmente rellenado (Figs. 24-25). Es probable que el vertimiento indiscriminado de residuos haya contaminado significativamente la napa freática a nivel local. Actualmente el sistema no presenta una calidad ambiental adecuada, siendo un foco potencial para el desarrollo de diversos vectores (mosquitos y ratas).

Considerando: 1) que una inversión tendiente a la recuperación del lago resultaría seguramente cuantiosa en comparación con el valor de los terrenos, 2) que en función de la supuestamente contaminada agua subterránea, no se podría asegurar buena calidad ambiental para el sistema, 3) que el mantenimiento del sistema en el estado actual presenta serios riesgos sanitarios, se recomienda la finalización del relleno. El

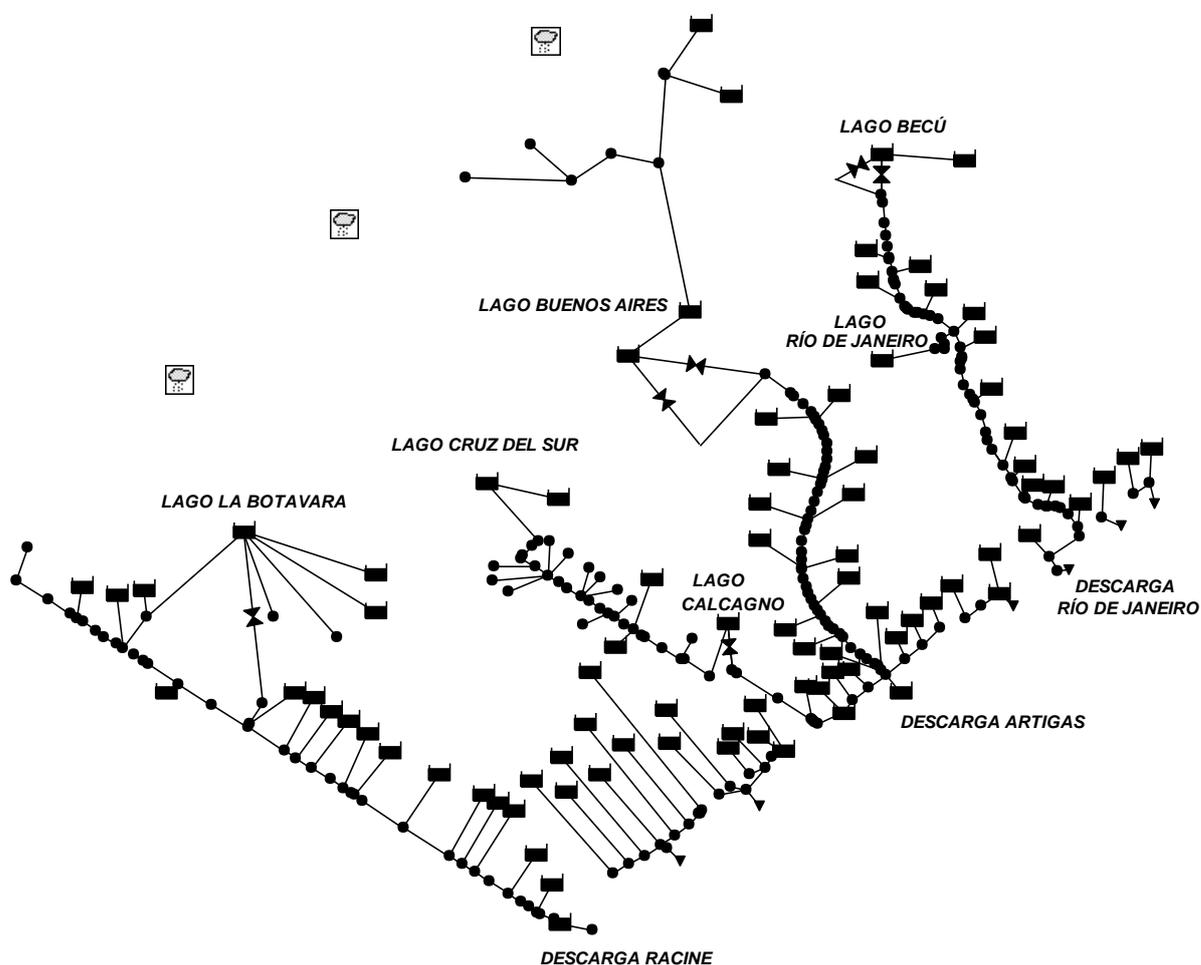
mismo debería realizarse utilizando únicamente material inerte no contaminante (ej. escombros). Superficie aproximada del lago 6 = 0,6 ha.



**Fig.25.-** Arriba julio 2008. Abajo: junio 2013.

## 9. OBRAS PREVISTAS: Zona B

En la zona B de Ciudad de la Costa se consideraron cuatro grandes subsistemas de macro drenaje que se desarrollan básicamente en dirección a la zona costera, a lo largo de la Av. Carlos Racine (Subsistema Racine), de la Av. Santiago Calcagno (Subsistema Calcagno), de la Av. Al Parque Artigas (Subsistema Artigas), y de las Av. Ricardo Becú y Bulrich (subsistema Becú) (Fig. 26). Estos subsistemas están constituidos en general por entubamientos, canales a cielo abierto, y lagos existentes y/o proyectados.



**Fig. 26.-** Esquema de los cuatro sistemas de macrodrenaje de la Zona A de Ciudad de la Costa (fuente). De izquierda a derecha (oeste a este), subsistema Racine, subsistema Calcagno (el lago denominado Cruz del Sur ha sido referido en este informe como lago del km 19,5 de la Avda. Giannattasio), subsistema Artigas (el Lago denominado aquí Buenos Aires, ha sido referido en el presente informe como Lago del Centro Cívico) y subsistema Becú (el lago Becú es un lago proyectado y el Lago Río de Janeiro ha sido nombrado como lago del Country de Lagomar en el presente informe).

El **subsistema Racine** incluye al **lago Botavara** y tiene un área total de 520 ha de las cuales 375 ha son exteriores al área de proyecto de drenaje pluvial (parte del Aeropuerto Internacional de Carrasco, predios entre el Aeropuerto y la Zona delimitada como B, y en menor parte del proyecto de drenaje de Accesos Este a la Ciudad de Montevideo). El **Botavara** aporta un volumen útil de laminación para lluvias de recurrencia 10 años ( $337.500 \text{ m}^3$ ), subiendo el nivel del pelo de agua 0,45 m, recibiendo caudal de 408 ha, estando únicamente 33 ha incluidas dentro del área del proyecto de drenaje pluvial. La cuenca de aporte proveniente del área de estudio ingresa su caudal al lago a través de un entubamiento que se ubica en la zona noroeste del mismo. El resto de la cuenca de aporte, ingresa su caudal por escurrimiento natural, y por lluvia directa sobre el espejo de agua. La descarga del lago se efectuará en el mismo emplazamiento de la actual salida. Se dispondrá de una estructura de control para lluvias de 10 años de período de retorno que consta básicamente de un vertedero de pared delgada de 1,40 m de longitud, y en la misma se instalarán rejas de limpieza manual para retención de basura.

A posteriori de la publicación del Borrador de Proyecto ejecutivo de saneamiento, drenaje pluvial y vialidad en Ciudad de la Costa, Zona B, Memoria de drenaje pluvial 2008, y en función de que la mayor parte del área de aporte al Lago Botavara era externa al proyecto, se desarrollaron dos consultorías realizadas por CSI. En el documento titulado Plan Maestro Lago Botavara (2009), se planteó un conjunto de recomendaciones, acciones a emprender y de definiciones de carácter estratégico a adoptar, entre los que se incluyó un Plan de Manejo Ambiental del Lago y un Protocolo de Usos Recreativos, Náuticos y Deportivos, para públicos y privados. El mismo documento declara que el desarrollo de dichos aspectos resulta pertinente y necesario, aunque superan los límites impuestos para el proyecto respectivo, por lo que deberán ser considerados por las autoridades y técnicos competentes. A posteriori, el Plan de acción Lago Botavara <sup>42</sup> tuvo como objetivo general garantizar la

correcta evacuación de las aguas de lluvia provenientes de las nuevas obras de accesos Este a Montevideo y desde el Aeropuerto Internacional de Carrasco, compatibilizando las soluciones proyectadas con el desarrollo urbanístico pensado para dicha área.

En el momento del cierre del presente informe se están ejecutando obras de construcción de un parque lineal en el predio ubicado en la calle Kennedy, margen sur del lago La Botavara. Su objetivo es ser un espacio público con áreas verdes, que integre la zona y la comunidad. El parque tendrá una extensión de 600 metros de largo, 14 metros de ancho e incluirá una plaza central de 850 m<sup>2</sup> ([http://www.consorciocanario.com.uy/uc\\_95\\_1.html](http://www.consorciocanario.com.uy/uc_95_1.html)).

El **subsistema Calcagno** involucra toda el área de aporte al entubado que descarga en la faja costera a la altura de la calle Cielo Azul. Este subsistema tiene un área total de 114 ha, de las cuales 62 ha están fuera del área de proyecto de drenaje pluvial. Se caracteriza por tener dos lagos existentes, el del km 19 de Avda. Giannattasio (denominado en el proyecto original como Cruz del Sur) y el de la calle Calcagno y Gestido, una conducción que vincula ambos y otra que vincula el lago Calcagno con la Faja Costera. El primero de ambos lagos se encuentra en un predio privado en la cabecera del Subsistema de macrodrenaje. Se trata de un lago existente con un espejo de agua de 14,6 ha y un volumen útil de laminación para lluvias de 10 años de 74.500 m<sup>3</sup>, subiendo el pelo de agua 0,51 m. Recibe caudal de 31 ha incluidas dentro del área de estudio y de 62 ha exteriores al mismo. La descarga se ubica al sureste del lago.

El Lago Calcagno tiene un espejo de agua de 1,0 ha y aporta un volumen útil de laminación para lluvias de 10 años es de 9.000 m<sup>3</sup>, subiendo el espejo de agua 0,90 m por encima del nivel permanente. Los límites del lago se ajustan manteniendo el espejo de agua actual, y descendiendo el nivel actual del pelo de agua 0,70 m. Recibe

el caudal proveniente del lago Cruz del Sur y de la cuenca de aporte de la Av. Santiago Calcagno ubicada al norte de este a través de un entubamiento que ingresa desde la Av. Santiago Calcagno.

El **Subsistema Artigas** involucra a toda la cuenca de aporte a la descarga del canal Artigas la cual se ubica en Avenida al Parque Artigas y la Rambla Costanera. Se trata de una cuenca de 594 ha de las cuales 390 ha están fuera del área de proyecto. El subsistema se caracteriza por contar con el lago del Centro Cívico, que recibe el aporte de la parte alta de la cuenca (428 ha) y una conducción de importantes dimensiones, actualmente canal a cielo abierto, que vincula el lago con la faja costera. Se consideró imprescindible la ampliación del lago para asegurar la correcta evacuación hacia el Río de la Plata, por lo que se realizó el análisis de alternativas donde se plantearon diferentes escenarios preliminares del drenaje aguas abajo del lago, en función del área de inundación del mismo. Entre las mismas se habría optado por la alternativa en la que se utilizan dos zonas de inundación, ampliando el lago de 3,3 ha a 6,3 dentro del mismo predio de propiedad departamental, y utilizar 3,2 ha adicionales al norte (Fig. 27). Las alternativas mencionadas en el documento de 2008 no incluirían en la ampliación la captura del área del lago pequeño adyacente al Centro Cívico (ver sección 8.2.2).



**Fig. 27.-** Modificaciones previstas en los lagos de las inmediaciones el Centro Cívico.

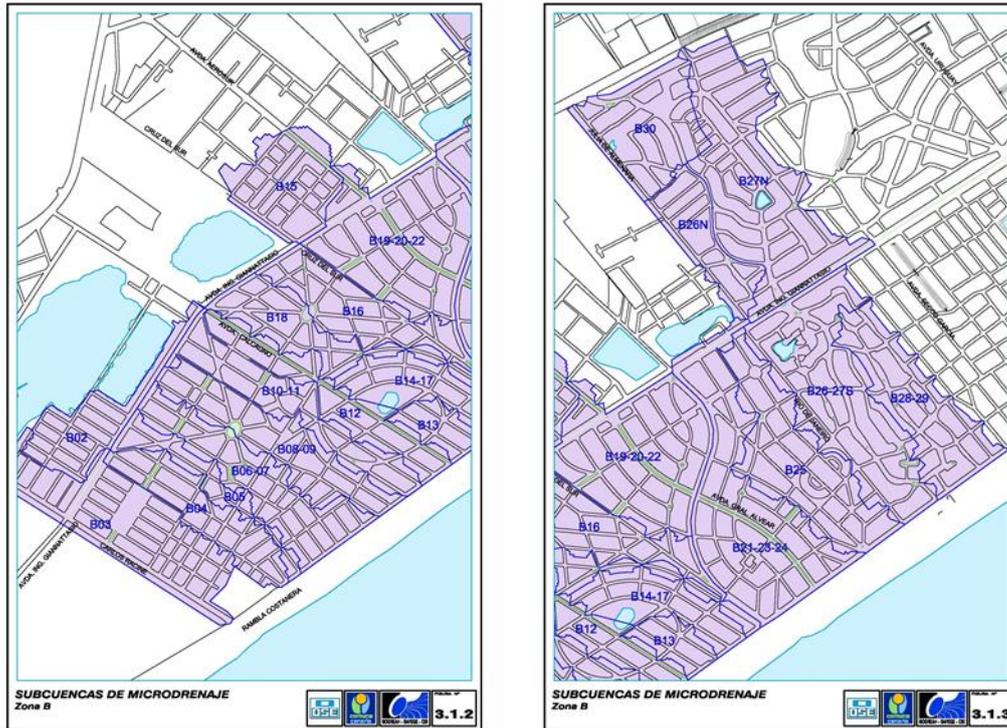
La línea de costa oeste del lago del Centro Cívico fue modificada durante el período de construcción del Centro por extracción de áridos. El lago recibe el caudal proveniente de 390 ha externas al área de proyecto, y 37,5 ha incluidas en el mismo. El principal punto de ingreso al lago es la cañada Almenara que se ubica en el sector norte del lago. Cabe destacar que la mayor parte de la cuenca externa, e inclusive la cuenca comprendida en el proyecto, drenan hacia dicha cañada que finalmente desemboca en el lago. Se prevé que el lago tenga un nivel permanente a cota 6,00 m, la cual coincide con el nivel actual, previéndose un nivel máximo de 7,70 m para lluvias de 10 años de periodo de retorno. La descarga del lago se realizará a través de una estructura especial, un vertedero de pared delegada de 14,0 m de longitud calculado para lluvias de 10 años de período de retorno, incluye un orificio de 0,40 x 9,00 m. que es el control para lluvias de período de retorno de 2 años. Se instalarán además rejas de limpieza manual, de 8 cm de separación entre barras, para retención de basura y diseñadas para eventos de 10 años de período de retorno. Se prevé un sistema de vertederos adicionales como elementos de seguridad en caso de obstrucción de las rejas (ej. por residuos o plantas flotantes). La estructura de descarga se ubica en las inmediaciones de la actual salida del lago. Las inmediaciones de la estructura de

salida del lago se protegen con enrocados de forma de evitar la socavación de las mismas.

Se denomina **subsistema Becú** a la cuenca de aporte al colector que descarga en la faja costera a la altura de la Av. Bulrich. Se trata de una cuenca de 143 ha, ubicada enteramente en el área de proyecto y consta de una conducción principal, un lago nuevo proyectado (lago Becú), y una conducción secundaria que sirve de desagüe para lago del Country de Lagomar.

Es un lago proyectado que se ubica en un predio privado y abarcaría una superficie de 0.5 ha. El volumen apto para laminación es de 12.000 m<sup>3</sup> previéndose una variación entre el nivel máximo y el nivel permanente de 1,32 m. El lago tendrá un nivel permanente a cota 13,0 m y alcanzará un nivel máximo para lluvias de 10 años de periodo de retorno de 14,32 m. La profundidad de excavación prevista es de hasta 3.00 m. Este lago del Country de Lagomar no tiene en la actualidad descarga superficial, por lo que ocasiona la inundación de los predios cuyos fondos dan hacia él. A tales efectos se proyectó un desagüe a dicho lago que lo vincule al colector de la Av. Becú.

Debe tenerse en cuenta que el lago Jardín de Lagomar, la mayor parte de su cuenca de aporte, así como la mayor parte de la cuenca de los lagos ubicados en la Zona B al Norte de la Avda. Giannattasio no se encontraron incluidas en el proyecto de saneamiento, drenaje pluvial y vialidad para la Ciudad de la Costa, lo que establece la necesidad de estudios complementarios (Fig. 28).



**Fig. 28.-** Ubicación de los lagos –Zona B y cobertura del proyecto de saneamiento, drenaje pluvial y vialidad.

## 10. LAGOS NUEVOS de CIUDAD de la COSTA: ZONA A

En la zona A existen tres grandes subsistemas de macro drenaje: dos de ellos se desarrollan a lo largo de la avenida Uruguay, uno al norte de la calle Víctor F. Prieto (subsistema Lago Central), y el otro al sur (subsistema Uruguay Sur) (Fig. 29). El subsistema Lago Central incluye en su cuenca al Lago Real de Azúa y escurrirá mediante entubamientos cerrados por avenida Uruguay, desde la calle de los constituyentes hasta la calle Víctor F. Prieto, conduciendo su caudal hasta el lago Central. El tercero de ellos está constituido por el grupo de lagos Hípico, Secco García I, y Secco García II, y los entubamientos que los conectan (subsistema Secco García). Aguas abajo de los sistemas del Lago Central y Secco García, el caudal es conducido hasta la calle Lanzarote, por donde desciende hasta la faja costera. No se incluye información adicional sobre las cuencas menores con drenaje directo hacia la costa, por no ser relevante en el marco del presente informe.

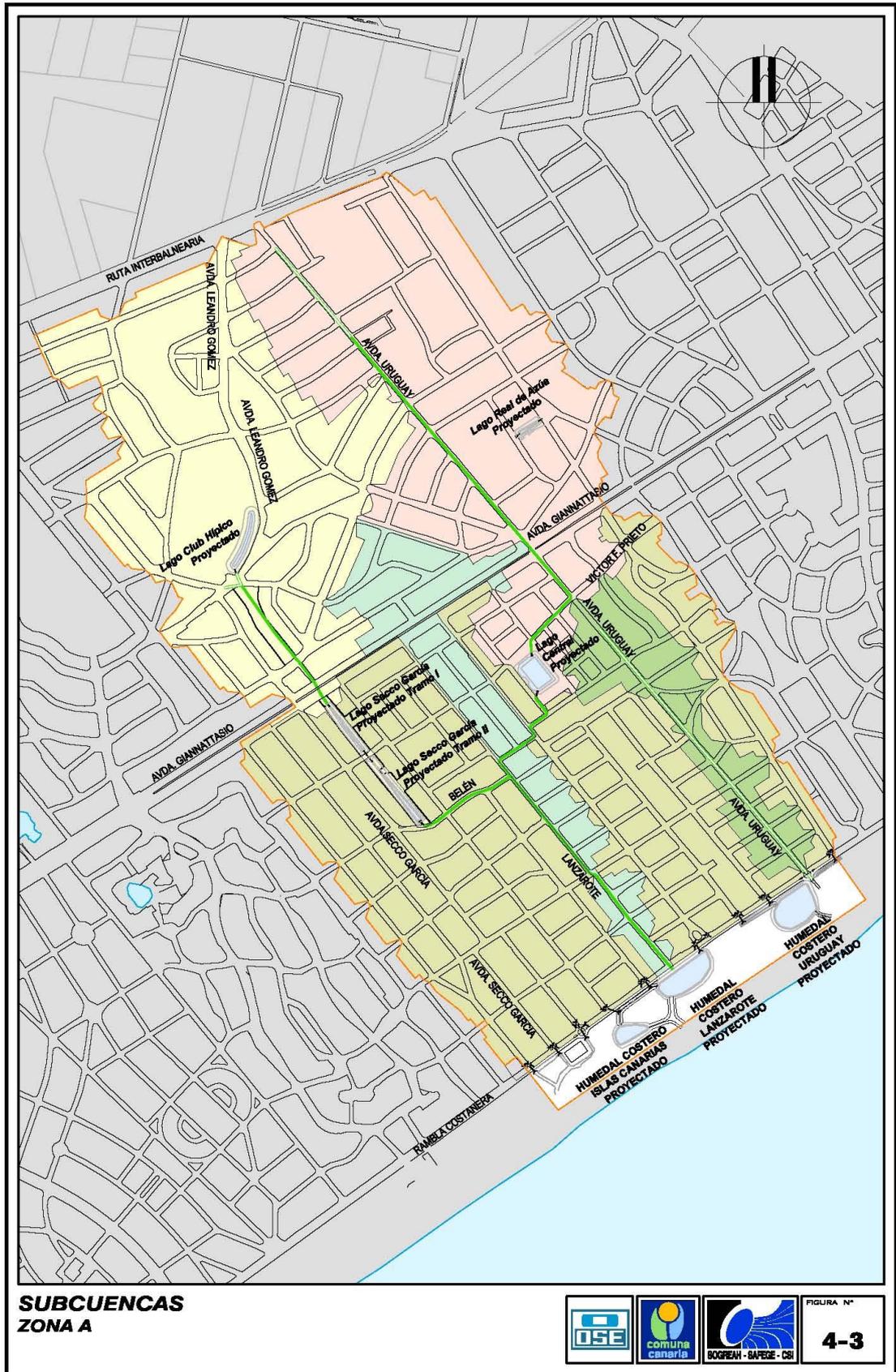


Fig. 29.- Ubicación de los lagos de la zona a de Ciudad de la Costa.

## 10.1. Lagos del Subsistema Lago Central

---

En la manzana donde se ubicará el Lago Central se ha instalado el obrador (Fig. 30) y se excavó un sector menor para que participe en la laminación de pluviales durante el período previo a la construcción del lago. No ha comenzado la construcción del lago Real de Azúa.

**El lago Central** se ubicará en un predio público. La excavación ocupará un área de 1.26 ha, y el resto de área se acondicionará urbanísticamente. El volumen útil de laminación previsto es de 23.750 m<sup>3</sup>. La profundidad a excavar es del orden de 5.60 m. El principal caudal que recibirá el Lago Central, es el proveniente del sector norte (correspondiendo a una cuenca de 115 ha), aunque también recibirá el proveniente de la cuenca cercana al lago, a través de tres alcantarillas (que integran una cuenca de 10 ha), una por el sector oeste en la esquina de las calles Victor F Prieto e Isla de Mallorca, otra por el sector noreste en la intersección de las calles Central y Menorca, y la tercera por el sector este en la esquina de las calles Central y Continuación de Ibiza. En cada una de las descargas se protegen los taludes con rocas, de modo de evitar erosión.

La salida consta de un orificio rectangular de 0.50 m de altura por 1.60 m de ancho que controla el caudal de eventos de crecida con un período de retorno 2 años. A su vez se dispone de un vertedero de 4.00 m de longitud que permite evacuar el caudal para tormentas de 10 años de período de retorno. Este lago consta de rejas para retención de basura, de limpieza manual, ubicadas aguas abajo del orificio, y del vertedero. Por otra parte la zona de rebose se dispone hacia la calle Isla de Mallorca. Esta zona de rebose funcionará como elemento de seguridad, para eventos de período de retorno superiores a 10 años, o en el caso de obstrucción, ya sea en el pluvial proyectado o en las rejas.



**Fig. 30.-** Ubicación del lago central y comienzo de obra: invierno 2013

El **Lago Real de Azúa** permitirá realizar un trasvase de subcuencas desde el sector noreste de la zona A, a través de cunetas que finalmente conducirán hacia el Colector Uruguay. El mismo se ubicará en predio público de 0.35 ha. El espejo de agua máximo será de 0.19 ha, y el resto del área será acondicionará urbanísticamente. El volumen apto para laminación es de 1400 m<sup>3</sup>. La cuneta tipo C que escurrirá por la acera Oeste de la calle Real de Azúa descargará en un canal que ingresará al lago. En la descarga

de este canal al lago, se dispondrá de un enrocado de protección contra las posibles erosiones. La salida constará de una alcantarilla que oficiará de control, para la laminación en el lago la cual se diseñó para una tormenta de 2 años de período de retorno. La zona de rebose se diseñó para una tormenta de 10 años de período de retorno. Esta zona de rebose es básicamente una depresión en el terreno, que permite erogar los caudales excedentes hacia la calle Delmira Agustini.

## **10.2. Lagos del subsistema Secco García**

---

A fines de 2013 los lagos Hípico, Secco García I y Secco García II ya habían sido construidos, aunque se encontraban aislados hidráulicamente del sistema de macrodrenaje. Dicha conexión ocurriría durante el 2014.

El **Lago Hípico** se ubica en predios de propiedad departamental (Fig. 31). La excavación ocupa un área de 1.10 ha y el volumen útil de laminación es de 20.000 m<sup>3</sup>. La profundidad excavada es de hasta 4.00 m. Se proyectaron dos entradas al lago. Ambas se ubican sobre la Av. Leandro Gómez, una en el cruce con la calle José Leguisamo (entrada principal), y la otra en el cruce con la calle Eduardo Mateo (entrada secundaria). Ambas entradas son canales rectangulares cerrados, que reciben los caudales de las cunetas aguas arriba, y lo conducen hacia el lago. Aguas abajo de los canales, en la descarga al lago, se coloca un enrocado de protección contra posibles erosiones.

La salida consta de un orificio rectangular de 0.4 m de altura por 0.4 m de ancho que controla el caudal de eventos de período de retorno 2 años. A su vez se dispone de un vertedero de 2.0 m de longitud que permite evacuar el caudal para tormentas de 10 años de período de retorno. Tanto el caudal de 2 como el de 10 años es conducido por los colectores ubicados aguas abajo. Este lago consta, en la estructura de salida, de

rejas para retención de basura. Las mismas son de limpieza manual y se ubican aguas abajo del orificio y del vertedero. Aguas abajo de las rejas el agua escurre por conducciones cerradas hasta el siguiente lago (Secco García Tramo I). Las rejas fueron proyectadas para crecidas con un período de retorno de 10 años, y los entubamientos para eventos con un período de retorno de 2 años, verificándose que no existiesen desbordes para período de retorno de 10 años. Por otra parte se dispone de una zona de rebose hacia la Av. Leandro Gómez. Esta zona de rebose funcionará como elemento de seguridad, para eventos de período de retorno superiores a 10 años.

Durante 2013 el lago presentó una variación importante de turbidez, una elevada turbidez inicial resultante de los sedimentos en suspensión derivados del trabajo de excavación. En junio ya se encontraba en un estado de aguas claras, sin cobertura vegetal asociada y presentaba bajo tenor de oxígeno disuelto en superficie (>25% de saturación) y concentración de fósforo total correspondiente a un estado de eutrofia-hipereutrofia. Para agosto el lago había elevado mucho su turbidez por desarrollo de fitoplancton (aguas verdes). El sistema presentó condiciones concordantes con su historia reciente y la ausencia temporal de conexión hidráulica superficial con el sistema de pluviales, lo que determina un elevadísimo tiempo de residencia del agua.



**Fig.31.-** Lago Hípico. Arriba: junio 2013. Abajo: agosto 2013.

El **Lago Secco García I** se ubica en un predio público de 0.83 ha. La excavación del lago ocupa un área de 0.60 ha, y el resto del área se acondicionará urbanísticamente (Fig. 32). El volumen apto para laminación es de 5800 m<sup>3</sup>. La profundidad a excavar fue de hasta 3.50 m.

Este lago recibe el caudal proveniente del lago Club Hípico, y de la red de micro drenaje ubicada aguas abajo de este último. La sección de entrada es de 1,50 m de alto por 2,80 m de ancho. La entrada al lago se protege con rocas, de modo de evitar posibles erosiones.

La salida consta de un orificio rectangular de 0.5 m de altura por 2.5 m de ancho, que sirve de control del caudal de salida para eventos de período de retorno 2 años. A su vez se dispone de un vertedero de 12 metros de longitud, de pared delgada que permite controlar y evacuar el caudal de eventos de 10 años de período de retorno. Aguas abajo de estos dispositivos, se dispone un canal cerrado, rectangular de 1.5 m de altura por 2.5 m de ancho diseñado para 10 años. Este canal cerrado conecta el lago con el siguiente aguas abajo (Secco García Tramo II).

Como elemento de seguridad se proyecta una zona de rebose. Esta zona de rebose vierte hacia la calle Mar de Ajó, con cota inferior a la de los terrenos linderos, de forma de protegerlos contra inundaciones.

El **Lago Secco García II** se ubica en un predio público de 1.40 ha (Fig. 32). La excavación del lago ocupa un área de 0.87 ha, y el resto del área se acondiciona urbanísticamente. El volumen apto para laminación es de 7.500 m<sup>3</sup>. La profundidad excavada fue de hasta 4.50 m.

El lago Secco García tramo II, recibe el caudal proveniente del lago Secco García tramo I a través de un canal rectangular de 1.50 m de altura por 2.50 m de ancho. La entrada del lago se protege de la erosión con enrocado.

La salida consta de un vertedero frontal de pared delgada de 4.60 m de longitud, que permite mantener el nivel del agua permanente en 6.50 m. El vertedero descarga a un

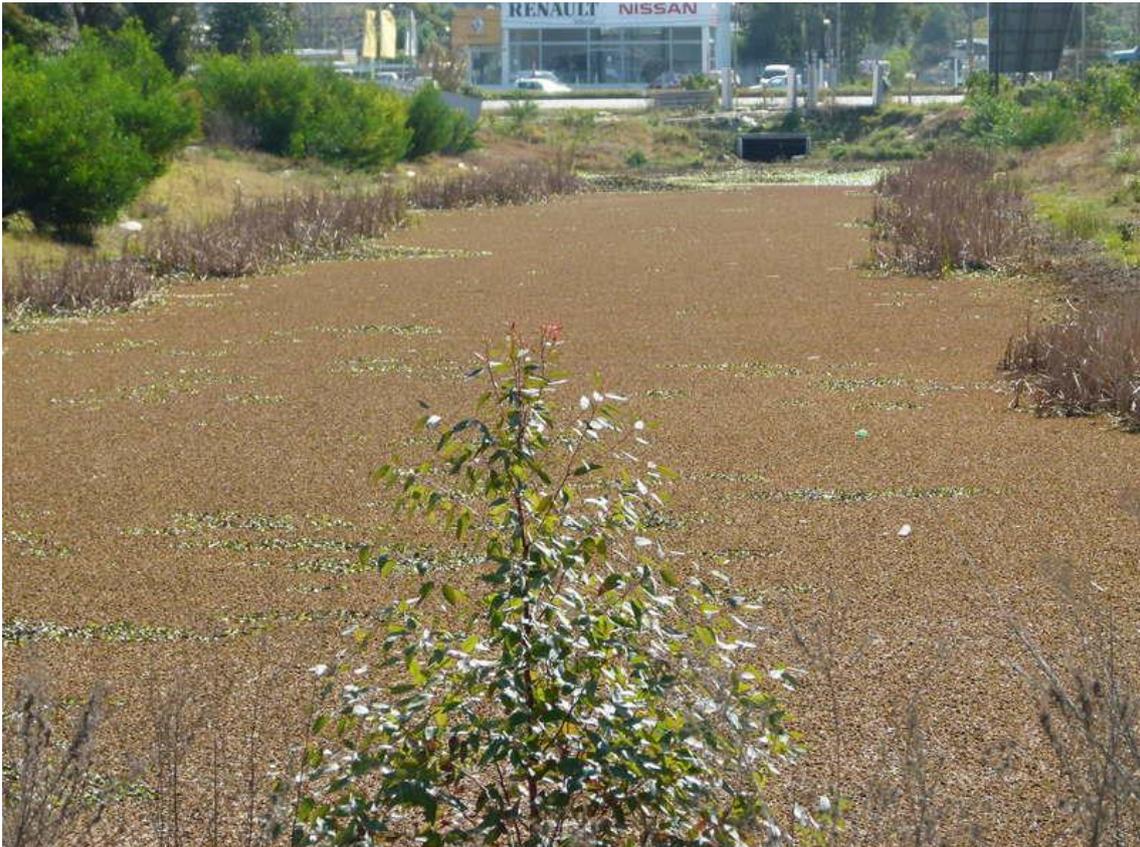
canal abierto de 5.00 m de ancho que consta de rejas para retención de basura. Tanto el vertedero como el canal fueron proyectados para evacuar caudales de 10 años de período de retorno. Aguas debajo se verificó que no existiese desborde para un período de retorno de 10 años. Por otras parte se dispone de una zona de rebose hacia la calle Belén. Esta zona funcionará como elemento de seguridad, para eventos de período de retorno superiores a 10 años.

Todos los lagos recientemente construidos en la zona A de Ciudad de la Costa, así como los proyectados son lagos someros (<5m) (Tabla 2) y se deduce de la planimetría una variabilidad temporal relevante.

El lago **Secco García I** (SGI) presentó una densa y total cobertura de plantas flotantes dominada por lemnáceas y *Azolla* sp. El lago **Secco García II** (SGII) presentó una cobertura parcial de plantas flotantes que se disponen en el sistema en función de los vientos imperantes. Se registraron relativamente bajos tenores de oxígeno disuelto en superficie (44 y 55%, respectivamente) y niveles de fósforo total correspondientes a la mesotrofia para el SGI e hipereutrofia para el SGII. Ambos sistemas presentaron condiciones concordantes con su historia reciente y la ausencia temporal de conexión hidráulica superficial con el sistema de pluviales, lo que determina un elevadísimo tiempo de residencia del agua.

**Tabla 2.-** Profundidad mínima de los lagos en condiciones de base.

<b>Lago</b>	<b>Z permanente (m)</b>
Hípico	2
Secco García I	1,4
Secco García II	1
Real de Azúa	1
Central	2



**Fig. 32.-** Lagos Secco García junio 2013. Arriba: Lago Secco García i. Abajo: Lago Secco García ii.

## 11. ESTABLECIMIENTO DE ESCENARIOS MÁS PROBABLES

---

Al encontrarse insertos en la trama de drenaje pluvial urbana, de rutas, industrias y algunos de ellos de cuencas con uso intensivo agrícola, los lagos del sector suroeste del departamento han estado, y se encuentran sujetos, a presiones de origen antrópico como vertimiento de efluentes cloacales, derrames de hidrocarburos, tóxicos, residuos sólidos, escorrentía superficial y aportes subterráneos de nutrientes, aporte de coliformes fecales y patógenos, entre otras perturbaciones. Ninguno de estos factores resulta ajeno al de los lagos urbanos de todas partes del mundo.

**Los sistemas de la Zona B** son profundos (> 5m) y presentan diversos usos, incluyendo desde recreación por contacto directo (baño, navegación, etc.), al industrial (particularmente en la zona de Paso Carrasco). Muchos de los lagos poseen un importante valor inmobiliario y presentan nulo interés para la conservación biológica <sup>43</sup>.

Existen evidencias suficientes y consenso en la comunidad científica de que **el problema ambiental generalizado en estos sistemas es la eutrofización** (ver sección 8.1). Estos lagos en estado eutrófico o hipereutrófico, deben ser entendidos como **sistemas ambientalmente degradados**, con un franco deterioro durante las últimas décadas y pasibles de transitar por estados de muy baja calidad de agua asociados al desarrollo exacerbado de productores primarios. Son sistemas poco diversos, donde ocurren mortandades masivas recurrentes de peces y otras especies sensibles, eventos de intensos malos olores, y presentan elevada probabilidad de desarrollo de floraciones potencialmente tóxicas, e interferencias significativas con diversos usos de los recursos acuáticos. Lamentablemente no existe conciencia social sobre las características ni la magnitud de esta problemática, lo que incrementa aún más los riesgos.

Aún los lagos más aislados del entorno urbano (ej. Parque Roosevelt, o lago al norte de Giannattasio km19) presentan claros síntomas de eutrofización, lo que se considera

consecuencias derivadas de actividades en el territorio realizadas en sectores relativamente distantes. Estos efectos diferidos en el espacio (y también en el tiempo) derivan de la conjunción de 2 factores fundamentales. El primero es la intensa conectividad subterránea existente entre los lagos. La misma es posible gracias a que son sistemas profundos, insertos en una matriz muy porosa con elevada conductividad hidráulica y una napa freática muy superficial. El segundo factor que contribuye al detrimento generalizado de la calidad de agua deriva de que son sistemas profundos (con elevado volumen para su área) y presentan mínima o ausente conectividad hídrica superficial, lo que determina muy elevados tiempos de residencia del agua, la acumulación de nutrientes y contaminantes en los lagos no posibilita un régimen de disturbio tal que permita la pérdida de productores primarios (ni formas microscópicas, ni macroscópicas). Casos extremos son los lagos con aportes superficiales significativos y sin efluentes superficiales (ej. Lago Jardín de Lagomar y lago al norte de Giannattasio km19).

Las obras de saneamiento para Ciudad de la Costa, reducirán los aportes de nutrientes y contaminantes a los lagos, lo que resulta un gran avance para detener la llegada de más nutrientes a los sistemas. Sin embargo, la magnitud de la reducción de estos aportes resulta incierta en función de que la mayoría de los lagos de la Zona B se encuentran en cuencas no cubiertas por las obras (Fig. 1) y bajo un proceso de densificación. Los nutrientes acumulados en los pozos negros de toda la región urbana y suburbana seguirán siendo transportados hacia los lagos por muchos años, quizás décadas. Adicionalmente, la materia ya acumulada en los lagos establece una condición resistente al cambio y resiliente frente a disturbios como la eliminación del aporte externo de nutrientes asociado a las obras de saneamiento. La conexión de los lagos existentes al sistema de macrodrenaje pluvial podrá generar efectos encontrados, aumentando la llegada de nutrientes y contaminantes desde el entorno (aspecto que no contribuye a la mejora de calidad de agua), mientras disminuye el

tiempo de residencia del agua en los lagos (aspecto que contribuye a la mejora de calidad de agua). En el actual escenario de cambio climático es esperable a mediano-largo plazo la intensificación de la problemáticas derivadas de la eutrofización (los sistemas más cálidos son más productivos). En función de lo antedicho, no son esperables mejoras significativas en la calidad de agua a corto-mediano plazo de no aplicarse medidas de manejo internas (aislamiento químico de la carga interna de nutrientes, cosecha de vegetación acuática, biomanipulación, entre otras; ver sección 14). Todos los lagos presentan, podrán presentar -y muy probablemente lo harán-, síntomas de eutrofización de forma permanente o temporal, cuando se establezcan las condiciones adecuadas. Resulta imprescindible avanzar en la gestión ambiental de forma de lograr modificar la condición ambiental de los sistemas y mejorar la salud ecosistémica, disminuir los riesgos y eliminar la ocurrencia, o al menos disminuir la frecuencia, de eventos con mala calidad de agua. Sólo así podrán los lagos integrarse al funcionamiento urbano como espacios seguros de uso público, más allá de ser piezas fundamentales en el sistema de macrodrenaje pluvial.

En función de su importante profundidad, es esperable que los lagos presenten estratificación térmica al menos cada año durante la temporada cálida. Este fenómeno es causante del déficit de oxígeno en la capa más profunda (ver sección 8.1). Esta configuración condicionaría la liberación de fósforo reactivo soluble desde los sedimentos los que, en el caso de los lagos dominados por fitoplancton, alcanzarían la zona superior-iluminada (eufótica) durante los eventos de mezcla post-estival. Es esperable entonces, que durante marzo-abril-mayo los lagos pasen períodos de intensificación de floraciones fitoplanctónicas por incremento de los nutrientes disponibles en agua. Los períodos cálidos del año promueven también el desarrollo de floraciones debido al aumento de la productividad con la temperatura, en conjunto con la mayor insolación. Los lagos dominados por elevadas densidades de plantas flotantes es muy probable que presenten desoxigenación permanente en

prácticamente toda la columna de agua, siendo raros o estando ausentes, los eventos de mezcla vertical.

Los eventos de generación y emisión de **malos olores**, se ven promovidos por los eventos de déficit de oxígeno en el agua y aguas con elevadas temperaturas. La conjunción de estos factores establecen las condiciones para el desarrollo de bacterias productoras de sulfuro de hidrógeno.

Los eventos de mortandad masiva de peces, derivados del estrés ambiental generado por la eutrofización provocan la desaparición de las especies más sensibles, las que generalmente presentan un rol trófico piscívoro. Esta estructura biológica condiciona la disminución de la calidad de agua y se constituye como uno de los principales mecanismos de resistencia frente a intervenciones para la rehabilitación o recuperación (Cuadro 3).

En función del conocimiento generado para los lagos de la región, es razonable esperar que los **lagos de la Zona A** presenten niveles de fósforo suficientes para ser clasificados como eutróficos. Esto establece riesgos derivados similares a los de los lagos de la zona B, aunque el funcionamiento sistémico resultaría radicalmente diferente. En primer lugar debe considerarse que los **lagos de la Zona A** han sido diseñados como lagos someros (profundidad mayor 2 m), por lo que es probable que sólo presenten estratificación térmica efímera y régimen polimíctico (mezcla frecuente, ver sección 8). Adicionalmente, la mayor parte de los lagos de la Zona A (Hípico, Secco García y Real de Azúa) presentan morfometrías con una elevada relación largo: ancho y un baja relación volumen: área, lo que asegura que para un momento dado, no existan grandes diferencias en el tiempo de residencia del agua entre diferentes puntos de cada lago. Este hecho favorecerá los eventos de lavado y pérdida de materia (nutrientes, contaminantes y biomasa) del sistema asociados a las lluvias, los que podrán generar diferentes niveles de reseteo del sistema. Por otra parte, la

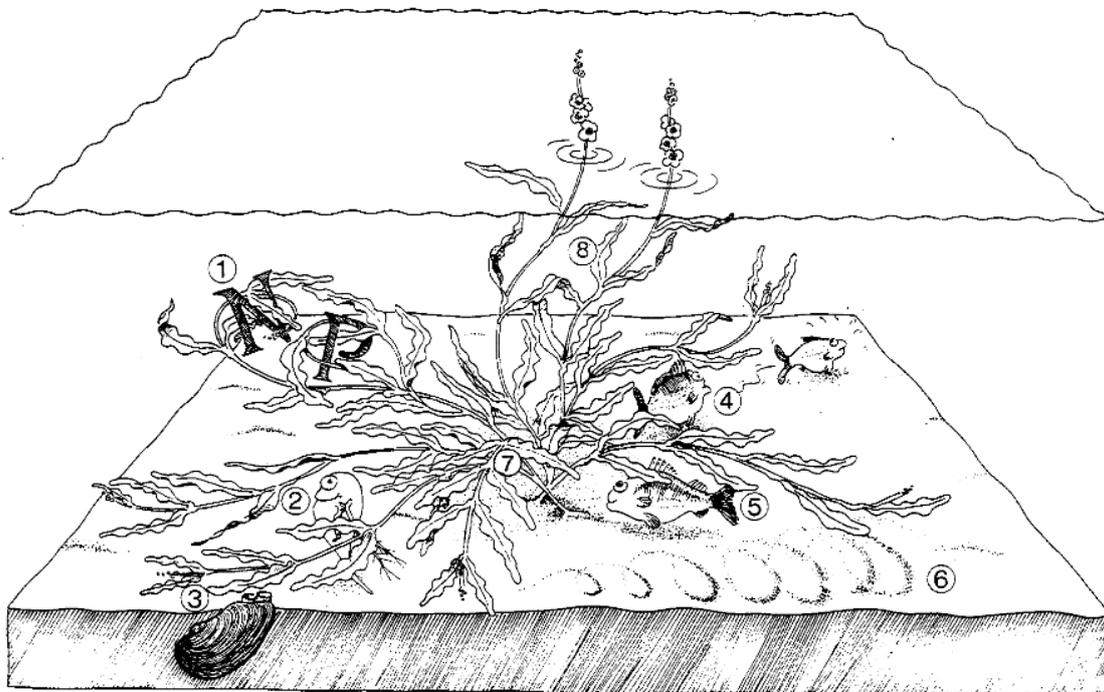
elevada variabilidad intra e interanual en el régimen de precipitaciones típico de la región, se configura como uno de los mayores condicionante para la calidad de agua de estos lagos, esperándose un decaimiento de la salud ambiental en los meses con menores precipitaciones acumuladas, mayor temperatura y evapotranspiración. En consecuencia se espera que los sistemas de la Zona A resulten más dinámicos (mayor variabilidad en el tiempo) que los de la Zona B, lo que establece condicionantes para el diseño de un sistema de monitoreo ambiental. Por su menor volumen y el contexto fuertemente urbanizado en el que se encuentran, estos lagos de la Zona A presentan mayor riesgo de contaminación fecal.

El balance de masa para cada lago de la Zona A, y consecuentemente su capacidad de acumulación de materia, será fuertemente dependiente de la variabilidad climática, y en sus primeros años de vida del nivel de conectividad con la red de macrodrenaje pluvial. Por último las características del diseño de la obra de descarga por desborde de los lagos, favorecerá la decantación de material particulado en la zona cercana a la mencionada estructura.

Otro aspecto distintivo en el funcionamiento de los lagos someros es que existe la posibilidad de que la luz (*PAR* o radiación fotosintéticamente activa) alcance los sedimentos y posibilite la proliferación de plantas o macroalgas sumergidas o con hábito emergente (Fig. 33). Si bien los estados dominados por macrófitas sumergidas se asocian a buena calidad de agua y alta biodiversidad (Fig. 34), en los casos que se alcanzan coberturas muy importantes, pueden interferir con el funcionamiento hidráulico del sistema, disminuir su valor paisajístico y facilitar la generación de malos olores cuando las condiciones resulten adecuadas. La transparencia del agua será el determinante fundamental en el control del desarrollo de macrófitas enraizadas, y estará regulada por el arrastre de material particulado desde las cuencas, la resuspensión por la acción de los vientos y el desarrollo de floraciones fitoplanctónicas o de plantas flotantes libres (sombreamiento).



**Fig. 33.-** Sistemas eutróficos dominados por plantas sumergidas y emergentes. Izquierda: Laguna del Potrero (Maldonado). Derecha: Laguna Blanca (Maldonado)



**Fig. 34.-** Mecanismos por los que las macrofitas pueden promover el estado de aguas claras en lagos. 1- Remoción de nutrientes, 2- refugio para zooplancton, 3- mejora las condiciones para los macrofiltradores, 4- favorece los piscívoros sobre los planctívoros, 5- refugio para los juveniles de piscívoros, 6- estabiliza los sedimentos y reduce resuspensión, 7- magnifica la denitrificación, 8- puede generar efectos alelopáticos.<sup>30</sup>

Entre los lagos de la Zona A, el **lago Central** es el que tiene una morfometría distintiva, con mayor superficie y menor desarrollo de la línea de costa (ver sección 10). A no ser que se le plante una cortina de árboles con gran desarrollo vertical en su costa, se espera que este lago presente mayor interacción con los vientos lo que determinaría menor probabilidad de desarrollar estados de dominio de plantas

flotantes libres. En función de la forma de la cubeta, los patrones de circulación interna podrán ser más heterogéneos que para los lagos más elongados y presentar problemas de calidad de agua localizados donde el tiempo de residencia sea mayor.

El dominio fitoplanctónico o de macrófitas puede ocurrir en un amplio rango de nutrientes, pero la estabilidad de una fase de agua clara decrece a medida que aumenta la concentración de nutrientes, por lo que factores denominados *switches* (cambios bruscos - disturbios) pueden desencadenar el rápido pasaje de un estado a otro <sup>44</sup>. Ejemplos de *switches* pueden ser cambios en el nivel de agua, remoción de las macrófitas, la disminución del zooplancton de gran tamaño o alteraciones del cociente peces piscívoros/planctívoros <sup>21</sup>. Los *switches* pueden generarse por la dinámica propia del sistema, por sucesos catastróficos <sup>45</sup>, o estar relacionados a alteraciones deliberadas de origen antrópico realizadas para lograr cambios deseables <sup>21,46-48</sup>.

Los lagos están sometidos a otras presiones como ser el vertimiento de aguas cloacales e industriales, derrames de hidrocarburos, así como disposición irregular de residuos sólidos. La gestión de los residuos sólidos y particularmente la erradicación de basurales endémicos han presentado una mejora superlativa en los últimos años.

## 12. GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN AMBIENTAL

---

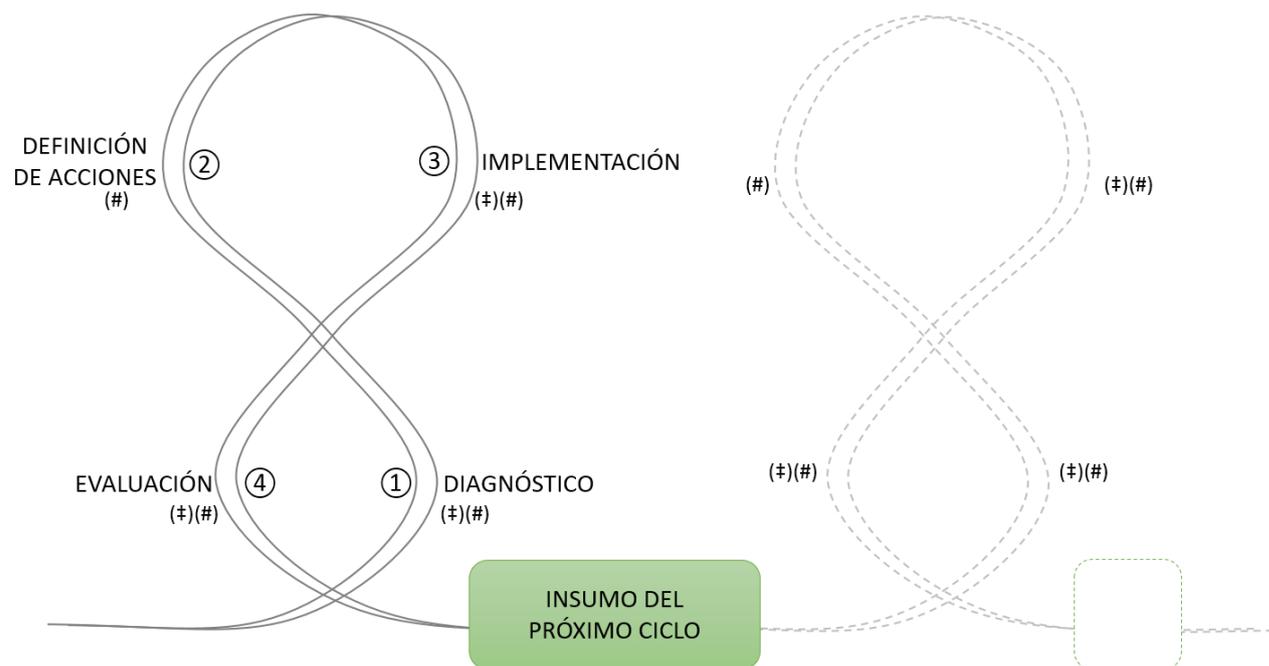
La **gestión ambiental** debe ser entendida como la asignación de recursos de cualquier índole, tendiente a la administración de los sistemas ambientales. Debe dirigirse a la prevención y resolución de problemáticas ambientales, así como al mantenimiento y fortalecimiento de las potencialidades del territorio, en pos de un uso racional de los recursos, un ambiente saludable, seguro e incluyente. Debe encontrar sustento en la articulación de acciones de los diferentes agentes sociales y económicos estratégicos, tales como la comunidad, las organizaciones y el estado, los cuales interactúan en un espacio dado a través de la mediación de intereses, conflictos, y la formulación y adopción de políticas públicas <sup>14,49</sup>.

Una gestión ambiental moderna debe tener en cuenta la naturaleza entrópica de los procesos naturales y aprovechar la tendencia natural para la auto organización de los sistemas complejos, con el fin de implementar acciones que permitan un nuevo tipo de interacción entre los actores en torno a un objetivo común: la incorporación de la sustentabilidad ambiental al proceso de desarrollo.

La gestión ambiental depende de un proceso previo de planificación, toma de decisiones y acuerdo entre las partes involucradas, capaz de alcanzar **una adecuación de los usos antrópicos a las propiedades de los sistemas ambientales**<sup>14</sup>. En este marco, la **planificación ambiental** es entendida como un proceso organizado de obtención de información, análisis y reflexión sobre las potencialidades y las limitaciones de los sistemas ambientales de un territorio. Provee las bases para definir metas, objetivos, estrategias de uso, proyectos, actividades y acciones, es decir la organización de la actividad socioeconómica en el espacio. Su propósito fundamental es la búsqueda de comportamientos deseables de los sistemas

ambientales<sup>49</sup> por lo que exige una visión sistémica, holística y dialéctica de la relación Naturaleza - Sociedad (ver sección 4).

**Planificación y Gestión Ambiental**, deben tener un **carácter adaptativo**, lo que se basa en aceptar que los SSE (ver sección 4) son sistemas dinámicos, con una variabilidad externa e interna tal que establece un grado muy importante de incertidumbre en cualquier proceso de planificación o definición de políticas <sup>15</sup>. En síntesis, no debe pensarse en un modelo rígido, sino por el contrario, como un proceso sujeto a la causalidad, a las interferencias inesperadas y la no linealidad de los procesos. Aún más allá, debe considerarse que diversos aspectos de la planificación pueden no alcanzar los efectos deseados, y en muchos casos los opuestos a los esperados. En estos procesos resulta más relevante comprender la causalidad y mecanismos, tanto de los éxitos como de los fracasos. La única manera de incrementar nuestra capacidad de comprensión y aprendizaje es entonces a partir de programas de monitoreo que evalúen el desempeño e impactos de los planes o políticas definidas (Fig. 35). Se debe combinar conocimiento e información con resultados inesperados, entendidos estos últimos no como un obstáculo sino como ventanas de oportunidad para el aprendizaje que permita el perfeccionamiento de prácticas, planes y políticas.



**Fig. 35.-** Conceptualización gráfica de ciclos consecutivos de gestión bajo un esquema adaptativo. ‡: debe involucrar monitoreo; #: fases participativas.

### **13. DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN: ASPECTOS CRÍTICOS**

---

En función de los riesgos que establece la conjunción del estado ambiental de los lagos y entorno urbano en la Microrregión de la costa, la gestión de estos sistemas merece especial atención. La rehabilitación y conservación de un estado ambiental compatible con el entorno urbano es un proceso muy costoso en términos económicos y de tiempo requerido, por ello resulta imperioso establecer acuerdos que involucren la mayor parte del espectro político posible y sean de largo plazo, tanto en relación al financiamiento como la distribución de sus costos entre los contribuyentes. En este contexto, además de la voluntad política y el conocimiento técnico, es fundamental una apropiación e involucramiento de la población en todas las fases que un verdadero proceso de participación incluye (es decir desde la definición de las políticas y estrategias) hasta su implementación y contralor. Esto conlleva que en el diseño de un plan de rehabilitación y manejo, sea crucial un adecuado programa de comunicación.

Al 2014 se dispone de una batería de opciones de intervención ecosistémica fundamentadas en el desarrollo científico reciente de la ecología de lagos. Sustentadas en un adecuado diagnóstico, es posible modificar la estructura y funcionamiento sistémico, rehabilitando el sistema de forma que cumpla con estándares mínimos pretendidos. Sin embargo, ninguna inversión o intervención única, permitirá solucionar la problemática definitivamente. Una vez comenzados, los planes deben ser seguidos y sostenidos en el tiempo, con la misma lógica que involucra el mantenimiento de un jardín u otro espacio público verde, la recolección de residuos o la eliminación de basurales endémicos. Sólo implementando un sistema de gestión sobre ese supuesto es que se lograrán los objetivos perseguidos. Si bien en un primer análisis puede suponerse que la dificultad es técnica, debe generarse conciencia de que la clave del éxito está en encontrar una adecuada estructura organizacional, las

vías de financiamiento sostenibles, y desarrollar las capacidades humanas y de infraestructura suficientes y necesarias.

Durante la última década en Uruguay se ha comenzado el desarrollo de capacidades para la aplicación de algunas de estas medidas lo que incrementa la factibilidad de su implementación (ej. ver sección 14). La experiencia generada, permite conocer a priori cuales son probablemente los mayores impedimentos para que los planes de gestión de lagos logren ser exitosos. Uno de los condicionantes para la aplicación de técnicas de rehabilitación es la formación de recursos humanos y la instalación de empresas que actualmente no existen en el país. Los problemas de escala resultan críticos para la viabilidad económica de este tipo de empresas, por lo que es conveniente explorar asociaciones estratégicas con otros gobiernos departamentales, Entes, u otros actores institucionales que presentan problemas vinculados. Por último, es conveniente explorar con la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), aspectos como las mejores estrategias para promover el desarrollo de un clúster de empresas especializadas en el mantenimiento y rehabilitación de sistemas acuáticos, así como generar nexos con otras comunas que ya han incursionado en la temática (particularmente Montevideo y Maldonado).

El valor inmobiliario de las propiedades de la zona es fuertemente dependiente del estado ambiental de los lagos, por lo que debería ser relativamente simple llegar a acuerdos beneficiosos para los intereses privados y la comunidad toda.

**En el presente documento se realizan sugerencias sobre opciones dirigidas a para lagos tipo en función de su estado ambiental y evolución prevista. Los proyectos ejecutivos de intervención deberán desarrollarse de forma específica para cada lago o conjunto de lagos, pudiendo buscar financiación combinando los esfuerzos estatales con aportes de actores privados locales. Cada plan de intervención específico debe ser capaz de distinguir objetivos pretendidos de**

**objetivos posibles por lo que debe establecerse clara y explícitamente, qué tipo de uso es esperable que la sociedad haga de esos espacios.**

Sin lugar a duda las **Zonas de Ordenamiento Concertado** borde de lagos (o ZOC que incluyan lagos en su extensión; ver sección 7), son los ámbitos colectivos adecuados para la gestión de acuerdos específicos a este respecto. Adicionalmente debe formalizarse un ámbito institucional de mayor jerarquía y cobertura territorial, que permita tener una visión general, hacer seguimiento, soportar un esquema de gestión adaptativa como el ya descrito (Fig. 35), que permita el perfeccionamiento de los planes y políticas a través de la retroalimentación basada en el seguimiento y el monitoreo de planes, políticas o intervenciones puntuales, hacer nexo con las direcciones involucradas y superar las problemáticas de escala por proyecto (entre otras). Si bien determinar cuál de los posibles arreglos institucionales es el adecuado involucra una complejidad elevada y similar al proceso de conformación de los comités de cuenca creados en la Ley Política Nacional de Agua (N° 18.610), la ejecución del presente convenio ha contribuido al encuentro de los principales actores institucionales involucrados (ver sección 6). Todo tiempo-esfuerzo invertido en lograr el mejor arreglo institucional para la conducción del plan de gestión de los lagos de la Microregión, todo esfuerzo para fluidificar el pasaje de información entre actores e institucionalizar el ámbito mediante mecanismos pautados (protocolos de actuación) y cadenas vinculantes, aumentará el nivel de éxito en la consecución de los objetivos. Resulta indispensable lograr conformar un grupo técnico sólido y permanente que logre trabajar sobre la problemática.

## **14. OPCIONES DE MANEJO Y REHABILITACIÓN**

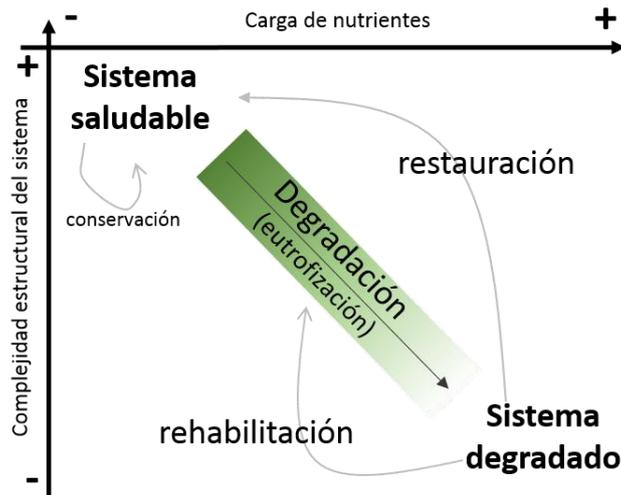
---

Las opciones de manejo y rehabilitación mencionadas a continuación no configuran un listado exhaustivo, pero sí una referencia extensa de fundamentos y procedimientos posibles de ser aplicados. En muchos casos será más adecuado o necesario implementar una combinación de alternativas más que medidas aisladas y, en todos los casos, cualquier opción deberá estar enmarcada en un plan de monitoreo adecuado. Se aconseja sobremanera asociar todos los planes de manejo a tareas de investigación científica que involucre a grupos de la UDELAR. Esta lógica de funcionamiento permitirá favorecer la formación de recursos humanos, simplificará la evaluación de los resultados de las intervenciones y dará soporte académico a las tareas de gestión. El plan de acción debe ser incremental, tener capacidad de aprendizaje y ajuste adaptativo (Fig. 35). En este marco se recomienda establecer planes piloto en un número reducido de cuerpos de agua a efectos de evaluar la performance y costos reales de las medidas en las condiciones locales.

### **14.1. Control de los aportes externos**

---

La gestión de sistemas eutróficos debe atacar directamente las causas de la problemática (disminuir los aportes externos de nutrientes) (Fig. 36). Sin embargo, y como ya fue mencionado, los sistemas de aguas quietas actúan como acumuladores de nutrientes a lo largo de su vida, por lo seguirán exhibiendo síntomas de eutrofización, mucho tiempo después de la eliminación de los aportes. Si el objetivo es lograr que los sistemas mejoren su calidad de agua a corto-mediano plazo, resulta imprescindible realizar intervenciones que modifiquen la estructura y/o el funcionamiento sistémico (consecuencias de la eutrofización). Mientras no se modifiquen los fenómenos causales (o sea, mientras no disminuya la llegada y la cantidad de nutrientes presente en el sistema), el atacar las consecuencias será una tarea que deberá ser realizada de forma sostenida en el tiempo.



**Fig. 36.-** Opciones para la gestión ambiental de la eutrofización. Esquema conceptual bidimensional.

Para lograr disminuir el aporte externo de nutrientes en los lagos analizados, y en función de la conectividad subterránea de estos sistemas, resulta imprescindible llevar la cobertura de saneamiento a toda el área que drena hacia los lagos, así como asegurar la conexión a la red de todos los vecinos del área. Este tipo de obras se vienen ejecutando ya en la Microregión (ver sección 3), lo que significa un avance superlativo. A mediano-largo plazo, resulta necesario buscar la forma de lograr extender la cobertura a los sectores de las cuencas de los lagos no cubiertos por el actual plan de obras. Se recomienda fuertemente la prohibición de utilización de fertilizantes (fosforados y nitrogenados) en los suelos de la cuenca de aporte y particularmente en los jardines de predios adyacentes al sistema. Los lagos que presentan actividad agrícola en sus cuencas (u otras actividades que puedan potencialmente realizar aportes), deberán ser evaluados individualmente.

Las intervenciones estructurales o funcionales, pueden ser de tipo físico, químico o biológico (biomanipulación). Estas técnicas pueden, y en algunos casos deben, aplicarse en conjunto a efectos de aumentar las probabilidades de éxito.

## 14.2. Eliminación o manejo de la carga interna

---

Un programa de medidas incrementales debe considerar el manejo de la carga interna de nutrientes. Para este fin se suelen aplicar medidas de aislamiento físico o químico de los nutrientes acumulados en el sistema o remoción de los mismos, en función del tamaño del sistema y si el mismo se estratifica o no. Las medidas físicas se aplican con el objetivo de limitar la liberación de nutrientes acumulados en los sedimentos hacia la columna de agua, por fenómenos de resuspensión (durante tormentas) o liberación por desoxigenación. Una de las técnicas utilizadas con este fin ha sido el dragado (remoción de los sedimentos y deposición fuera de la cuenca del lago), siendo sus mayores limitaciones los costos de traslado de los sedimentos y problemáticas asociadas al tratamiento y/o disposición final. Existen dos modalidades de dragado, seca o húmeda. En la primera variante el sedimento se remueve por bombeo y se separa la fase sólida de la líquida fuera del cuerpo de agua, conduciendo los lixiviados fuera de la cuenca de drenaje. En la variante húmeda la separación de la fase sólida y líquida se efectúa de forma inmediata al dragado y sobre la propia columna de agua. Se recomienda la primera alternativa ya que gran parte de los nutrientes se localizan en el agua intersticial del sedimento. El equipamiento fundamental para la aplicación de esta variante es básicamente el que se utiliza actualmente en la extracción de arena en lagos. En caso de aplicarse la variante húmeda debe implementarse la utilización de cortinas de material particulado, para restringir espacialmente los efectos de la intervención (Fig. 37). Este tipo de medidas debe encontrarse inserta en un programa de monitoreo de tipo evaluación de impacto antes y después (diseño BACI: *before and after control-impact*). El procedimiento de dragado se considera particularmente adecuado para los lagos someros de la zona A de Ciudad de la Costa, los que, en función de su menor volumen y características de diseño, probablemente acumulen material sólido con el tiempo junto a la obra de descarga.

En varios de los lagos de la zona, se han solicitado autorizaciones especiales para la realización de rellenos con sedimentos del fondo del lago (refulado) u de otros orígenes. Cuando involucre la utilización de material no proveniente del lago, deben seleccionarse materiales inertes con granulometría mayor a 63  $\mu\text{m}$  de diámetro (arena, grava, etc.), de forma de limitar el aumento el material en suspensión y la carga de nutrientes del sistema. De otra forma deberá considerarse la utilización de *silt curtains* u otras estrategias compensatorias (Fig. 37). Se recomienda solicitar a la empresa proponente la presentación en todos los casos de análisis granulométricos y fisicoquímicos incluyendo fósforo total, nitrógeno total y metales pesados (al menos plomo, mercurio, cromo –total y fracciones-, cadmio y arsénico) del material de relleno propuesto y de los sedimentos del lago donde se sitúa el emprendimiento. Los análisis deberían realizarse al menos por triplicado y deberían ser acompañados de información metodológica sobre el lugar y forma en que fueron tomadas y analizadas las muestras. Este tipo de maniobras deben ser también acompañadas de medidas de monitoreo siguiendo un diseño de tipo BACI.

El aislamiento físico de la carga interna implica el recubrimiento con materiales inertes como arena y, en los últimos años, ha presentado gran desarrollo la utilización combinada con membranas <sup>50</sup>.



**Fig. 37.-** Experiencia del lago Panasoffkee (florida, usa). Izquierda: draga en operación. Derecha: tratamiento de los sedimentos extraídos (véase el lago en la parte superior de la fotografía) <http://plants.ifas.ufl.edu/manage/control-methods/physical-control> . Medio: dragado y refulado del lago realizado en el sector oeste del lago del puente de las américas (junio 2010). Abajo: utilización de cortinas de sedimentos (*siltt curtain*) en el embalse Abberton (UK) <http://www.aquaticengineering.co.uk/>; <http://www.esi.info/>.

Las medidas químicas clásicas se asocian a la aplicación de floculantes (generalmente sulfato de aluminio), capaces de favorecer la aglutinación y decantación de las sustancias en suspensión. Este procedimiento se diferencia del utilizado en las plantas de potabilización de agua en que no es posible recuperar el aluminio utilizado. Se han desarrollado también productos específicos que se unen irreversiblemente a compuestos reactivos de fósforo, decantándolos y dejándolos no disponibles para los organismos. El producto de este tipo que más se ha utilizado ha sido el denominado Phoslock una bentonita (arcilla) modificada con el elemento lantano, que fue desarrollada por la agencia gubernamental australiana CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*) en los años 90 y hoy se encuentra disponible en el mercado (<http://www.phoslock.eu>) (Fig. 38). En los últimos años se ha evaluado la utilización combinada de Phoslock y floculantes con muy buenos resultados <sup>51</sup>. Una dosificación adecuada permitiría establecer un exceso de reactivos en los sedimentos que capturase la llegada de nutrientes por aportes subsuperficial. En lagos estratificados y con sedimentos anóxicos (carentes de oxígeno), se ha demostrado que la aplicación de otros agentes oxidantes (particularmente nitrato) o secuestrantes (cloruro férrico), pueden mantener retenido el fósforo <sup>52</sup>. En todos los casos, las intervenciones debe realizarse asociadas indisolublemente a un programa de monitoreo a corto, mediano y largo plazo de los niveles de las sustancias utilizadas en el agua.



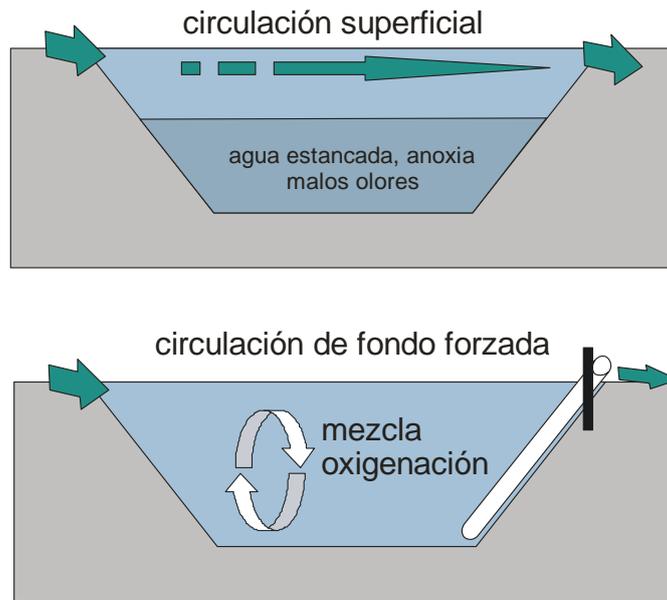
**Fig. 38.-** Aplicación de Phoslock en el lago del camping Het Groene Eiland (Holanda, 2008) <http://www.phoslock.eu/en/applications/case-studies/>.

### **14.3. Manejo del tiempo de residencia y promoción de pérdida de biomasa por lavado**

---

La disminución del tiempo de residencia del agua es una medida que puede contribuir significativamente a la mejora de la calidad de agua. Así, de no existir potenciales aportes de contaminantes desde la cuenca, se aconseja fuertemente la conexión de todos los lagos al sistema de macrodrenaje. Esto deberá involucrar en todos los casos la construcción tanto de canales afluentes como efluentes. La conexión de los lagos al sistema de macrodrenaje pluvial, debe realizarse de forma de maximizar los eventos de lavado asociados al arrastre pluvial. Diferencias significativas en el tiempo de residencia del agua (y sustancias) en diferentes sectores del lago, sólo favorecerá el surgimiento de problemas localizados.

Eventos de floraciones tóxicas pueden ser manejados modificando el régimen hídrico, mediante cambios en el nivel por operación de compuertas, siempre que las características de diseño de las obras de descarga lo hagan posible. Para el caso de los lagos más pequeños, y como medidas de manejo derivadas del plan de monitoreo, podrán aplicarse medidas de bombeo localizadas para eliminar floraciones o bombear desde la zona profunda durante eventos de estratificación hipolimnética (Fig. 39) que provocan la emisión de malos olores.



**Fig. 39.-** Eliminación de la estratificación térmica por bombeo de fondo.

Aunque costoso energéticamente, el mezclado artificial de la columna de agua es un método común de lograr la desestratificación térmica, disminución de los efectos de emisión de malos olores, liberación de nutrientes desde los sedimentos y prevención de la ocurrencia de mortandades masivas de peces. El método más utilizado es la generación de cortinas de burbujas de aire utilizando compresores y difusores en profundidad. Las experiencias generadas recientemente para el embalse San Roque en la ciudad de Carlos Paz (Córdoba, Argentina) han demostrado su utilidad y limitaciones en sistemas artificiales sudamericanos (Fig. 40)<sup>53</sup>. Un inadecuado dimensionamiento u operación pueden causar deterioro. También es común la utilización de métodos de aireación utilizando bombeo de agua (fuentes) (Fig. 41), aunque no debe descartarse los riesgos asociados a la generación de sprays.



**Fig. 40.-** Embalse San Roque (Carlos Paz, Córdoba, Argentina). Arriba: estado ambiental, intensas floraciones. [Http://www.funeat.org.ar/art%c3%adculoscarlosprosperi.html](http://www.funeat.org.ar/art%c3%adculoscarlosprosperi.html). Abajo: instalación de sistema de difusores (<http://www.diaadia.com.ar/cordoba/san-roque-menos-verde-difusores>).



**Fig. 41.-** Fuente instalada en el Lago Rodó (Montevideo) (15/02/2014)

Los lagos con estructuras de gran desarrollo vertical en las costas y mayor profundidad, presentarán tendencia a la estratificación vertical. En este contexto, el control de la altura de las construcciones aledañas y el manejo de la altura de la cortina de árboles por poda, sustitución o desde el diseño-parquización puede resultar una estrategia sumamente eficiente y de bajo costo relativo. En el entorno de los lagos deben ser fuertemente desalentadas la implantación de cortinas densas de árboles altos (ej. eucaliptos) o con cobertura muy densa. El pasado no es el único aspecto en que la parquización del entorno puede determinar la calidad ambiental del lago. La utilización de especies arbóreas caducas debe ser también desalentada fuertemente, ya que las mismas generan importantes aportes de materia orgánica a los lagos (ej. Lago Rodó).

#### 14.4. Desarrollo de humedales y manejo de la comunidad vegetal

---

Por otra parte, en los lagos dominados por fitoplancton, la construcción, rehabilitación o conservación de humedales asociados debe ser una práctica de gestión biológica a ser impulsada activamente. Humedales adecuadamente diseñados contribuirán a la mejora de la calidad de agua, compitiendo con el fitoplancton por nutrientes, luz y otros recursos <sup>54,55</sup>. Adicionalmente generan condiciones que favorecen la pérdida de nitrógeno hacia la atmósfera (desnitrificación) <sup>56</sup>, reducen la mezcla de la columna de agua, favoreciendo la pérdida de fitoplancton por sedimentación <sup>57,58</sup> y pueden también aportar sustancias que limitan el desarrollo de floraciones fitoplanctónicas (denominadas sustancias alelopáticas) <sup>59-62</sup>, entre otros mecanismos (Fig. 42). Adicionalmente aumentan la heterogeneidad de hábitats, aumentando la diversidad biológica y la naturalidad del paisaje. Hay suficiente evidencia para correlacionar directamente la relación área de humedal/área de espejo de agua, con una mejora significativa de la calidad de agua, siendo más vulnerables frente a la eutrofización los lagos desprovistos de vegetación <sup>63</sup>. En este contexto se aconseja fuertemente la promoción activa del desarrollo de cobertura vegetal asociada a los lagos. En este sentido, las medias con mayor probabilidad de éxito involucran la modificación o el diseño de los perfiles litorales de los lagos de forma de aumentar el desarrollo de su línea de costa (más metros de costa por unidad de área de lago) y establezcan sectores perfiles verticales que permitan el establecimiento de plantas acuáticas (ej. 50 cm). Este tipo de estrategias es particularmente aplicable para los lagos diseñados con perfiles sumamente regulares, pero aún no construidos, como es el caso del Lago Central (ver sección 10). La construcción de islas flotantes artificiales, es una estrategia particularmente adecuada para lagos profundos con taludes laterales con elevada pendiente, donde se hace imposible la implantación natural (Fig. 42).

Las obras de relleno-refulado debidamente aprobadas y controladas, permiten una oportunidad inmejorable para modificar los taludes, de forma de generar las condiciones para el establecimiento de vegetación litoral (ej. franjas de profundidad menor a 1,5 metros, preferentemente en los sectores de ingreso de aguas pluviales). Se aconseja que en todos los casos en donde los proyectos soliciten la eliminación de vegetación litoral, se exija el reemplazo por un área equivalente.



**Fig. 42.-** Establecimiento de humedales. Arriba: cercos para la protección de macrófitas generados en programas de rehabilitación de lagos. Abajo: sistema de islas flotantes artificiales en el momento de su instalación (izquierda) y 8 meses después (<http://www.floatingislandinternational.com/>).

Contrariamente, los sistemas dominados por cantidades excesivas de plantas flotantes (ver sección 8.2.2), o, si se diese en los lagos someros, de sumergidas (Cuadro 2), deberán ser manejados de forma de permitir una oxigenación adecuada y permanente de la columna de agua. En la actualidad, varias empresas brindan el servicio de cosecha de plantas y macroalgas en el país (Fig. 43 y 44). En cualquiera de los casos mencionados, los nutrientes retenidos en las plantas o macroalgas, pueden ser efectivamente removidos del sistema, aportando a la reducción de la carga interna. El

trabajo realizado entre los años 1997 y 2000 en el lago Rodó de Montevideo resulta una referencia insoslayable (Rodríguez-Gallego, <http://www.bib.fcien.edu.uy/files/etd/biol/uy24-10296.pdf>).

En ningún caso se recomienda la cosecha total de las plantas. Al extraer las plantas, los mecanismos ecológicos que mantenían baja la abundancia de fitoplancton dejarán de existir, aumentando significativamente la probabilidad de ocurrencia de floraciones fitoplanctónicas, casi al nivel de certeza. Todos los programas de cosecha mecánica de plantas deben estar debidamente diseñados a priori, monitoreados adecuadamente y sometidos a ajustes constantes de acuerdo a un esquema adaptativo.

Entre otras razones, por encontrarse en un contexto urbano, no se aconseja la utilización de herbicidas para el control de plantas y aún menos la introducción de carpas herbívoras o especies similares. Más allá de otras consideraciones, cualquiera de las dos opciones hará disponible grandes cantidades de nutrientes en la columna de agua, generando la transición hacia un estado de aguas turbias, dominado por fitoplancton y elevada probabilidad de ocurrencia de floraciones potencialmente tóxicas.



**Fig. 43.-** Cosecha mecánica de plantas sumergidas. Fisonomía de la Laguna del Diario (Maldonado) antes y durante la cosecha mecánica. Izquierda: 2006; derecha: 2013. Medio y abajo: diferentes modelos de cosechadoras disponibles en el mercado internacional.



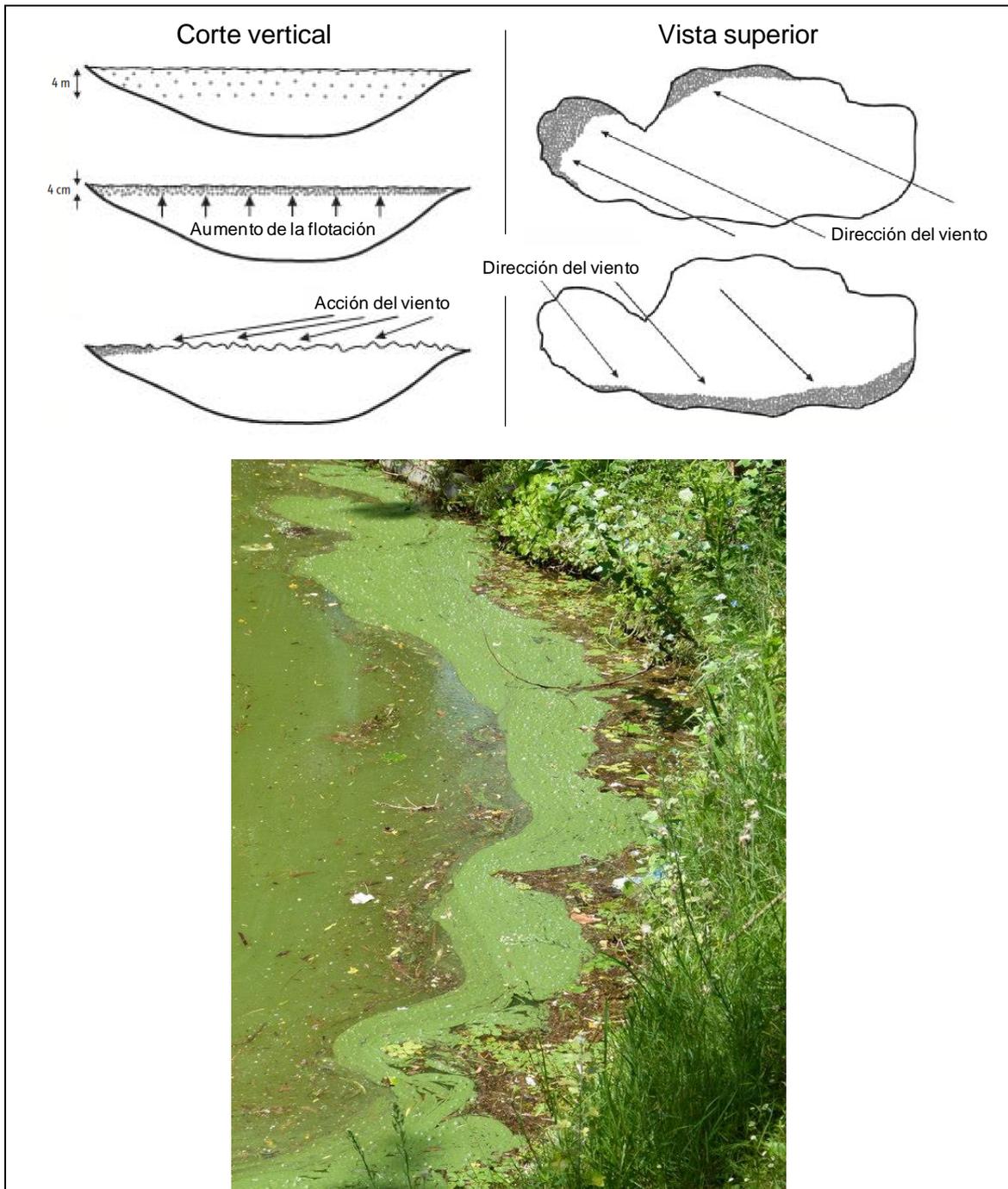
**Fig. 44.-** Programa de cosecha de macrófitas en el Lago Rodó (Montevideo);  
Arriba años 1997-2000. Abajo febrero 2014.

#### **14.5. Gestión de floraciones cianobacterianas**

---

Muchos de los lagos analizados presentan uso recreativo por contacto directo, más allá de que resulten playas habilitadas para baños o no lo sean. El dominio de cianobacterias en gran número de estos sistemas, establece un riesgo sanitario significativo que debe ser evaluado específicamente y gestionado en consecuencia.

Las células cianobacterianas se caracterizan por su capacidad de regular la flotabilidad gracias a la formación de vacuolas de gas. Esto permite que puedan determinar su posición vertical en la columna de agua, mientras su posición horizontal será dependiente de la acción del viento generando acúmulos donde los riesgos se maximizan (Fig. 45).



**Fig. 45.-** Distribución dinámica de las floraciones cianobacterianas en lagos (tomado de <sup>17</sup>). Abajo: acumulo costero de espumas cianobacterianas (Lago Rodó, Montevideo 15/02/2014)

Las aguas verdes suelen considerarse como exentas de peligro por parte de los usuarios, aun cuando puedan involucrar la presencia de toxinas con efecto hepático, neurológico, irritante de la piel, vías respiratorias o cancerígeno. Según la Organización Mundial de la Salud <sup>17</sup>, no se conocen muertes humanas a las que se les pueda asignar inequívocamente como causa la ingestión durante actividades recreativas, sin embargo existen numerosos registros de muerte de animales y mascotas. Esta discrepancia puede ser explicada por el hecho de que los animales pueden beber grandes volúmenes de agua que contienen espumas cianobacteriana en relación con su peso corporal, mientras la ingestión accidental por parte de humanos involucra generalmente bajas dosis. La exposición de los niños a las floraciones potencialmente tóxicas presenta elevado riesgo en función de la mayor probabilidad de ingestión y la menor masa corporal (Fig. 46). Más allá del número de muertes asociados a exposiciones puntuales y efectos agudos, deben considerarse el riesgo asociado a la exposición repetida y efectos crónicos. Estos riesgos son mayores cuando se trata de floraciones de especies que no generan acúmulos macroscópicos como los de la foto. Otras vías de exposición, como la inhalación establece riesgos equivalentes a los de la exposición intraperitoneal. Se conocen registros de la ocurrencia de este tipo de exposición durante actividades náuticas en el Reino Unido <sup>17</sup> (ver Fig. 47).

De acuerdo a los criterios establecidos por la organización Mundial de la Salud<sup>17</sup>, en la actuación frente a una floración potencialmente tóxica debe primar el principio precautorio. En otras palabras, toda floración potencialmente tóxica debe ser considerada como tóxica, hasta que se demuestre lo contrario.



**Fig. 46.-** la exposición de los niños a las floraciones potencialmente tóxicas presenta mayor riesgo en función de la mayor probabilidad de ingestión y la menor masa corporal. (Fotografía: Lake Byllesby, Minnesota, EEUU; <http://grist.org/slideshow/stay-out-of-the-water-a-toxic-algae-slideshow/>)



**Fig. 47.-** Actividades náuticas en el lago de la calle Kennedy durante una floración de la cianobacteria potencialmente tóxica *Dolichospermum circinalis* (Rabenhorst ex Bornet et Flahault, ex: *Anabaena circinalis*) (06/2013).

La comunicación a la población mediante cartelería u otros medios, necesariamente debe ser explícita sobre la naturaleza del problema y debe diseñarse de forma que contribuya al conocimiento público de la problemática, sus causas y riesgos específicos. Informar a la población sobre de la condición ambiental de los lagos es la única forma de disminuir los riesgos asociados a la utilización de los mismos. A nivel mundial existe amplia experiencia sobre este tipo de comunicación/alerta a los potenciales usuarios (Fig. 48). En este sentido, la Intendencia Departamental de Montevideo ha implementado recientemente un sistema de alerta a la población basado en la utilización de la bandera sanitaria (roja con una cruz verde; Fig. 49).

Gestionar esta problemática incluye necesariamente la coordinación estrecha y fluido intercambio de información con los servicios de salud. Medidas adicionales dirigidas a la gestión de esta problemática deben sustentarse en un sólido programa de

monitoreo que permita una evaluación caso a caso y un sistema de alerta a tiempo real (ver sección 16).

Diversos grupos de la UDELAR vienen trabajando en la problemática, así mismo la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA, MVOTMA) y la Intendencia Departamental de Montevideo, lo que establece una excelente coyuntura para la profundización del trabajo en el contexto canario.



Fig. 48.- Cartelería para la comunicación de floraciones tóxicas de diversas partes del mundo.



Fig. 48 (cont.)- Cartelería para la comunicación de floraciones tóxicas de diversas partes del mundo.



**Fig. 49.-** Bandera sanitaria utilizada por la intendencia montevideana.

Investigaciones recientes han establecido que las vacuolas de gas cianobacterianas (Fig. 50) pueden ser destruidas por la acción de ondas sonoras. Esto ha permitido desarrollar emisores de ultrasonido subacuáticos capaces de controlar la proliferación cianobacteriana. Los equipos disponibles en el mercado incluyen desde únicamente los emisores ultrasónicos (ej. <http://www.sonicsolutionsllc.com/>), hasta sistemas interactivos que integran monitoreo fisicoquímico del agua, predicción de floraciones y control de biomasa cianobacteriana (<http://www.lgsonic.com/>). El monitoreo automatizado y la telemetría, permiten relevar información de altísima calidad, disminuyendo los costos de recursos humanos asociados. Las empresas que desarrollan y venden estos equipos aseguran que los mismos resultan inofensivos para el resto de la comunidad y los usuarios. Este tipo de equipos abre una interesantísima lista de posibilidades para la gestión de floraciones y la mejora de la calidad de agua para uso recreativo en lagos urbanos.



**Fig. 50.-** El sistema *MPC BUOY MASTER* ofrecido por la firma LGSONIC (arriba izquierda) integra monitoreo, telemetría GPRS y control de floraciones. Los sensores incluidos evalúan simultáneamente clorofila, ficocianina (pigmento exclusivo de la cianobacterias), pH, sólidos totales en suspensión, oxígeno disuelto y temperatura. El equipamiento es totalmente modular lo que lo hace adaptable a las características de cada lago. El funcionamiento del equipo puede ser monitoreado desde un software online incluido. Arriba derecha: emisor de ultrasonido subacuático. Abajo: fisonomía de un lago en Japón antes y después de un período tratamiento de tres meses.

#### 14.6. Manejo del consumo de fitoplancton: biomanipulación.

Las técnicas denominadas de **biomanipulación**, se dirigen a modificar la estructura biológica en el sistema de forma de obtener cambios deseados, como por ejemplo la disminución de la frecuencia e intensidad de floraciones cianobacterianas. Suelen relacionarse con la introducción de peces piscívoros (peces que comen peces) o con la extracción activa (pesca) de peces planctívoros (peces que consumen zooplancton) (Cuadro 3). Varias especies de peces nativas de la cuenca del Río de la Plata, pueden ser adecuadas para este tipo de intervenciones, por ejemplo la tararira (*Hoplias malabaricus*), el cabeza amarga (*Crenicichla scottii*), el dientudo (*Oligosarcus jenynsii*), la castañeta (*Australoheros fascetus*), entre otras<sup>64</sup>. Este tipo de intervenciones resultarían muy beneficiosas en los lagos nuevos de la Zona A, ya que en los mismos no es esperable que ocurra colonización a corto mediano plazo por mecanismos naturales. En ninguna circunstancia se aconseja la introducción de peces exóticos.

La modificación de la estructura de la comunidad de peces es capaz de generar efectos en cascada sobre la calidad de agua. Adicionalmente el consumo de peces no está exento de riesgos sanitarios. En función de esto se recomienda fuertemente se establezca una prohibición absoluta de pesca recreativa y para consumo en los lagos como medida básica de gestión. Solamente avanzando en la investigación sobre la composición biológica de las comunidades de peces presentes en los lagos, será posible establecer medidas más específicas, generando autorizaciones de pesca dirigidas a las especies que puedan generar un detrimento de la calidad de agua (Fig. 51). El manejo de estos sistemas implica forzar procesos naturales, el esfuerzo debe ser permanente si las causas estructurales no son eliminadas.

Otro aspecto biológico relevante es la abundancia de aves acuáticas, las que generalmente son causantes de detrimento de la calidad de agua. En los lagos de las calles Calcagno y Gestido y en el lago Jardín de Lagomar se encuentran colonias de gansos numerosas. Estas deben ser mantenidas como poblaciones reducidas de forma de disminuir la contaminación fecal de los sistemas, el ingreso de nutrientes a los mismos y la eliminación de las plantas acuáticas.



**Fig. 51.-** Actividades de biomanipulación. Arriba: Lago Rodó (Montevideo), pesca de peces planctívoros (madrecitas). Medio y abajo izquierda: experiencias de biomanipulación en EEUU (<http://www.esi.info>). abajo derecha: representación esquemática de medidas de biomanipulación mediante pesca dirigida con el objetivo de generar mejoras en la calidad de agua <sup>30</sup> (ver cuadro 3).

#### **14.7. Gestión de otras problemáticas.**

---

Los lagos están sometidos a otras presiones como ser el vertimiento de aguas cloacales e industriales, derrames de hidrocarburos u otras sustancias, así como disposición irregular de residuos sólidos. La gestión de los residuos sólidos y particularmente la erradicación de basurales endémicos asociados a los lagos, ha presentado una mejora superlativa en los últimos años, línea de trabajo que debe ser sostenida en el tiempo. En los casos en los que se considere que la acción del viento o la imprudencia pueda establecer la llegada continua de residuos sólidos (bolsas de nylon, hojas, etc.), se aconseja realizar cercas perimetrales de baja altura (Fig. 52). No pudiendo ser predecible la realización de vertimientos o derrames, su detección debe lograrse estableciendo una vía de comunicación rápida entre los pobladores de la zona y las autoridades pertinentes.



fig. 52.- Cercado perimetral del Lago Rodó (Montevideo) realizado con el objetivo de eliminar la llegada de bolsas de nylon, hojas secas y otros residuos al lago. Puede observarse la coloración del agua, típica de las floraciones cianobacterianas potencialmente tóxicas.

#### **14.8. Apuntes sobre diseño paisajístico**

---

La generación de nuevos lagos y la intervención de los existentes, da la oportunidad de sumar valor estético y social a la región, contribuyendo al fortalecimiento de la identidad local de sus habitantes. El diseño paisajístico y acondicionamiento urbanístico debe dotar a la Ciudad de la Costa de un sistema de espacios públicos construido sobre el conocimiento del estado ambiental de los ecosistemas que los conforman, adecuado a sus propiedades y posibilidades, y considerando los servicios ecosistémicos brindados <sup>65</sup>.

En este marco, la estrategia de forestación con especies exóticas con el objetivo de inmovilizar la dinámica natural de las dunas para implantar la ciudad, ha perdido total

razón de ser. El diseño paisajístico debe eliminar el uso de plantas con potencial invasivo y aportar a la recuperación del paisaje original dominado por dunas, playa y humedales. Debe revalorizarse el uso, la preservación y la restauración de las comunidades de plantas nativas de la ecoregión, particularmente la vegetación psamófila y la típica de los bañados del Arroyo Carrasco y del Negro en el A° Pando. Se considera aconsejable la aplicación de metodologías de certificación de proyectos sostenibles mediante el otorgamiento de créditos como el propuesto por LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) y en particular SSI (Sustainable Sites initiative) <sup>65</sup>. La SSI tiene como objetivo transformar el desarrollo de los territorios y las prácticas de manejo de forma que consideren de especial importancia los Servicios Ecosistémicos <sup>66</sup>.

El equipamiento del entorno de los lagos debe permitir interactuar con los humedales ofreciendo una variedad de experiencias recreativas y educativas. Se recomienda el establecimiento de sitios para la anidación de aves, la construcción de miradores, y el desarrollo de elementos que ofrezcan información sobre los componentes, el funcionamiento y la gestión ecosistémica.

## **15. MONITOREO**

---

Los problemas ambientales de los lagos canarios responden a realidades territoriales, biológicas y socioculturales específicas y difícilmente puedan ser resueltos con la simple aplicación de paquetes tecnológicos desarrollados en otras latitudes. La gestión ambiental debe encontrar sustento en generación de conocimiento, de forma de lograr disponer de la información mínima indispensable sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Tanto para la definición de medidas de gestión y rehabilitación, para la evaluación de sus resultados, así como para alertar a la población frente a los riesgos ambientales emergentes, la gestión ambiental de los lagos debe sustentarse

en un seguimiento adecuado de sus condiciones ambientales. La transición hacia esquemas adaptativos de manejo de estos ecosistemas requiere de importantes bases de datos, tanto de las condiciones de los cuerpos de agua sin manejo como de aquellos que comiencen a implementarse estrategias de rehabilitación y manejo. Por lo tanto, si se quiere conocer las causas de los éxitos o fracasos de las estrategias o planes a definir, se deben implementar planes de monitoreo robustos y de larga duración. Al mismo tiempo, sólidos programas de monitoreo permitirán establecer sistemas de señales de alerta temprana que facilitarán la adopción de medidas de rehabilitación, recomendaciones o restricciones de determinados usos. En el caso de las floraciones de cianobacterias potencialmente tóxicas, donde varios de los efectos están asociados a exposiciones crónicas a través de la piel, estos sistemas de alerta temprana constituyen herramienta de singular valor.

En este contexto, resulta imprescindible construir las capacidades institucionales para fortalecer el plan permanente de monitoreo diseñado en el marco del PEDCA. El fortalecimiento será posible sólo si se dispone de personal técnico que disponga de una carga horaria suficiente para el trabajo de diseño, implementación y evaluación de resultados de los monitoreos. Adicionalmente, establecer puentes sólidos entre la investigación y la gestión, es el camino para poder superar los tradicionales modelos en los que sociedad y naturaleza son gestionados de manera independiente, la vieja dicotomía “conservación vs. desarrollo”<sup>67</sup>. Se aconseja fuertemente la publicación de informes ambientales periódicos.

Es imprescindible internalizar parte de los costos de la gestión en los presupuestos públicos de la misma manera que se asumen costos para la recolección de los residuos domésticos o el mantenimiento de los parques públicos y debe negociarse el aporte de fondos complementarios desde el sector privado. Por ejemplo, muchos de los emprendimientos inmobiliarios de la zona, realizan sus campañas publicitarias

basadas en las actividades náuticas que involucran contacto directo del agua. El mayor valor agregado de los emprendimientos se sustenta en la proximidad y posibilidad de uso del lago. Todos estos emprendimientos pasan a ser corresponsables de los riesgos sanitarios a los que se ven expuestos los pobladores, por lo que debe asegurarse su participación y aporte para la generación e implementación de intervenciones a nivel sistémico, que pueden ir más allá de sus límites prediales. En este contexto, también deber pensarse en sistemas de estímulos (económicos, sociales o culturales) de aquellas iniciativas y emprendimientos que procuran la conservación o rehabilitación de estos sistemas.

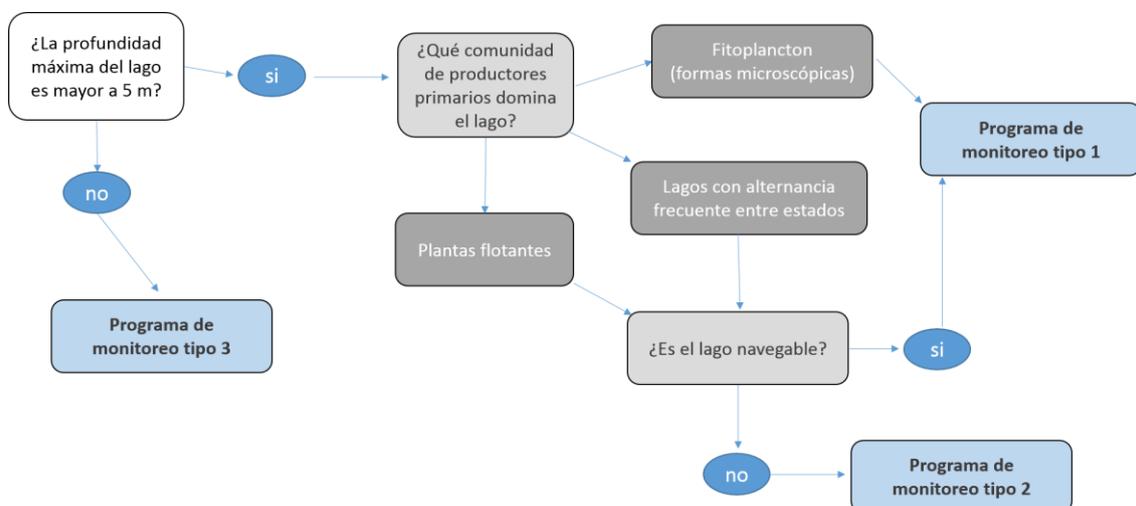
Toda intervención debe estar indisolublemente asociada a un programa de monitoreo. Los protocolos de evaluación de impacto asociados a proyectos específicos de intervención de lagos o de su entorno cercano (ej. refulados, parquización, etc.) deben ser analizados y aprobados previamente por la autoridad ambiental departamental.

El programa de monitoreo debe establecerse sobre una base adaptativa y debe ser diseñado por la complementación de estrategias de forma de tener capacidad de definir y aplicar medidas de gestión y rehabilitación, evaluar sus resultados, así como alertar a la población frente a los riesgos ambientales emergentes.

Para lograr comprender el funcionamiento sistémico como sustento de la definición de las más adecuadas opciones de gestión, resulta imprescindible establecer para cada lago la morfometría y batimetría (forma de la cubeta y profundidad) del sistema, así como la carga interna de nutrientes y su evolución interanual. Diversas consultorías privadas solicitadas por emprendimientos inmobiliarios han realizado estudios batimétricos en los lagos. Sin embargo la administración no recopila esa información de una forma que pueda ser útil para la gestión, más allá del expediente específico en el que figura. Se entiende muy beneficioso solicitar a las empresas la presentación de

información topográfica y batimétrica en formato \*.shp, sistema de coordenadas UTM S21-WGS 84.

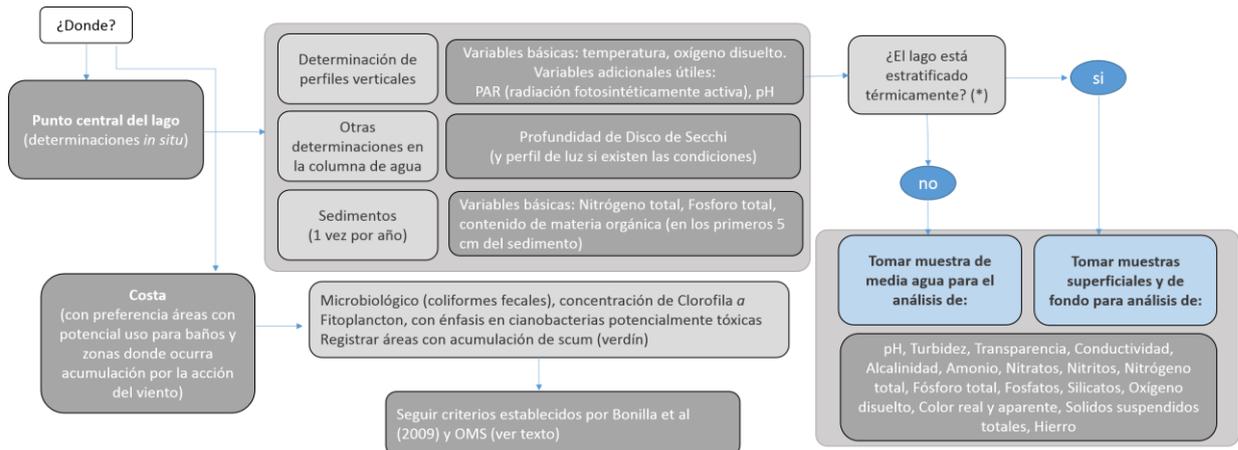
En la figura 53 se presenta una serie de pautas básicas para toma decisiones sobre aplicación de programas alternativos de monitoreo. El programa tipo 1 permite tener una adecuada visión sobre la situación ambiental de un lago, pero para su implementación resulta imprescindible contar con una embarcación. Otros tipos de lagos, los sistemas pueden resultar inaccesibles o establecer riesgos de seguridad a la navegación no justificables. Para estos los lagos donde existen restricciones para su navegación, se propone el programa de monitoreo tipo 2 (lagos dominados por vegetación flotante) y tipo 3 (aplicable a lagos poco profundos). Resulta realista ir desarrollando el programa de muestreo de forma gradual e incremental y sujeto a readecuación adaptativa entre ciclos (Fig. 35).



**Fig. 53.-** Pautas básicas para toma decisiones sobre aplicación de programas alternativos de monitoreo.

A los lagos profundos navegables en los que pueda ejecutarse un programa de tipo 1 (Fig. 54), se asumen a priori como sistemas monomícticos, por lo que el relevamiento de la variación intra-anual de perfiles verticales térmicos y de oxígeno (régimen de mezcla) debería determinarse realizando muestreos con frecuencia estacional.

Por otra parte, en dichos lagos la composición y abundancia de la comunidad fitoplanctónica deberían ser monitoreadas diferencialmente según los usos pasibles (prioridad en los sistemas donde se realice recreación con contacto directo, aunque no estén habilitados para baños). En todos los casos donde se detecte la presencia de verdín-espumas-scum deben realizarse este tipo de análisis, y siempre que la composición incluya especies con capacidad potencial de producción de toxinas, debe realizarse determinación de las toxinas potencialmente presentes. La determinación de clorofila *a* y ficocianina en suspensión resultan de gran utilidad para el seguimiento de la comunidad fitoplanctónica y como señal temprana de problemas asociados. Actualmente en el mercado existe un gran número de opciones de equipos de campo y sondas automatizadas desatendidas, que permiten obtener información relevante con relativamente bajos costos de mano de obra. Afortunadamente a nivel internacional en los últimos 15-20 años se ha generado una serie de lineamientos para la gestión del riesgo asociado a las floraciones cianobacterianas, su monitoreo y gestión <sup>24</sup>, algunos de ellos específicos vinculados a sistemas usados con fines recreativos <sup>68</sup>. A nivel nacional se han realizado grandes avances en la temática durante el último lustro <sup>69,70</sup> y existen en la actualidad proyectos entre el MVOTMA y la UDELAR para el desarrollo de métodos simples de cuantificación de floraciones de cianobacterias, que sin duda aportaran avances significativos. En este marco y de acuerdo a la información disponible, se recomienda fuertemente adoptar los criterios generales propuestos por <sup>70</sup> para enfrentar la problemática de la floraciones cianobacterianas.

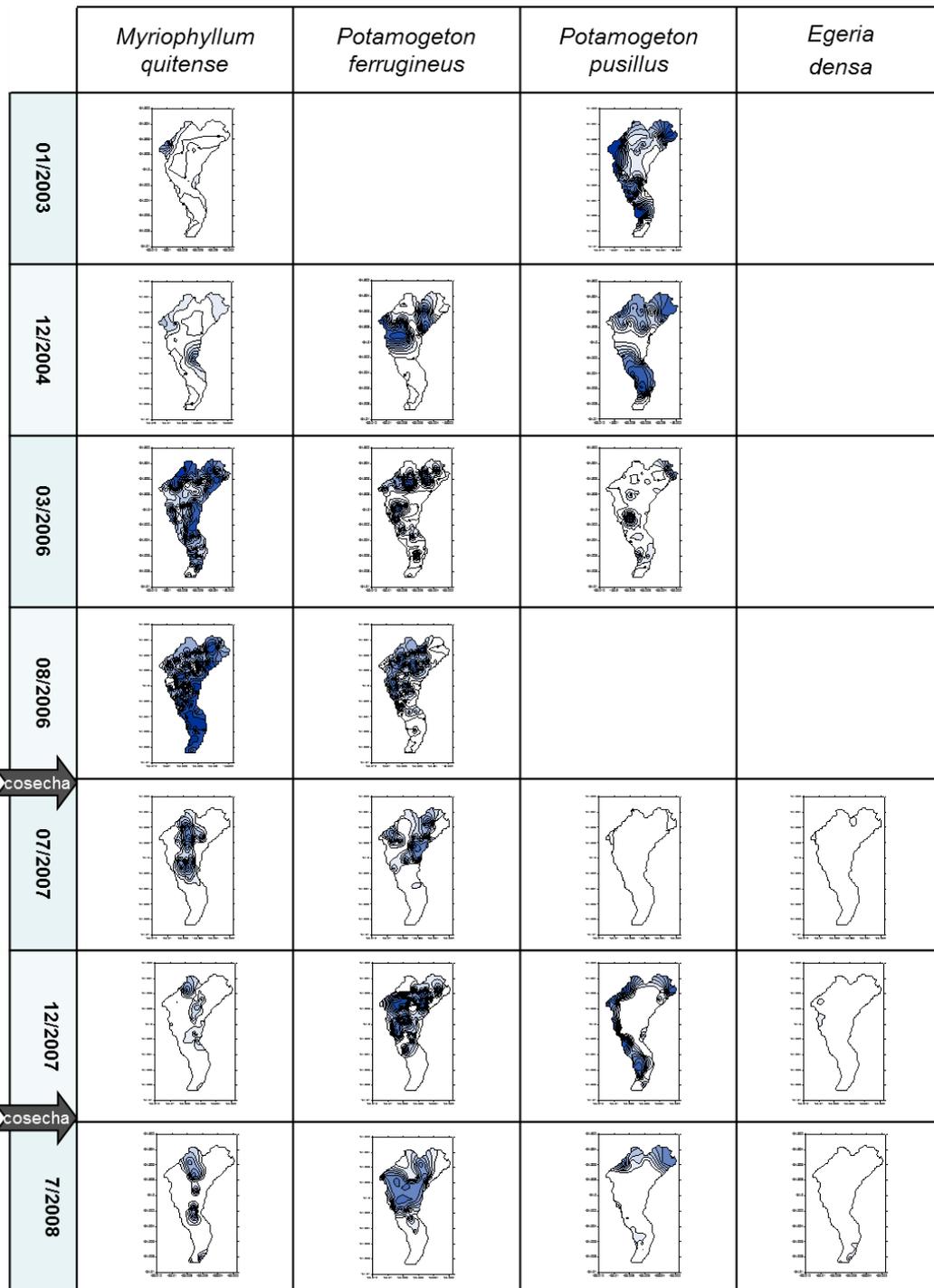


**Fig. 54.-** Programa de monitoreo tipo 1 (aplicable a lagos navegables). (\*) la estratificación térmica (existencia de termoclina) se define por el registro de gradientes verticales de temperatura iguales o mayores a 1° C por metro.

El **programa de monitoreo tipo 2** fue diseñado para sistemas donde no sea posible aplicar programa de monitoreo tipo 1 en función de la extensión de la cobertura vegetal flotante la que limita la posibilidad de uso de embarcaciones con fines de monitoreo. Las condicionantes de funcionamiento establecidas por una densa cobertura vegetal establecen una fuerte atenuación lumínica (efecto sombra) que limita el desarrollo del fitoplancton, la fotosíntesis en la columna de agua y la producción local de oxígeno, así como la llegada de oxígeno por intercambio con la atmósfera. En estos casos se recomienda que el monitoreo periódico de estos sistemas se centre en dos componentes principales: 1) cobertura vegetal y 2) calidad de agua de los afluentes y efluentes superficiales del sistema (en caso de existir). El primer punto involucra el registro estacional de la composición, distribución y cobertura vegetal. Este esquema puede deber ser intensificado durante los meses cálidos del año. El relevamiento puede ser realizado visualmente, registrando en la impresión del contorno del lago trazado sobre una cuadrícula, o a partir de fotografías aéreas por ejemplo tomadas por drones. El segundo punto involucra el monitoreo de los afluentes y efluentes superficiales de los sistemas en el caso de existir (ej. Lago adyacente al Centro Cívico). En estos puntos se aconseja la inclusión de los siguiente parámetros básicos: oxígeno disuelto, temperatura, pH, Turbidez, Transparencia, Conductividad, Alcalinidad, Amonio, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno total, Fósforo total, Fosfatos, Color

real y aparente, Sólidos suspendidos totales, Hierro, coliformes fecales, concentración de Clorofila a.

El **programa de monitoreo tipo 3** fue diseñado para los sistemas someros (< 5 m de profundidad). En la Ciudad de la Costa, los lagos con estas características serían únicamente los lagos nuevos ubicados en la Zona A (ver sección 10). Por ser someros, existe la posibilidad de que la luz (técnicamente la zona eufótica), alcance los sedimentos y permita la colonización de plantas sumergidas, las que a su vez pueden generar interferencias no deseadas con el comportamiento hidráulico de los sistemas, entre otras consecuencias no deseadas. En función de su baja relación volumen-área, a mediano-largo plazo este tipo de sistema puede resultar afectado por la acumulación de sedimentos (colmatación). El programa de monitoreo para lagos someros debe incluir necesariamente el seguimiento del volumen ocupado por las plantas (PVI o Plant Volume Infested) <sup>71</sup> (Fig. 55) y del nivel de acumulación de sedimentos. Otro parámetro ambiental relevante para comprender el funcionamiento de los lagos someros es la turbidez (partículas en suspensión) y el origen de la misma. Las variables mencionadas deberían complementarse con las resumidas en los programas de monitoreo tipo 1 y 2, en función de las condiciones particulares del lago. Es posible que muchos de los componentes del programa de monitoreo tipo 1 puedan ser implementados en el lago Central (Zona A).



**Fig. 55.-** Seguimiento del PVI de 4 especies de plantas acuáticas en Laguna del Diario (Maldonado, Uruguay). La información generada entre los años 2003-06 resultó un insumo fundamental para la definición de la estrategia de manejo (cosecha mecánica). Información generada por los autores.

Todos los programas propuestos de monitoreo deben también incluir un registro de eventos de malos olores, mortandades de peces, floraciones, presencia de verdín-espumas-scum, vertidos y derrames, además de realizar el seguimiento del estado de

la infraestructura que pueda contribuir o determinar la calidad de agua (obras de descarga, acumulación de residuos en la red de macrodrenaje, etc.).

En términos generales, no se considera necesario incluir la determinación estacional de elementos o sustancias como ser: Sulfatos, Cloruros, Fluoruros, Aluminio, Arsénico, Plomo, Mercurio, Cadmio, Sodio, Potasio, Manganeso, Zinc, Cobre, Niquel y Cromo, ni de aquellos relacionados con contaminación orgánica (DBO5, Oxidabilidad al permanganato, DQO). De todas formas, estos parámetros o un subconjunto de los mismos, deberían ser incluidos en sistemas bajo influencia de actividad industrial (como ejemplo lagos de Paso Carrasco) con una frecuencia ajustable en función de la evaluación de cada ciclo adaptativo. Debe considerarse también la inclusión de los mismos, frente a la constatación de vertimientos directos de aguas de desecho de origen urbano o industrial, ajustando la lista en función de los contaminantes pasibles de ser encontrados en el efluente. La inclusión del análisis de grasas e hidrocarburos también debe ser evaluado en función de las características del entorno de cada sistema. No se considera prioritaria la inclusión del análisis de plaguicidas o sus derivados, ya que los lagos no se encuentran en un entorno productivo con perfil agrícola, a menos que existan evidencias de hechos no previsibles (vertimientos, etc.).

De todas formas, aún no fuese esperable que cada una de estas sustancias se encuentre en niveles elevados, la acumulación de contaminantes en este tipo de sistemas, puede generar condiciones tóxicas para los organismos por efecto aditivo o sinérgico. En este contexto, antes de un enfoque analítico exhaustivo dirigido a todas las potenciales especies químicas pasibles de ser encontradas, se recomienda la inclusión de ensayos de toxicidad del agua y/o sedimentos provenientes de los lagos. En el país se cuenta con capacidad para realizar este tipo de ensayos utilizando organismos de grupos tan diversos como bacterias, cnidarios, crustáceos o peces. La

selección de los grupos a ser utilizados debe ser cuidadosamente caso a caso a priori de su aplicación.

Una pieza de información que no se ha generado para los lagos y que resulta imprescindible para el establecimiento de medidas de biomanipulación, es la evaluación de la estructura de la comunidad de peces de los lagos. Información sobre la estructura íctica de los lagos debería ser recabada con una frecuencia de muestreo entre bianual y trianual.

Todas las intervenciones de manejo y gestión ambiental realizadas por actores públicos, privados o arreglos mixtos, deberán acompañarse de programas de monitoreo que permitan evaluar objetivamente su nivel de éxito. Sólo adoptando este *modus operandi*, la gestión ambiental de los lagos canarios logrará aprender de los errores y consolidar los aciertos.

Los programas de monitoreo ejecutados para la evaluación de impacto de intervenciones específicas (ej. proyectos que involucren rellenos), deben ser mantenidos tiempo después del cese de actividades hasta que la administración considere que ya no involucran riesgos ambientales o sanitarios. Debe desarrollarse normativa sobre las vías de acción de la administración frente a incumplimientos o acciones que generen degradación ambiental en los sistemas.

Se aconseja fuertemente se genere una base de datos de acceso público-web que permita compilar la información generada por el programa de monitoreo, así como la realización y publicación de informes periódicos (Fig. 56).

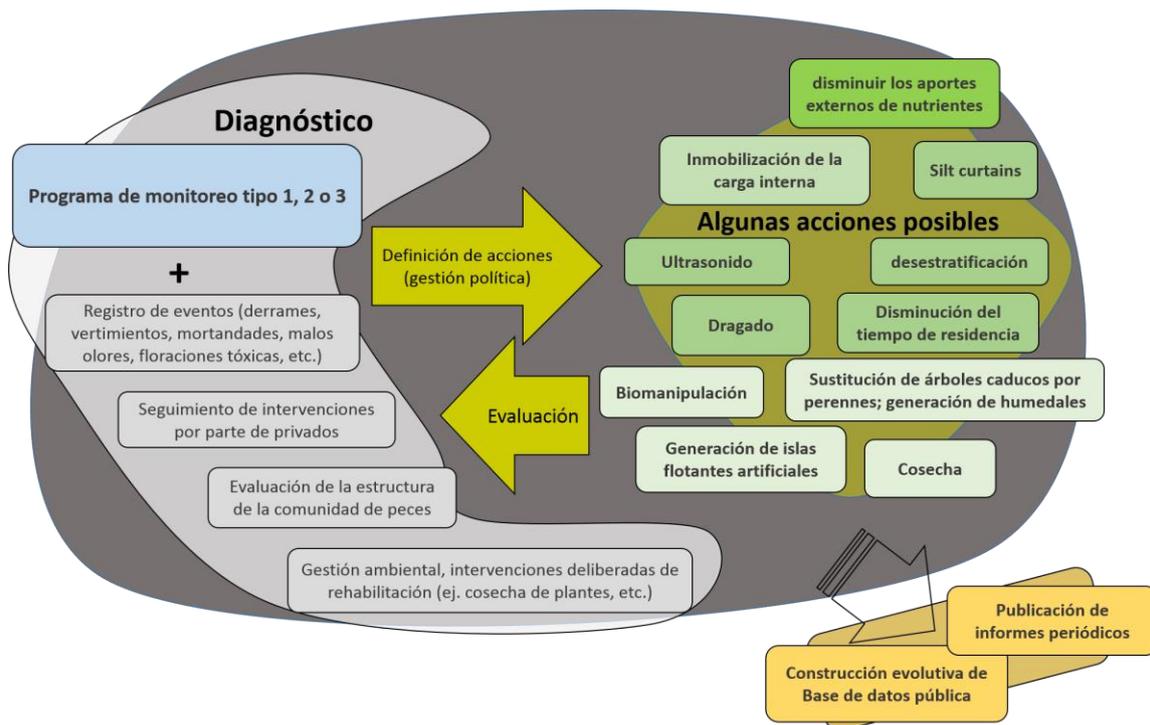


Fig. 56.- Ejemplo de componentes contribuyentes a un ciclo de gestión adaptativa (ver Fig. 35).

## 16. REFERENCIAS

- 1 IDC. *COSTAPLAN. Plan estratégico de ordenamiento territorial de la micro región de la costa.* (2011).
- 2 IDC. Plan Estratégico Departamental de Calidad de Agua. (Dirección General de Gestión Ambiental, Comuna Canaria, 2008).
- 3 Pintos, W., Sommaruga, R., Alfonso, O., Leon, R. D. & Conde, D. Reporte limnológico: Estado de la eutrofización del Lago Jardín (Canelones, Uruguay). 9 (Secc. Limnología, FHC, Montevideo, 1986).
- 4 OSE-IMC. Proyecto Ejecutivo Zona A. Proyecto ejecutivo de saneamiento, drenaje pluvial y vialidad en Ciudad de la Costa Memoria de drenaje pluvial. (Consorcio SOGREAHS-SAFECE-CSI, Montevideo, 2008).
- 5 Henríquez, C. Nuevas Perspectivas en Ecología Urbana. (Instituto de Geografía, Universidad Católica de Chile, Santiago, 2005).
- 6 Castro Boñano, J. M. *Indicadores de desarrollo sostenible urbano. Una aplicación para Andalucía* PhD thesis, Universidad de Málaga, (2002).
- 7 Santiago Ramos, J. *La Naturaleza en la Ciudad. Perspectivas teóricas y metodológicas para el estudio de la funcionalidad ambiental del espacio libre.* 159 (Consejería de Obras Públicas y Transportes, 2008).
- 8 Niemelä, J. Ecology and urban planning. *Biodiversity and Conservation* 8, 119-131 (1999).
- 9 Rojas Hernández, J. & Parra Barrientos, O. (INET, GTZ, Buenos Aires, 2003).
- 10 WRI. *World Resources: People and ecosystems : the fraying web of life.* (World Resources Institute; United Nations Environment Programme; United Nations Development Programme; World Bank, 2000).
- 11 Resilience-Alliance. (Online: <http://www.resalliance.org/3871.php>, 2010).

- 12 Liu, J. *et al.* Complexity of Coupled Human and Natural Systems. *Science* **317**, 1513-1516, doi:10.1126/science.1144004 (2007).
- 13 Resilience-Alliance. *Assessing resilience in social-ecological systems: Workbook for practitioners*. Vol. Version 2.0 (2010).
- 14 Mateo Rodríguez, J. in *Material del curso de post grado de la maestría en Geografía, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente* (Editorial Universitaria, La Habana, Cuba, 2002).
- 15 Pickett, S. T. A. *et al.* Urban Ecological Systems: Linking Terrestrial Ecological, Physical, and Socioeconomic Components of Metropolitan Areas. *Annual Review of Ecology and Systematics* **32**, 127-157 (2001).
- 16 Goyenola, G., Acevedo, S., Machado, I. & Mazzeo, N. Diagnóstico del Estado Ambiental de los Sistemas Acuáticos Superficiales del Departamento de Canelones. Volumen II: Lagos del Sector Suroeste del Departamento. (Plan Estratégico Departamental de Calidad de Agua (PEDCA). Comuna Canaria; Facultad de Ciencias, Canelones, 2011).
- 17 WHO. in *Guidelines for safe recreational waters* Vol. Volume 1 - Coastal and fresh waters (ed WHO) 219 (2003).
- 18 Scheffer, M. & Jeppesen, E. in *The structuring role of submerged macrophytes in lakes* Vol. 131 *Ecological Studies* (eds E. Jeppesen, Ma. Søndergaard, Mo. Søndergaard, & K. Cristoffersen) 397-407 (Springer Verlag, 1998).
- 19 Meerhoff, M. *Efecto de la presencia de hidrófitas en la estructura de las comunidades de zooplancton y peces en un lago hipereutrófico somero*, PEDECIBA, Facultad de Ciencias, UDELAR, (2002).
- 20 Scheffer, M. *et al.* Floating plant dominance as a stable state. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **100**, 4040-4045 (2003).
- 21 Moss, B., Madgwick, J. & Phillips, G. *A guide to the restoration of nutrient-enriched shallow lakes.*, (Environment Agency (CE), 1996).
- 22 Carlson, R. E. A Trophic State Index for Lakes. *Limnology and Oceanography* **22**, 361-369 (1977).
- 23 Tarczynska, M. *et al.* Tests for the toxicity assessment of cyanobacterial bloom samples. *Environmental Toxicology* **16**, 383-390 (2001).
- 24 Chorus, I. & Bartram, J. (UNESCO, WHO and UNEP by E&FN Spon, London, 1999).
- 25 Jochimsen, E. M. *et al.* Liver failure and death after exposure to microcystins at hemodialysis center in Brazil. *The New England Journal of Medicine* **338**, 873-878 (1998).
- 26 Azevedo, S. M. F. O. *et al.* Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru/Brazil. *Toxicology* **181/182**, 441-446 (2002).
- 27 Bonilla, S., Pérez, M. & De León, L. Cyanophyceae plactónicas del lago Ton-ton, Canelones, Uruguay. *Hoehnea* **22**, 183-190 (1995).
- 28 Vidal, L. & Kruk, C. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) extends its distribution to Latitude 34°53'S: taxonomical and ecological features in Uruguayan eutrophic lakes. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* **3**, 142-151 (2008).
- 29 Persson, L., Anderson, G., Hamrin, S. F. & Johansson, L. in *Complex interactions in lake communities* (ed S.E Carpenter) 45-65 (Springer-Verlag, 1988).
- 30 Jeppesen, E. *The ecology of shallow lakes. Trophic interactions in the pelagial. Doctor's dissertation (DSc)*. . Vol. Technical report No. 247 (National Environmental Research Institut, 1998).
- 31 McQueen, D. J., Post, J. R. & Mills, E. L. Trophic relationships in freshwater pelagic ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **43**, 1571-1581 (1986).
- 32 Carpenter, S. R. & Kitchell, J. F. (Cambridge University Press, Cambridge, 1996).
- 33 Timms, R. M. & Moss, B. Prevention of growth of potentially dense phytoplankton populations by zooplankton grazing, in the presence of zooplanktivorous fish, in a shallow wetland ecosystem. *Limnology and Oceanography* **29**, 472-476 (1984).

- 34 Lauridsen, T. L. & Buenk, I. Diel changes in the horizontal distribution of zooplankton in two shallow eutrophic lakes. *Archives of Hydrobiology* **137**, 161–176 (1996).
- 35 Lauridsen, T. L., Jeppesen, E., Søndergaard, M. & Lodge, D. M. in *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes* (eds E. Jeppesen, M. Søndergaard, & K. Christoffersen) 233–239 (Springer, 1998).
- 36 Acevedo, V. & Gómez, P. Productores primarios del lago La Botavara. (Sección Limnología, Facultad de Ciencias, sin fecha).
- 37 Acevedo, V., Crisci, C., García, S., Gómez, P. & Marroni, S. Herbivoría y bacterivoría por el zooplancton en un lago hipereutrófico dominado por *Ceratium hirudinella*. (Curso Limnología 2, Sección Limnología, Facultad de Ciencias, 2003).
- 38 EL\_Observador. Lagos de Carrasco presentan organismos de riesgo tóxico. Una perra murió hora y media después de bañarse en el lago Martínez. <http://www.elobservador.com.uy/noticia/239959/lagos-de-carrasco-presentan-organismos-de-riesgo-toxico/>. (22/12/2012).
- 39 Somma, A. *et al.* Informe sobre la calidad del agua del Lago Calcagno e implicancias para el uso recreativo: Informe destinado a los vecinos del lago Calcagno, Canelones (Facultad de Ciencias, UDELAR, 2013).
- 40 Sommaruga, R. Variación temporal del número de bacterias amonificadoras herpobénticas en un sistema eutrófico, Lago Ton-Ton (Canelones, Uruguay). *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral* **18**, 123-130 (1987).
- 41 Sommaruga, R. Sediment oxygen demand in man-made Lake Ton-Ton (Uruguay). *Hydrobiologia* **215**, 215-221 (1991).
- 42 CSI, MTOP & Corporación-Vial. Plan de acción lago la Botavara. Anteproyecto. 96 (2010).
- 43 Geo-Canelones. *Geo-Canelones*. 350 (PNUMA, Comuna Canaria, MVOTMA, CLAES, 2009).
- 44 Hosper, H. Stable states, buffers and switches: an ecosystem approach to the restoration and management of shallow lakes in the Netherlands. *Wat. Sci. Tech.* **37**, 151-194 (1998).
- 45 Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J. A., Folke, C. & Walker, B. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* **413**, 591-596 (2001).
- 46 Shapiro, J., Lamarra, V. & Lynch, M. in *Water quality management through biological control* (eds P.L. Brozonik & J.F. Fox) 85-96 (1975).
- 47 Perrow, M., Meijer, M.-L., Dawidowicz, P. & Coops, H. Biomanipulation in shallow lakes: state of the art. *Hydrobiologia* **342/343**, 355-365 (1997).
- 48 de Bernardi, R. & Giussani, G. in *Directrices para la gestión de lagos* Vol. 7 (eds R. de Bernardi & G. Giussani) (International Lake Environment Committee - PNUMA, 1997).
- 49 AMB. Plan de gestión ambiental del distrito capital. P. G. A. 2008 - 2038. (Alcaldía Mayor de Bogotá. Secretaria Distrital de Ambiente, Bogotá, D. C., Colombia, 2010).
- 50 EPA. *Guidance for In-Situ Subaqueous Capping of Contaminated Sediments*. <http://www.epa.gov/qlnpo/sediment/iscmain/three.html>, accedido 01/2014).
- 51 Van Oosterhout, J. F. X. & Lurling, M. in *Brasilian Conference of Limnology*.
- 52 Hemond, F. & Lin, K. Nitrate suppresses internal phosphorus loading in an eutrophic lake. *Water Research* **44**, 3645-3650 (2010).
- 53 Fernandez, R. L. *et al.* Effects of bubbling operations on a thermally stratified reservoir: implications for water quality amelioration. *Water Science & Technology* **66**, 2722-2730 (2012).
- 54 Ozimek, T., Gulati, R.D., van Donk, E. Can macrophytes be useful in biomanipulation of lakes? The lake Zwemlust example. *Hydrobiologia* **200/201**, 399–407 (1990).
- 55 van Donk, E., Gulati, R. D., Iedema, A. & Meulemans, J. Macrophyte-related shifts in the nitrogen and phosphorus contents of the different trophic levels in a biomanipulated shallow lake. *Hydrobiologia* **251**, 19-26 (1993).

- 56 Weisner, S., Eriksson, G., Granéli, W. & Leonardson, L. Influence of macrophytes on nitrate removal in wetlands. *Ambio* **23**, 363–366 (1994).
- 57 Barko, J. W. & James, W. F. in *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes* Vol. 131 *Ecological Studies* (ed E. Jeppesen, M. Søndergaard, M. Søndergaard & K. Christoffersen) 197-217 (Springer, 1998).
- 58 James, W. F. & Barko, J. V. Macrophyte influences on the zonation of sediment accretion and composition in a north-temperate reservoir. *Archives of Hydrobiology* **2**, 129-142 (1990).
- 59 Wium-Andersen, S., Christophersen, C. & Houen, G. Allelopathic effects on phytoplankton by substances isolated from aquatic macrophytes (Charales). *Oikos* **39**, 187–190 (1982).
- 60 Jasser, I. The influence of macrophytes on a phytoplankton community in experimental conditions. *Hydrobiologia* **306**, 21-32 (1995).
- 61 Lauridsen, T. L. & Lodge, D. M. Avoidance of *Daphnia magna* by fish and macrophytes: chemical cues and predator-mediated use of macrophyte habitat. *Limnology and Oceanography* **41**, 794–798 (1996).
- 62 Burks, R. L., Jeppesen, E. & Lodge, D. M. Macrophyte and fish chemicals suppress *Daphnia* growth and alter life-history traits. *Oikos* **88**, 139–148 (2000).
- 63 Kruk, C. *et al.* in *Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya* (eds R. Menafra, L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino, & D. Conde) 599-610 (Vida Silvestre Uruguay, 2006).
- 64 Teixeira de Mello, F., González-Bergonzoni, I. & Loureiro, M. *Peces de agua dulce del Uruguay*. 188 (PPR-MGAP, 2011).
- 65 SSI. *Sustainable Sites Initiative: Guidelines and Performance Benchmarks*. (<http://www.sustainablesites.org/report>, 2009).
- 66 Benítez, C. *Paisajes de agua. Ciudad de la Costa* Licenciatura en Diseño de Paisaje thesis, UDELAR, (2014).
- 67 Folke, C. Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change* **16**, 253-267 (2006).
- 68 Chorus, I., Falconer, I. R., Salas, H. J. & Bartram, J. Health risks caused by freshwater cyanobacteria in recreational waters. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews* **3**, 323 - 347 (2000).
- 69 Pérez, M. *et al.* Limited analytical capacity for cyanotoxins in developing countries may hide serious environmental health problems: Simple and affordable methods may be the answer. *Journal of Environmental Management* **114**, 63-71, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.052> (2013).
- 70 Bonilla, S. & otros. Vol. Documento Técnico 16 (PHI-VII, 2009).
- 71 Canfield, D. E. j. *et al.* Prediction of chlorophyll a concentrations in Florida lakes: importance of aquatic macrophytes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* **41**, 497-501 (1984).



## Adjunto A.-

Valores obtenidos en el muestreo del 1/06/2013 para muestras tomadas en zona costera (de baños). Variables: Ficocianina (número de células cianobacterianas que contienen ficocianina por mL); ORP (potencial REDOX; mV), %O<sub>2</sub> (porcentaje de saturación de oxígeno); O<sub>2</sub> (concentración de oxígeno disuelto, mg/L); Clorofila a en suspensión (si bien la sonda expresa como µg/L; Los valores de clorofila a en negro fueron obtenidos por extracción etanólica, las medidas en rojo fueron obtenidas con sonda fluorimétrica *in situ*. pH; K sp (conductividad específica, µS/cm); Nutrientes (NH<sub>4</sub>: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; NO<sub>3</sub>: NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NTD: nitrógeno total disuelto; NT: nitrógeno total; PRS: fósforo reactivo soluble; PTD: fósforo total disuelto; PT: fósforo total). Todas las concentraciones expresada como (µg/L de átomos de N o P, según corresponda). N/P (estequiometría): relación estequiométrica entre el número de átomos de Nitrógeno y Fósforo.

Lago	Ficocianina cells/ml*	ORP	%O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> (mg/L)	Clorofila (ug/L)	pH	K sp	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NTD	NT	PRS	PTD	PT	N/P (estequiometría)
Del Puente	32000	187	116.6	11.8	154	8.19	657	6	181	485	614	31	34	72	18.9
Del Duque	4000	-185	7.0	0.8	1	6.60	583	777	653	1459	1567	918	990	1045	3.3
Fiscal	19000	37	110.3	11.2	24	8.09	452	12	194	313	324	9	39	53	13.5
Javier	430310	85	113.1	10.9	113	8.11	479	285	212	507	550	0	28	75	16.2
Martínez	21756	142	32.0	3.2	53.6	7.27	517	208	774	1314	1728	581	619	1763	2.2
Cicsa	4224	200	63.1	6.5	13	7.04	530	35	175	453	744	62	140	326	5.0
Roosevelt	643	53	60.9	6.1	23	7.05	569	194	175	389	399	9	37	56	15.7
Kennedy	114168	107	60.0	5.9	140	8.67	461	10	162	260	851	0	23	171	11.0
Botavara	1299	114	105.8	10.6	4	8.33	389	50	194	249	281	10	31	42	14.8
km 20	22829	168	146.5	14.3	97	8.48	616	nd	nd	nd	1190	nd	nd	896	2.9
Jardín	1078	202	90.0	8.8	2	7.62	600	316	622	959	1034	272	379	420	5.4
Hípico	1197	174	21.7	2.2	5	7.19	348	10	200	550	657	18	75	146	10.0
Seco García I	1707	153	44.1	4.5	4	7.04	627	12	206	356	969	18	37	59	36.1
Seco García II	445	110	54.9	5.6	15	6.85	393	323	263	926	1012	95	206	234	9.6
mínimo	445	-185	7	1	1	7	348	6	162	249	281	0	23	42	2
máximo	430310	202	147	14	154	9	657	777	774	1459	1728	918	990	1763	36
promedio	46761	110	73	7	46	8	516	172	308	632	852	156	203	383	12

---

Convenio

**Bases técnicas para el establecimiento de un plan de gestión ambiental  
de los lagos de la Ciudad de la Costa y zonas aledañas**

---

Informe final  
Setiembre 2014

**Cita sugerida:** Goyenola, G., Teixeira de Mello, F., Bianchi, P., Fuentes, M., Pacheco, P., Benítez, C., Fosalba, C., Mazzeo, N. 2014. Bases técnicas para el establecimiento de un plan de gestión ambiental de los lagos de la Ciudad de la Costa. Informe Final. Centro Universitario Regional Este- Facultad de Ciencias-, UDELAR. 130 pp.

