



Ministerio
de Ambiente

**Monitoreo de Calidad del Agua
Laguna del Sauce
Informe del período estival 2019-2020**



Diciembre 2020

Área de Información Planificación y Calidad Ambiental

Gerente: Ing. Quím. Marisol Mallo

División Evaluación de Calidad Ambiental – DECA

Director: Ing. Luis Reolón

Dpto. Evaluación Ambiental Integrada

Jefe de Dpto.:Mag. Lizet De León

Redacción del Informe

Mag. Mariana Nin - Consultora

Responsable del Programa de Monitoreo

OSE-UGD, Centro Universitario Regional Este (UdelaR) y Dirección Nacional de Medio Ambiente (MVOTMA)

Muestreo, análisis de campo y laboratorio

OSE-UGD

Centro Universitario Regional Este (UdelaR)

Análisis de información satelital

DINAMA-División Información Ambiental

Elaboración de mapas

Lic. Andrea Barbieri

DINAMA-División Información Ambiental

Foto de tapa

Carolina Sellanes

RESUMEN

La Laguna del Sauce es una laguna costera ubicada al Suroeste del departamento de Maldonado, con una cuenca de drenaje de aproximadamente 70.500 hectáreas, en la que se desarrollan principalmente actividades agropecuarias y urbanas. El agua colectada en esta cuenca abastece la toma de agua para potabilización de la Unidad de Gestión Desconcentrada de OSE (OSE-UGD), que brinda agua potable al 95% de la población fija y flotante del Departamento de Maldonado, siendo la segunda planta en importancia del país en términos de población abastecida. En los últimos 100 años la Laguna del Sauce ha sufrido un proceso de deterioro en su calidad de agua que ha sido ampliamente documentado mediante estudios científicos, que indican que en la actualidad se trata de un sistema eutrofizado, como consecuencia del aporte de nutrientes (principalmente Fósforo y Nitrógeno) desde la cuenca, así como por la modificación en la dinámica de descarga al mar por la construcción de una presa en el Arroyo El Potrero. Esto implica un elevado riesgo de floraciones algales en el cuerpo de agua, lo cual representa un impacto ambiental para los ecosistemas y genera conflicto con los usos del agua por parte de la población (agua potable, recreación, etc).

En este informe se presentan los resultados sobre la calidad del agua de la Laguna del Sauce en el período estival 2019-2020, obtenidos en el monitoreo semanal del cuerpo de agua, el monitoreo diario de la toma de agua de OSE-UGD, el monitoreo continuo mediante sonda automática ubicada en la toma de agua, y un monitoreo satelital de frecuencia diaria cuya ejecución se encuentra en fase inicial. En los casos que corresponde se evaluó el cumplimiento de la normativa nacional (Decreto 253/79) así como de otros valores guía de calidad de agua (Mesa técnica del Agua 2017) o valores objetivo de calidad de agua (GESTA AGUA 2014).

El período considerado se caracterizó por dos eventos de floración algal dominados por cianobacterias que abarcaron gran parte del sistema, determinando cambios en distintos parámetros de calidad de agua. El primero de ellos ocurrió entre mediados de diciembre y mediados de enero en todo el sistema, alcanzando los mayores biovolúmenes de cianobacterias el día 6 de enero, en las estaciones Potrero, Cisnes y Sauce Sur (16, 12 y 10 mm³/l respectivamente), dominando especies del género *Microcystis* en primer lugar y *Dolichospermum* sp. luego. El segundo evento comenzó a principios de marzo y se sostuvo hasta el final del período monitoreado, extendiéndose por el cuerpo principal de la laguna y el sub-sistema Cisne (las estaciones Arroyo Sauce y Potrero no presentaron floración); los mayores biovolúmenes fueron más bajos que en la floración anterior (hasta 10 mm³/l) y se alcanzaron en Sauce Norte y Sur entre fines de marzo y fines de abril, con dominancia de especies del género *Cylindrospermopsis* y *Dolichospermum* sp. En ambos casos la floración generó modificaciones en los parámetros físicos y químicos del agua, que fueron más acentuados durante el primer evento referido: se incrementaron el pH, la turbidez, el oxígeno disuelto y la saturación de oxígeno así como la variabilidad de la misma. Durante ambos eventos se detectó ocasionalmente presencia de cianotoxinas (principalmente saxitoxina) en el agua.

Durante todo el período considerado el proceso de potabilización se desarrolló dentro de los márgenes de manejo previstos, lo que permitió asegurar la buena calidad del agua potable elevada a la red.

Desde febrero de 2020 se puso en marcha de forma piloto la articulación entre el monitoreo en terreno y el monitoreo satelital, lo que permitió dar un seguimiento de frecuencia diaria a la evolución y distribución de las floraciones en el cuerpo de agua. Esta fuente de información contribuyó a generar intercambios y comunicaciones rápidas a la población potencialmente afectada por la floración, además de contribuir con información de alta frecuencia al seguimiento del estado de la calidad del agua.

ÍNDICE

RESUMEN	3
ÍNDICE.....	5
INTRODUCCIÓN	6
Objetivo	7
ÁREA DE ESTUDIO	7
MÉTODOS	8
Variables medidas y niveles de comparación	9
RESULTADOS	11
Parámetros hidrológicos básicos	11
Parámetros biológicos	17
Toxinas.....	22
Monitoreo satelital de floraciones	23
DISCUSIÓN	25
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

INTRODUCCIÓN

El agua colectada en la cuenca de la Laguna del Sauce abastece la toma de agua para potabilización de la Unidad de Gestión Desconcentrada de OSE (OSE-UGD), que brinda agua potable al 95% de la población fija y flotante del Departamento de Maldonado, comprendiendo a las ciudades de Maldonado, San Carlos, Punta del Este, Piriápolis y los balnearios ubicados entre Solís y Punta Negra. Es el segundo sistema de potabilización más importante del país atendiendo, en situaciones de picos estivales, en el entorno de las 400 mil personas, momentos en donde se ha alcanzado la producción de 4.300 m³/h, siendo el caudal máximo de diseño previsto de 7.000 m³/h. Dado que el abastecimiento de agua potable es el principal destino del agua en la cuenca, la Laguna del Sauce ha sido categorizado como cuerpo de agua Clase 1, de acuerdo a los criterios establecidos por el Decreto 253/79. Es el único sistema acuático con estas características.

Este cuerpo de agua ha sufrido en los últimos 100 años un proceso de deterioro en su calidad de agua que ha sido ampliamente documentado mediante estudios científicos (Rodríguez 2006, Mazzeo et al. 2010, Rodríguez et al. 2010^a, Rodríguez et al. 2010^b, entre otros) que lo han clasificado como un sistema eutrófico, principalmente como consecuencia del alto contenido en Fósforo. Los principales forzantes de esta situación son la construcción de la presa en el año 1945, que afecta el proceso de descarga de agua y sedimentos hacia el Río de la Plata; el aporte excesivo de nutrientes de las actividades agrícola-ganaderas de la cuenca; y el aporte desde localidades urbanas (aguas negras, grises y pluviales) y emprendimientos industriales de la cuenca (URAGUA 2001, RM 617^a/015). Este estado basal implica un elevado riesgo de floraciones algales en el cuerpo de agua, con presencia ocasional de cianobacterias y sus toxinas, y la consecuente afectación del proceso de potabilización, así como de sus usos recreativos y abrevadero.

La preocupación a nivel institucional y social por la situación antes detallada llevó que en 2010 se conformara la Comisión de Cuenca de la Laguna del Sauce (Decreto No 358/010), constituyendo la primera Comisión de Cuenca del país. Durante sus primeros años de funcionamiento la misma se abocó a la elaboración del Plan de Acción para la Protección de la Calidad de Agua de Laguna del Sauce, que fue aprobado en junio de 2015 por el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (RM 617/015). Este documento incluye un conjunto de medidas orientadas a controlar, detener y revertir el proceso de deterioro de la calidad de agua (12 principales y 7 accesorias) así como el diseño y ejecución de un monitoreo eficaz y multi-propósito, que permita conocer el funcionamiento del sistema así como alertar de forma temprana la ocurrencia de floraciones u otros eventos que pueden interferir con el proceso de potabilización. Si bien tanto OSE-UGD como el CURE (UdelaR) ya realizaban monitoreos en la cuenca, estos no se encontraban necesariamente coordinados, ni existía un intercambio fluido de información. A partir del Plan de acción se estableció el monitoreo conjunto y coordinado entre ambas instituciones, así como mecanismos de intercambio de información en corto y mediano plazo (diario, semanal, integrados mensuales) entre las mismas instituciones y la DINAMA. A su vez la información de los Monitoreos es disponibilizada para toda la población en el Observatorio Ambiental Nacional (DINAMA-Ministerio de Ambiente).

El programa de monitoreo de calidad de agua de Laguna del Sauce se ha ido perfeccionando en función de aprendizajes y recomendaciones técnicas (Crisci et al, 2017^a), y en la actualidad se compone de:

- Monitoreo estival: Orientado a la detección temprana de floraciones algales en el cuerpo de agua de la laguna, en el momento del año de mayor riesgo por las condiciones climáticas. Es de frecuencia semanal, abarca desde noviembre a mayo, e incluye seis estaciones distribuidas en la laguna y sistemas asociados. Se lleva a cabo desde diciembre de 2015 a cargo del Centro Universitario Regional Este bajo responsabilidad de OSE-UGD. Se evalúan variables físicas, químicas y biológicas.
- Diario: Orientado al manejo del proceso de potabilización en función de las condiciones del agua que ingresa (agua bruta). Es de frecuencia diaria, e incluye un único punto de monitoreo que es la toma de agua de OSE-UGD. Se evalúan variables físicas, químicas y biológicas. Se encuentra a cargo de OSE-UGD.
- Continuo: Orientado a anticipar en tiempo real el manejo del proceso de potabilización en función de las condiciones del agua que ingresa (agua bruta). Se trata de un monitoreo automático mediante sonda fija que se realiza cada 15 minutos desde diciembre de 2019 (con ensayos previos desde 2016). Incluye un único punto de monitoreo ubicado en la toma de agua de OSE-UGD. Se evalúan variables físicas y químicas. Se encuentra a cargo de OSE-UGD.
- Satelital: Orientado a la detección de floraciones en todo el cuerpo de agua. Es un monitoreo a través de imágenes satelitales que abarca toda la superficie del cuerpo de agua, se realiza de forma diaria desde febrero de 2020 (con algunas variaciones dependiendo de la disponibilidad de información satelital). Por el momento incluye la evaluación de presencia/ausencia de floraciones, su distribución espacial, y una medida cuali-cuantitativa de su magnitud. Este monitoreo se encuentra a cargo de la DINAMA (División Información Ambiental y División Calidad Ambiental).

Los datos resultantes de todo el programa de monitoreo se encuentran en la base de datos compartida entre la Dirección Nacional de Medio Ambiente (MVOTMA), OSE-UGD y el CURE; así como en los informes sinópticos que resumen las variables físicas, químicas y los correspondientes informes de fitoplancton elaborados por CURE y OSE-UGD; y en la base de datos de OSE-UGD. La información es disponibilizada a toda la población a través del Sistema de Información Ambiental (DINAMA-MVOTMA), mediante el Observatorio Ambiental Nacional (<https://www.dinama.gub.uy/oan/>).

Objetivo

El objetivo de este informe es mostrar de forma sintética los resultados del programa de monitoreo de calidad de agua durante la temporada estival 2019-2020, integrando información de los cuatro tipos de monitoreo detallados.

ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna del Sauce es una laguna costera que ubica en la zona Sur-Oeste del departamento de Maldonado, con una cuenca que se extiende en una superficie aproximada de 70.500 ha (Figura 1). Los principales tributarios de la Laguna son el Arroyo Pan de Azúcar, que recorre la cuenca Oeste en sentido Norte-Sur y el Arroyo Sauce que recorre en el mismo sentido la porción ubicada al Este de la anterior. La Laguna presenta una conexión natural con el Río de la Plata a través del Arroyo Potrero, que se encuentra interrumpida desde mediados del siglo pasado por la construcción de una presa al inicio del mencionado curso de agua.

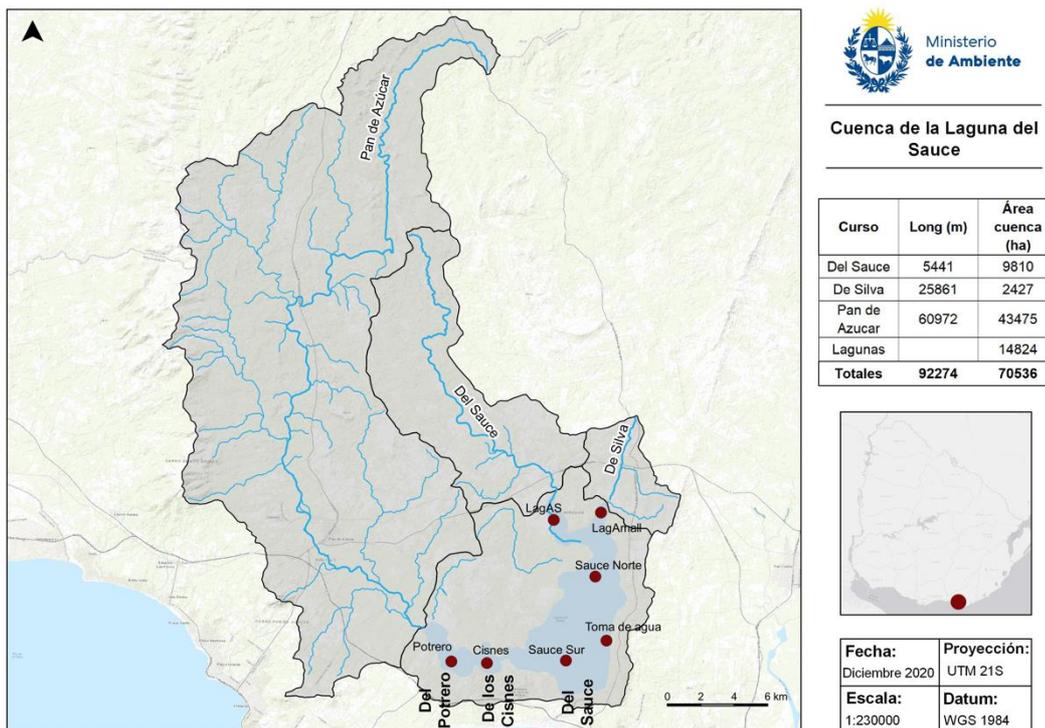


Figura 1. Cuenca de la Laguna del Sauce, subcuencas y red hídrica. Se indican con puntos los sitios de monitoreo, referidos en la sección siguiente.

El sistema Laguna del Sauce se encuentra integrado por tres lagunas interconectadas: Laguna del Sauce (corresponde al cuerpo principal, con cerca de 4000 ha), Laguna de los Cisnes (con conexión hacia la anterior y la siguiente, siendo la más pequeña con aproximadamente 200 ha), y Laguna del Potrero (que conecta la desembocadura del Arroyo Pan de Azúcar, principal afluente, con la Laguna de los Cisnes, y tiene una superficie aproximada de 400 ha).

MÉTODOS

El período considerado en este informe abarca desde inicios de noviembre de 2019 hasta mediados-fines de mayo de 2020 (existen ciertas diferencias en el período considerado en los distintos tipos de monitoreo). A continuación se describe el detalle de cada monitoreo para esta temporada y las variables incluidas en resultados.

- Muestreo semanal:
 - **Período abarcado:** 6 de noviembre de 2019 al 18 de mayo de 2020.
 - **Estaciones de monitoreo:** seis estaciones ubicadas en el cuerpo de agua como se muestra en la Figura 1, a las que se accedió mediante embarcación a motor.
 - **Variables monitoreadas:**
 - *In situ*, mediante sonda multiparamétrica YSI: Temperatura, pH, Conductividad, Oxígeno disuelto, Saturación de Oxígeno, Clorofila a, Ficocianina, Turbidez.
 - En laboratorio: análisis cuantitativo y cualitativo de fitoplancton. En cada punto se tomaron muestras de:
 - Tres muestras (réplicas) cuantitativas de fitoplancton, integrando verticalmente la columna de agua en cada punto mediante un tubo

muestreador de 10cm de diámetro y 2m de largo.

- Una muestra cualitativa integrada de fitoplancton para posterior medición, identificación taxonómica y fotografía de los organismos mayores a 2 μm en microscopio óptico, mediante arrastres manuales de red de plancton de 20 μm de malla (hasta 4 arrastres de 3m de largo, dependiendo de la concentración de fitoplancton).

La cuantificación del fitoplancton fue realizada: en Biovolumen, considerando el volumen ocupado por los organismos fitoplanctónicos en un volumen conocido de muestra ($\text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) y en células equivalentes por mililitro, como Biovolumen * 10000 (Cel Eq.mL⁻¹).

- Muestreo diario:
 - **Período abarcado:** 2 de enero al 27 de mayo de 2020.
 - **Estaciones de monitoreo:** toma de agua de OSE-UGD (Figura 1).
 - **VARIABLES MONITOREADAS:** análisis cuantitativos y cualitativos de cianobacterias, análisis cuantitativos de toxinas¹. Todos los análisis realizados en el Laboratorio de OSE-UGD.
- Muestreo continuo:
 - **Período abarcado:** 3 de diciembre de 2019 al 26 de mayo de 2020.
 - **Estaciones de monitoreo:** toma de agua de OSE-UGD (Figura 1).
 - **VARIABLES MONITOREADAS:** Temperatura, pH, turbidez, saturación de Oxígeno, Ficocianina (Fluorescencia y concentración), Clorofila a (Fluorescencia), todas in situ mediante sonda automática.
- Monitoreo satelital:
 - **Período abarcado:** 10 de febrero al 12 de junio de 2020.
 - **Estaciones de monitoreo:** imagen satelital de todo el cuerpo de agua.
 - **VARIABLES MONITOREADAS:** ocurrencia y distribución de floraciones. Base de datos: satélites Sentinel 2 y 3, Planet.

Variables medidas y niveles de comparación

Para determinar el estado de calidad del agua las variables evaluadas se comparan en primera instancia con los estándares indicados por el Decreto 253/79 y modificativos (Tabla 2). En caso que para algunas variables no se cuente con estándar se realiza la comparación con los valores guía establecidos en la Guía GESTA Agua de DINAMA (2014) y por la Mesa Técnica del agua (2017). En el caso de los estándares (los primeros referidos) se trata de valores establecidos por normativa, que deberían ser cumplidos para asegurar una buena calidad del cuerpo de agua de acuerdo al tipo de cuerpo de agua, mientras que los valores guía (los dos últimos) se trata de valores sugeridos desde ámbitos técnicos a alcanzar como meta en cuerpos de agua no eutrofizados.

¹ Existe información sobre variables físicas y químicas pero esta no fue considerada por no contar con una serie de datos completa.

Tabla 2. Niveles comparativos: estándares de calidad de agua definidos para cuerpos Clase 1 (Decreto 253/79) y valores guía (se indican únicamente aquellas variables para las que no existe estándar).

VARIABLES	Estándar 253/79	Valor Guía Gesta 2014	Valor Guía Mesa Técnica del agua 2017
Temperatura	-	Mantenimiento de las condiciones naturales	-
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	-
Turbidez	Máx. 50 NTU	Incremento de valores históricos en un 10% valor natural o en su defecto 50 UNT	-
Oxígeno Disuelto	Min. 5 mg/l	Min. 5 mg/l	-
Clorofila A	-	-	0,010 mg/L

RESULTADOS

Parámetros hidrológicos básicos

- **Temperatura**

La temperatura promedio del período fue de 22,10 en el registro de la sonda, y de 22,54 °C en el monitoreo semanal, un valor de un grado por debajo de la temperatura promedio de la temporada anterior (23,58 °C, aunque el período monitoreado en la temporada anterior abarcó el período noviembre-marzo, no abarcando meses más fríos) (DINAMA, 2019).

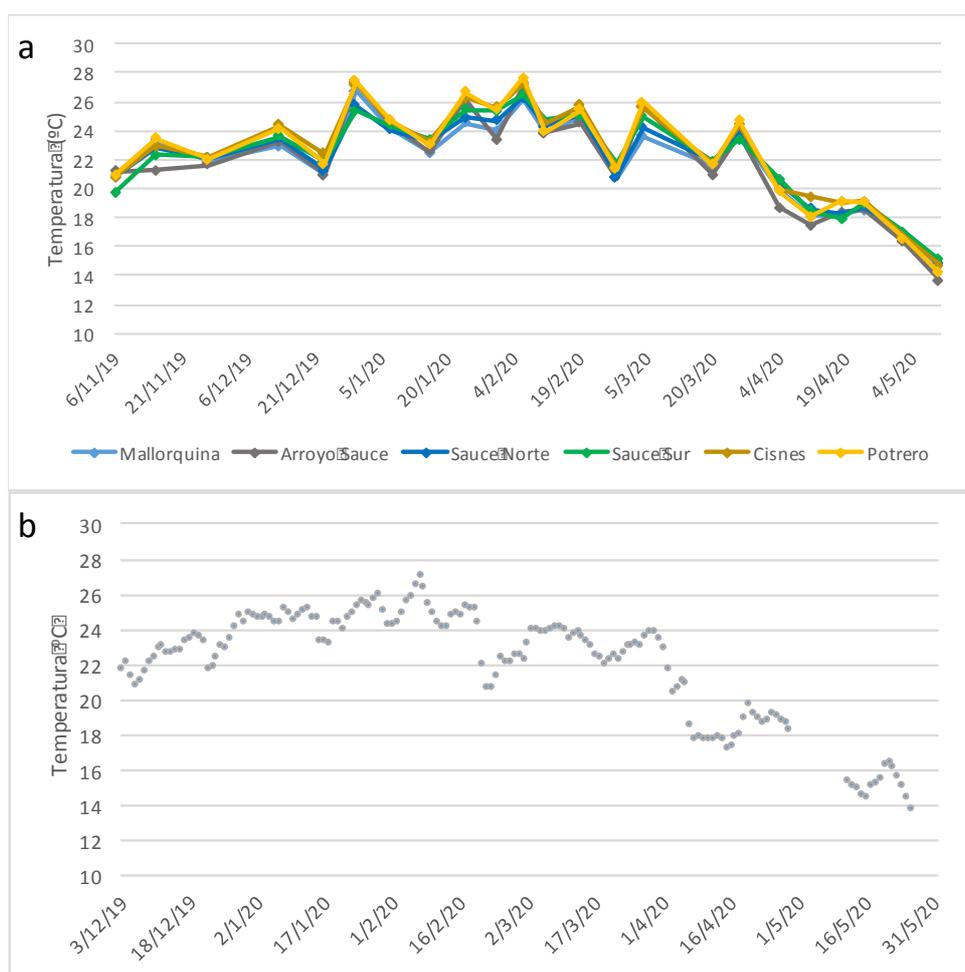


Figura 3. Variación de la temperatura superficial en el período estival en (a) las estaciones de muestreo semanal y (b) el promedio diario del registro de la sonda multiparamétrica.

En el monitoreo semanal este parámetro se comportó de manera uniforme entre las distintas estaciones, comenzando el período con valores por debajo de los 24 °C, para incrementarse en términos promedio entre enero y marzo (aunque con alta variabilidad, presentando valores entre 21 y 28 °C) y luego volver a descender a partir de abril hasta un mínimo en torno a los 14 °C en el último muestreo realizado (Figura 3^a). Las temperaturas máximas se registraron el 7 de enero y el 6 de febrero (casi 28 °C en ambos casos).

Los promedios diarios de temperatura obtenidos a partir del registro continuo de la sonda presentaron una tendencia similar a la descrita para el monitoreo semanal (Figura 3b).

pH

El valor promedio de pH para el período fue de 7,95 en el registro de la sonda, y de 7,59 en el monitoreo semanal, un valor apenas por encima del promedio de la temporada estival anterior (7,28) (DINAMA, 2019).

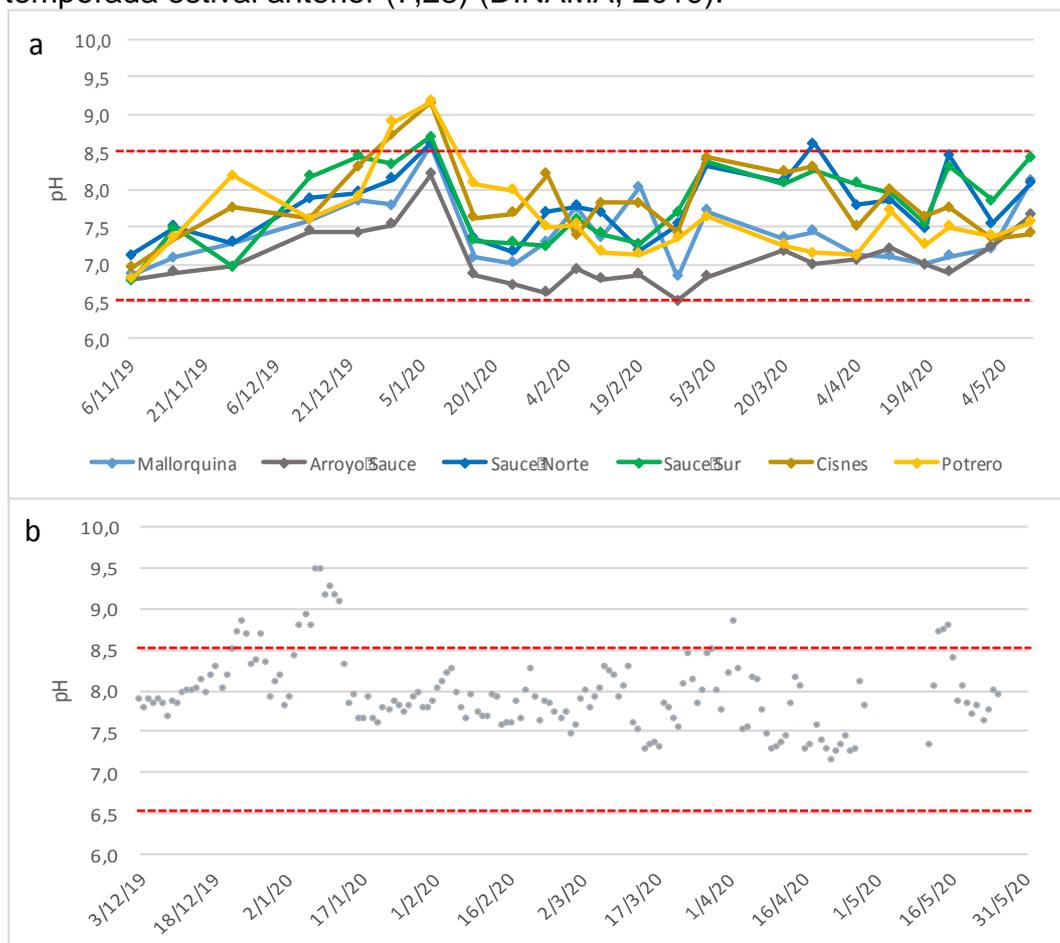


Figura 4. Variación del pH superficial en el período estival en (a) las estaciones de muestreo semanal y (b) el promedio diario del registro de la sonda multiparamétrica.

En el monitoreo semanal, los valores de pH variaron entre 6,5 y 8,5 en todas las estaciones (Figura 4). Arroyo Sauce fue en la gran mayoría de los casos la estación que presentó valores más bajos, manteniendo la tendencia mostrada en veranos anteriores. Los valores mas elevados fueron registrados para todas las estaciones en el muestreo del 7 de enero, coincidiendo con un pico de temperatura (ver sección anterior), momento en el cual todas las estaciones (excepto Arroyo Sauce) presentaron valores por encima del umbral de 8,5 establecido por el Decreto 253/79 para los cursos de Clase 1 (alcanzando un máximo de 9,2 en Cisnes y Potrero). Luego de esa fecha los valores en todas las estaciones descendieron, y se mantuvieron por debajo de 7,5 en Arroyo sauce, Potrero y en la mayoría de los muestreos Mallorca. Sin embargo

Cisnes, Sauce sur y Sauce norte se incrementaron nuevamente a partir de comienzos de marzo, tendencia que se sostuvo hasta el final del período, con importantes variaciones.

Los promedios diarios de pH calculados a partir del registro de la sonda variaron, en su gran mayoría, en valores entre 7,0 y 8,5, consistente con lo observado en las estaciones ubicadas en el cuerpo principal de la laguna (Figura 4b). Sin embargo el umbral de 8.5 fue superado en más oportunidades, detectándose un primer incremento por encima de este valor sobre los últimos días de diciembre que alcanza promedios entre 8,5 y 9; un segundo incremento coincidente con el registrado *in situ*, en la primer quincena de enero, que alcanza los máximos del período (hasta 9,5); un incremento puntual a fines de marzo, y otro a mediados de mayo. Además durante los días de verano el promedio diario de pH presentó menos variabilidad que durante los días de otoño.

- **Conductividad**

La Conductividad fue evaluada únicamente en el monitoreo semanal, y presentó un promedio de 151,41 $\mu\text{S}/\text{cm}$, un poco por encima del promedio de la temporada anterior (130,48 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (DINAMA, 2019).

Este parámetro presentó un comportamiento similar en el conjunto de estaciones con incremento en las semanas de verano, y valores menores en noviembre y a partir de marzo, aunque dentro de rangos de variación distintos (Figura 5). En las estaciones ubicadas en el cuerpo principal de la laguna (Sauce norte y sur, Mallorquina y Arroyo Sauce) se registraron valores entre 110 y 156 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en Cisnes entre 130 y 188 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y en Potrero entre 170 y 236 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo esta última la estación con mayor conductividad. En todos los casos los valores máximos se registraron en el monitoreo del 6 de febrero. Esta diferencia tan marcada entre estaciones no se había presentado en el período estival anterior.

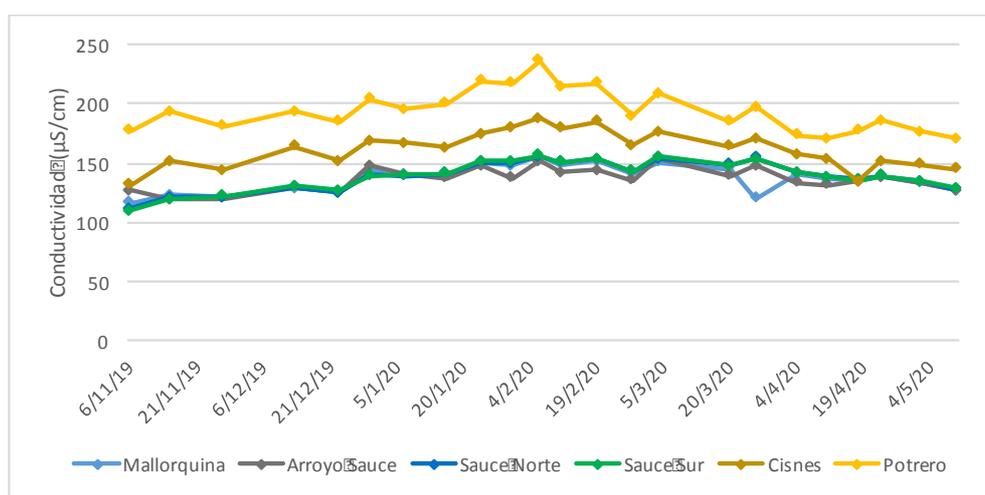


Figura 5. Variación de la conductividad superficial en el período estival en las estaciones de muestreo semanal.

- **Oxígeno**

El oxígeno disuelto fue registrado únicamente en el monitoreo semanal y presentó un valor promedio para toda la temporada de 8,65 mg/l (1 mg/l por encima del promedio de la temporada anterior) (DINAMA, 2019).

El comportamiento de la variable fue similar entre las distintas estaciones de muestreo, con excepción del período entre el 21 de enero y el 4 de febrero, en el que Cisnes y Potrero registraron un incremento y posterior descenso, alcanzando un máximo de 11,3 mg/l y 11,6 mg/l respectivamente (Figura 6). Arroyo Sauce fue la estación que presentó valores más bajos durante casi todo el período, acompañada de Potrero a partir del descenso antes mencionado. Hacia el final del período se observó una tendencia al incremento en la variable en todas las estaciones, que presentaron valores iguales o por encima del promedio total.

Todos los valores registrados para esta variable cumplen con la normativa de calidad de agua.

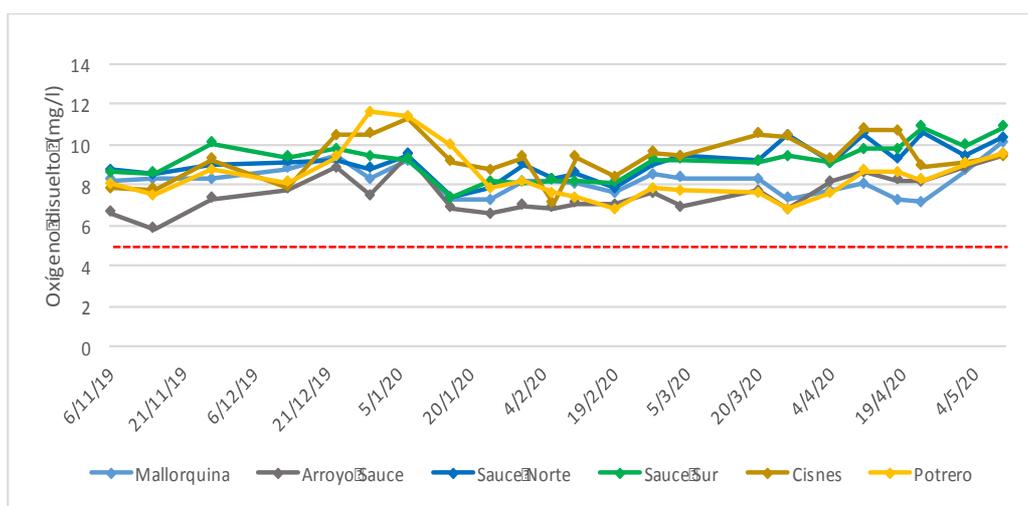


Figura 6. Variación del Oxígeno disuelto en el período estival en las estaciones de muestreo semanal. Se indica con la línea punteada roja el umbral mínimo definido por el Decreto 253/79 para cuerpos de agua de Clase 1 (5mg/l).

La saturación de oxígeno promedio para el período fue de 72,95 % en el registro de la sonda y 99,10% en el monitoreo semanal, siendo el primero menor y el segundo un 15 % mayor al de la temporada anterior (85,39 %) (DINAMA, 2019). Este parámetro presentó valores predominantemente entre 80 y 120% en el monitoreo semanal, con valores puntuales por fuera de ese rango, y entre 40 y 100 % en el registro de la sonda (Figura 7). Esta diferencia en los rangos de variación se explicaría por la ubicación de la sonda, ya que las estaciones que registran los valores más extremos en el monitoreo semanal son los ubicados fuera del cuerpo principal de la laguna (donde sí se ubica la sonda). En línea con lo anterior, Cisne y Potrero presentaron un incremento destacado en la primer quincena de enero que registró valores hasta de 140%, y Arroyo Sauce presentó valores siempre por debajo del conjunto, registrando mínimos del entorno de 65%, y registrando también el incremento de la primer quincena de enero (Figura 7^a).

La saturación de oxígeno en el registro de la sonda inició el período con valores poco variables y relativamente altos, entre 80 y 100 %, y la variabilidad se fue incrementando durante los días de verano, en general en un rango de valores más bajos (40-90%) (Figura 7b). Hacia la primera quincena de mayo la saturación de oxígeno en la sonda presentó valores nuevamente más elevados y menos variables.

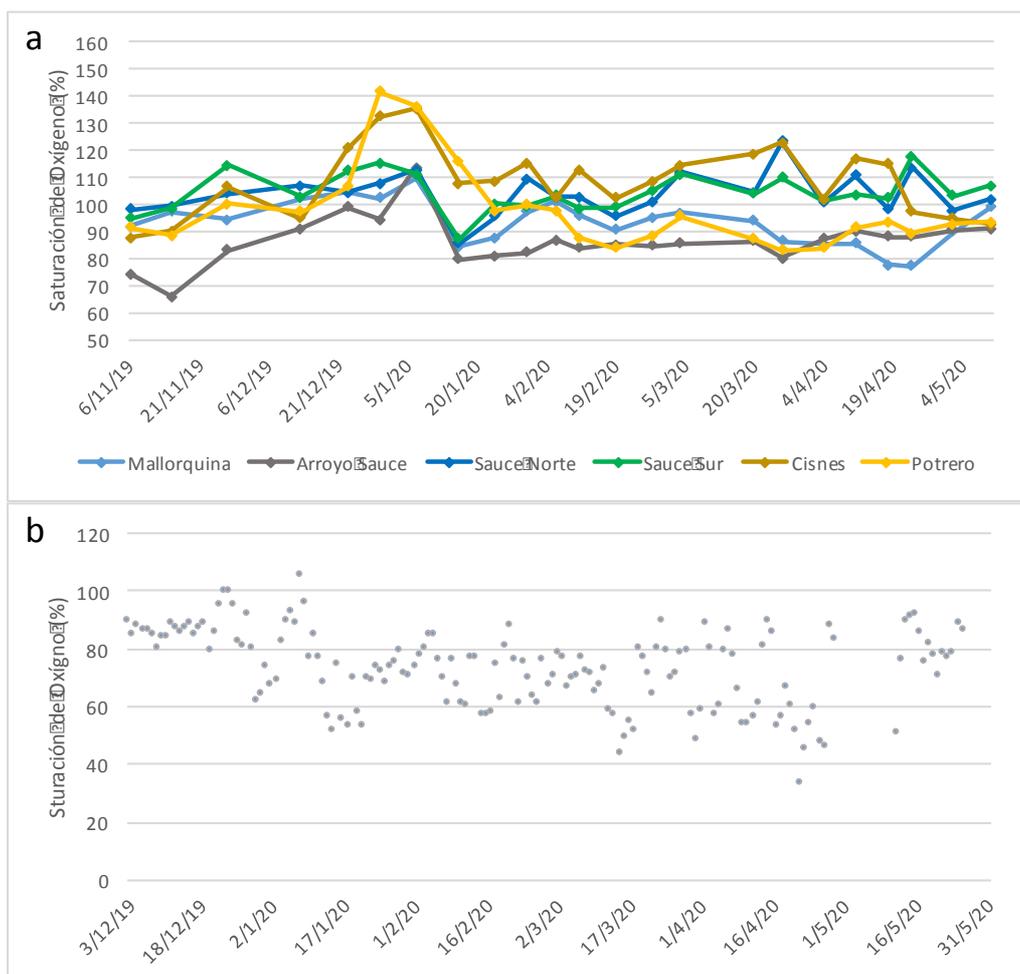


Figura 7. Variación de la Saturación de Oxígeno superficial en el período estival en (a) las estaciones de muestreo semanal y (b) el promedio diario del registro de la sonda multiparamétrica.

- **Turbidez**

La turbidez promedio para el período fue de 10.05 NTU en el registro de la sonda y de 13,75 NTU en el monitoreo semanal, estando esta última un punto por debajo de la turbidez promedio de la temporada estival anterior (14,63) (DINAMA, 2019).

El comportamiento de la variable fue similar en los dos tipos de monitoreo, comenzando el período con una amplia variabilidad tanto entre estaciones como entre fechas de muestreo, oscilando en valores entre 5 y 25 NTU (Figura 8). En la primera quincena de enero la turbidez presentó un marcado incremento en las estaciones Cisnes y Potrero que alcanzó valores de 30 y 36 NTU respectivamente, que coincidió con un incremento en el registro de la sonda que alcanzó un valor de 28 NTU el día 9 de enero. Posteriormente a este incremento la turbidez descendió en todo el sistema a valores predominantemente entre 0 y 10 NTU, situación que se sostuvo por la segunda quincena de enero y todo febrero. A partir de marzo y hasta el final del período la turbidez se incrementó, así como su variabilidad entre estaciones y entre días, pasando a estar determinada principalmente por la ocurrencia de floraciones que se describen más adelante en este informe. Los valores máximos se registraron en la segunda

quincena de marzo-comienzos de abril (dependiendo la estación), y alcanzaron los 40 y 42 NTU (en Sauce Norte y Mallorcaina respectivamente) y un promedio diario de 52 NTU en la sonda.

Esta última situación, junto con un promedio diario de igual valor del 25 de mayo, fueron los dos casos en los que el valor promedio de turbidez superó el límite superior establecido por el Decreto 253 (50 NTU).

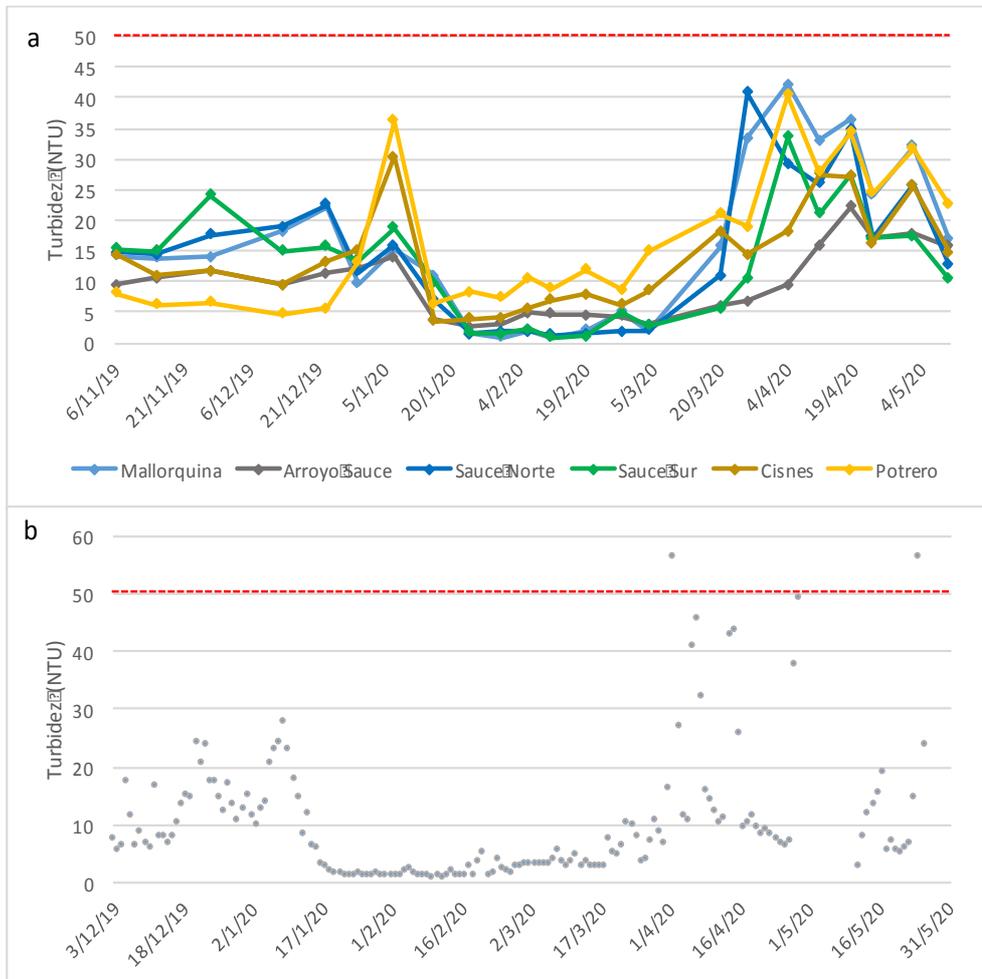


Figura 8. Variación de la Turbidez superficial en el período estival en (a) las estaciones de muestreo semanal y (b) el promedio diario del registro de la sonda multiparamétrica.

Parámetros biológicos

• Clorofila a

La concentración de Clorofila a *in situ* (estimador de la biomasa de fitoplancton) en el monitoreo semanal presentó un promedio para todo el período de 6,95 $\mu\text{g/L}$, muy cercano al promedio de la temporada anterior (6,64 $\mu\text{g/L}$) (DINAMA, 2019). La sonda multiparámetro registra la concentración de Clorofila a en unidades de fluorescencia y no se cuenta con antecedentes en estos términos para su comparación.

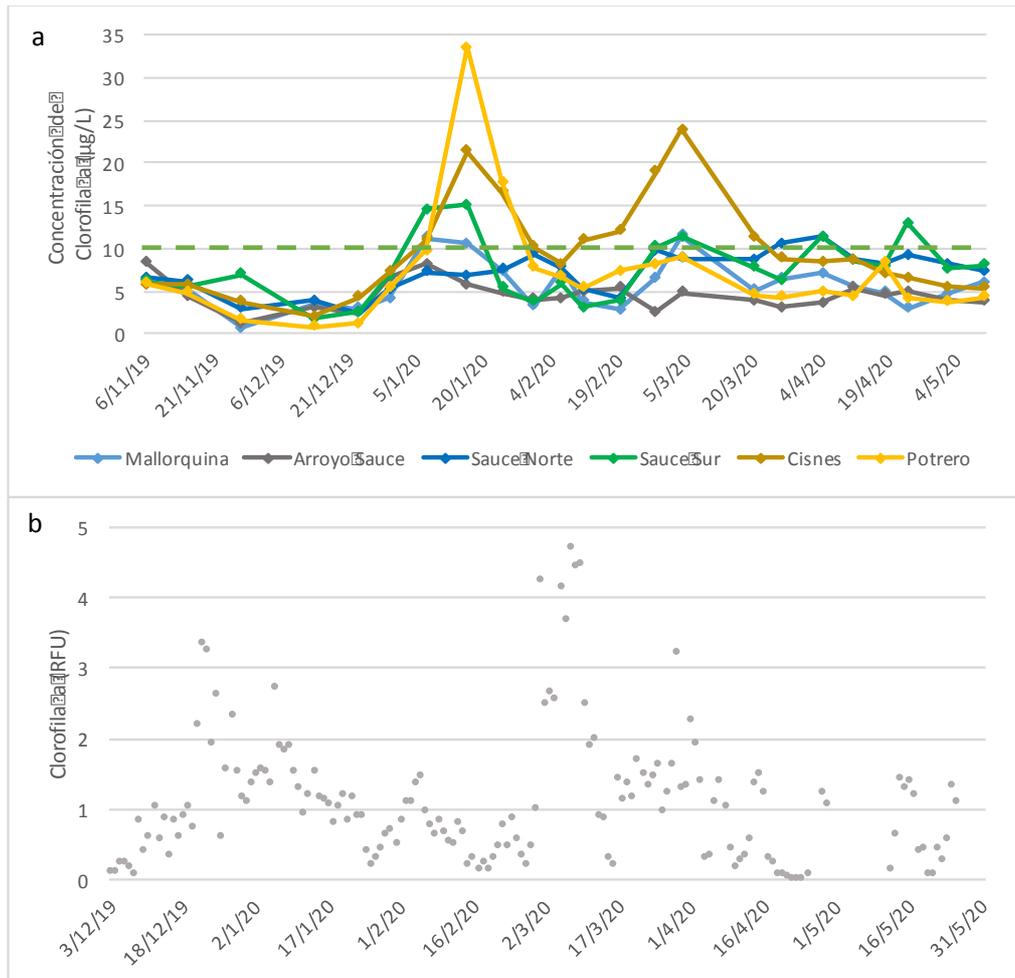


Figura 9. Variación de la Clorofila a superficial en el período estival en (a) las estaciones de muestreo semanal y (b) el promedio diario del registro de la sonda multiparamétrica. La línea punteada verde en la figura a indica el valor guía establecido por la Mesa Técnica del Agua para este parámetro.

Durante noviembre y diciembre los valores de Clorofila a fueron menores a 10 $\mu\text{g/L}$ en todas las estaciones del monitoreo semanal, y en la sonda se registraron también valores bajos (Figura 9). A partir de fines de diciembre-comienzos de enero en ambos registros los valores se incrementaron, así como su variabilidad espacial y temporal. El registro del monitoreo semanal presentó dos momentos de elevada concentración de Clorofila a, que indican un incremento en la abundancia de fitoplancton (Figura 9^a): el primero durante los primeros 20 días de enero, alcanzando sus valores máximos el día 16, y el segundo en la primera

quincena de marzo, que alcanzó los valores máximos el 4 de ese mes. En ambos casos el incremento fue notoriamente mayor en algunos de los sistemas asociados al cuerpo principal de la laguna: Cisnes y Potrero en el primer caso, y Cisnes en el segundo. Arroyo Sauce acompañó en menor medida el incremento de enero, y no así el de marzo. Los dos momentos referidos registraron valores por encima del valor guía propuesto por la Mesa Técnica del agua (10 µg/L), en las estaciones Cisnes, Potrero, Sauce Sur y Mallorca, mientras que Sauce Sur superó nuevamente el umbral en abril y mayo, y Sauce Norte en abril. La superación de este valor guía representa un alerta primario para la vigilancia del sistema en relación a su estado trófico (MTA, 2017).

En la sonda (Figura 9b) se registraron los mismos incrementos, aunque el de marzo presentó valores mucho más elevados que el de enero.

- **Ficocianina**

La cantidad de Cianobacterias, medida in situ como Unidades Relativas de Fluorescencia (RFU), mostró un comportamiento similar al de la Clorofila, dando cuenta que el comportamiento general del Fitoplancton se debe en gran medida a las variaciones en el grupo de las Cianobacterias (Figura 10).

En ambos registros los valores de noviembre, diciembre y febrero fueron bajos (excepto un incremento puntual en Sauce Sur a fines de noviembre). El período estuvo marcado por dos momentos de incremento en la RFU: uno de corta duración, durante fines de diciembre-comienzos de enero, y otro que inicia a mediados de marzo y se mantiene hasta el final del período. En el primer caso el incremento se dio en todas las estaciones, aunque de forma más marcada en Cisnes y Potrero, mientras que el segundo no se manifestó en Potrero ni en Arroyo Sauce, y fue principalmente marcado en Sauce Norte. Hacia la última fecha de muestreo (10 de mayo) estos valores elevados seguían instalados en Sauce Sur, Sauce Norte y Mallorca, habiendo retomado valores bajos en Cisnes. El registro de la sonda muestra un comportamiento similar al de Sauce Norte (los valores obtenidos no son comparables ya que los sensores cuentan con diferente calibración; estos gráficos deben ser interpretados por separado y únicamente en términos relativos).

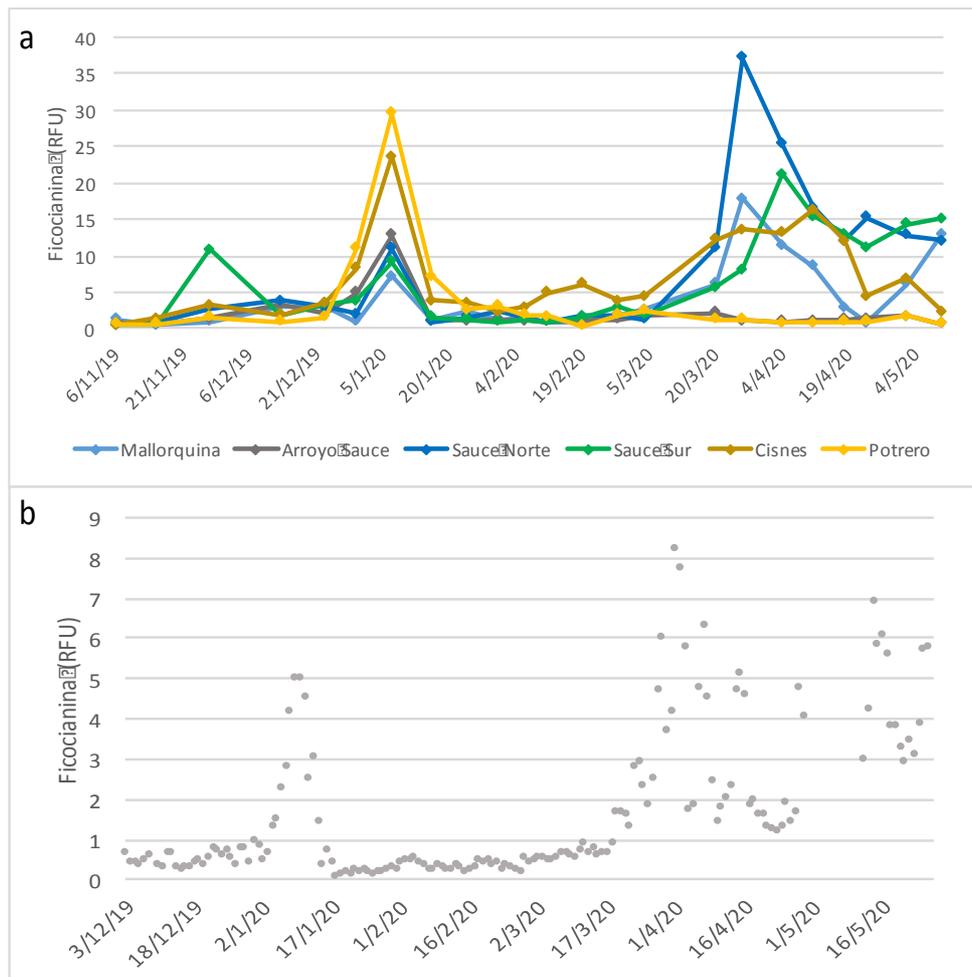


Figura 10. Variación de la Ficocianina superficial en el período estival en (a) las estaciones de muestreo semanal y (b) el promedio diario del registro de la sonda multiparamétrica. Los valores obtenidos en uno y otro monitoreo no son comparables ya que los sensores cuentan con diferente calibración; estos gráficos deben ser interpretados por separado y únicamente en términos relativos.

- **Fitoplancton**

La Figura 11 muestra la variación del biovolumen de Fitoplancton y de Cianobacterias a lo largo del período en las seis estaciones monitoreadas semanalmente. En concordancia con los datos de clorofila y ficocianina presentados anteriormente, se observaron dos picos de elevado crecimiento de fitoplancton (el primero en diciembre-enero y el segundo en marzo y que continúa (aunque menos acentuado) hasta el final del período de monitoreo. Este último incremento no se presentó en Arroyo Sauce y Potrero, que presentaron únicamente el pico de crecimiento de diciembre-enero.

La floración de diciembre-enero se manifestó en todas los sitios de muestreo, en un rango temporal que abarcó desde mediados de diciembre hasta la primera quincena de enero (un poco más en algunos casos). Los valores más elevados de biovolumen se alcanzaron en Potrero (casi $16 \text{ mm}^3/\text{l}$), Cisnes (casi $12 \text{ mm}^3/\text{l}$) y Sauce Sur (casi $10 \text{ mm}^3/\text{l}$), en el muestreo del 7 de enero. El valor de referencia es de $2 \text{ mm}^3/\text{l}$ por encima de la cual se considera que la densidad es alta.

En todos los sitios esta floración presentó una fase inicial dominada por cianobacterias (especies del género *Microcystis*, del grupo de las Chroococcales, con biovolúmenes menores de *Dolichospermum*, del grupo de las Nostocales), con abundancias importantes de diatomeas (del género *Aulacoseira*). La importancia relativa de las diatomeas se incrementó sobre el 23 de diciembre, para luego colapsar y dar paso a una dominancia absoluta del grupo de cianobacterias. De este modo, diciembre finalizó con todo el sector Sur de la laguna y los sistemas asociados, con una floración instalada de cianobacterias, dominada ahora por especies del género *Dolichospermum* (casi exclusivamente *Dolichospermum circinalis*). Sauce Norte y Bahía Mallorquina mantuvieron la floración de diatomeas, lo que explica la diferencia entre el biovolumen de fitoplancton total y de cianobacterias que se observa en la Figura 11 sobre fines de diciembre-principios de enero para estas estaciones. Esta situación se sostuvo, y la abundancia de *Dolichospermum circinalis* continuó en aumento hasta alcanzar los mayores valores registrados en toda la temporada en el muestreo del 7 de enero. A partir de esa fecha se dio un colapso abrupto de la floración, que generó que en el muestreo del 16 de enero los valores de biovolumen fueran más bajos, con excepción de Potrero en el que se mantuvo una floración de diatomeas (filamentos del género *Aulacoseira* y diatomeas céntricas del género *Cyclotella*, todas de relativamente gran tamaño respecto de las cianobacterias), acompañada por especies de los grupos Cryptophyta y en menor medida Chlorophyta.

En el registro del laboratorio de OSE-UGD (desde el 1/1/20) los datos también muestran una clara dominancia de especies del grupo de las cianobacterias Nostocales (en particular especies del género *Dolichospermum*) durante la floración de comienzos de enero, con presencia en mucho menor abundancia de especies del grupo de las Chroococcales (Figura 12, notar la diferencia de ejes de referencia que tienen los dos grupos mencionados), y con un marcado colapso de la floración el día 13 de enero.

La floración que inició a principios-mediados de marzo se presentó en Bahía Mallorquina, Sauce Norte y Sur, y Cisne, extendiéndose (con variaciones en abundancia) hasta el final del período monitoreado. La estación en la que se alcanzaron los volúmenes más altos de fitoplancton total fue Sauce Sur (casi 10 mm³/l el día 4 de marzo), y en la misma se desarrollaron los mayores biovolúmenes de cianobacterias (poco más de 3 mm³/l el día 26 de marzo). La floración comenzó con un incremento en el biovolumen de fitoplancton total dominado por especies no pertenecientes al grupo de las cianobacterias. Hacia fines de marzo decayó el biovolumen de fitoplancton total, pero aumentó el de cianobacterias en todos los puntos mencionados, siendo *Dolichospermum* y *Cylindrospermopsis* los géneros dominantes. En menores abundancias se registraron organismos de los géneros *Anabaenopsis* y *Cuspidothrix* (también Nostocales), *Planktolyngbya* (grupo Oscillatoriales), *Merismopedia* y *Aphanocapsa* (grupo Chroococcales). En Arroyo Sauce y Potrero no se registraron cianobacterias, con excepción de esta última a comienzos de mayo que desarrolló biovolumen bajo de cianobacterias.

Coincidiendo con el monitoreo semanal, en el laboratorio de OSE-UGD se registró abundancias elevadas de cianobacterias a partir del 20 de marzo y hasta el final del período de estudio, con importantes variaciones entre días (Figura 12). El máximo de abundancia se dio el 28 de marzo, alcanzando un total de poco más de 100000 cel.eq./ml. Las especies de cianobacterias que

desarrollaron las floraciones pertenecen exclusivamente al grupo de las Nostocales, siendo *Cylindrospermopsis cf. raciborskii* la especie responsable de las mayores abundancias, siempre acompañada de abundancias mas bajas y relativamente constantes de especies del género *Dolichospermum*, y en días puntuales presencia en muy baja abundancia de *Anabaenopsis* sp. (por debajo de las 1000 cél eq/mL). Durante el mes de marzo y primer quincena de abril se detectó también integrando la floración, aunque en cantidades muy por debajo de las Nostocales (el máximo fue de 70 cel.eq./ml), células del grupo de las Oscillatoriales (*Planktolyngbya* sp., con presencia ocasional de *Limnothrix* sp.). Asimismo se detectó presencia en muy baja abundancia (no cuantificada) de *Planktolyngbya* sp. en la última quincena del período. También en muy bajas abundancias (entre 36 y 180 cel.eq./ml), se detectó presencia de *Microcystis* (grupo Chroococcales) a comienzos de abril, y la misma especie junto con *Aphanocapsa* sp. en cantidades no cuantificadas (muy baja concentración) sobre mediados de mayo.



Figura 11. Variación del biovolumen (mm^3/l) de fitoplancton total (verde) y cianobacterias (anaranjado) en las seis estaciones que integran el monitoreo semanal, durante el período evaluado.

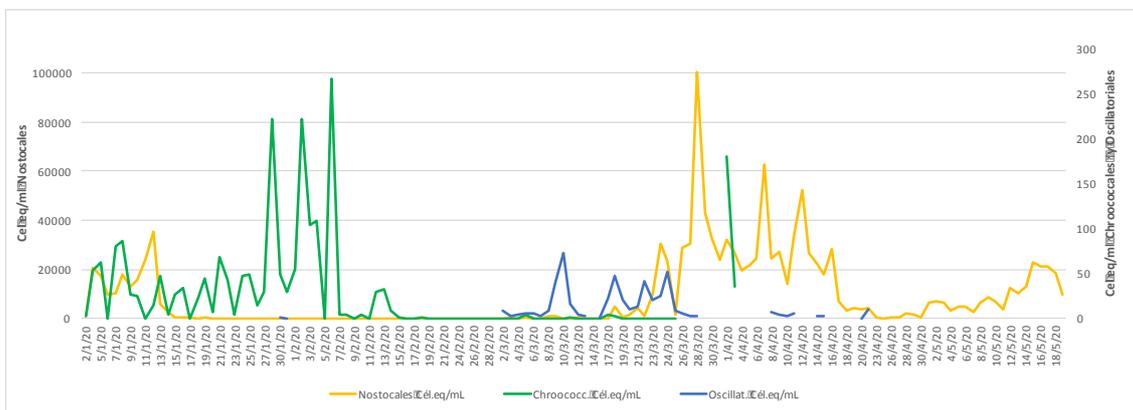


Figura 12. Variación de la abundancia (cel. eq./ml) de los tres grupos de cianobacterias en las muestras diarias de la toma de agua de OSE-UGD (gentileza del Laboratorio de OSE-UGD). Nótese que el eje de la izquierda hace referencia a la abundancia de especies Nostocales (línea amarilla), mientras que el eje de la derecha hace referencia a la abundancia de especies de los grupos Chroococcales y Oscillatoriales, por las diferencias que las abundancias de unos y otros grupos presentaron.

Toxinas

Las dos especies de cianobacterias que dominaron la floración presentan riesgo sanitario por producción de toxinas. *Dolychospermum* spp. es potencial productora de neuro y hepatotoxinas, mientras que el género *Cylindrospermopsis* es frecuente productor de saxitoxina (neurotoxina). A su vez, la primera tiene la propiedad de producir olor asociado a la geosmina, que ha generado en el pasado interferencias con el proceso de potabilización de agua. Lo mismo ocurre con las especies que se presentaron en menores biovolúmenes y/o abundancias: *Microcystis* sp. es potencial productor de la potente hepatotoxina microcistina, mientras que la *Planktolylnbya* sp. es potencial productora de saxitoxina, anatoxina y microcistina (neuro y hepatotoxinas).

El monitoreo de cianotoxinas se desarrolló únicamente en el Laboratorio de OSE-UGD. Sólo se detectaron cantidades por encima del límite de cuantificación para microcistina² en dos oportunidades, y para saxitoxina³ en 17 oportunidades, como se muestra en la figura 13. Las cantidades para ambas toxinas nunca fueron superiores a los 0,90 µg/L, encontrándose en la gran mayoría de los casos valores por debajo de 0,70 µg/L. La toxina microcistina fue detectada en una oportunidad durante la floración de enero, y en otra oportunidad (en mucha menor concentración) durante la floración del final del período. Saxitoxina fue detectada en cantidades cuantificables únicamente en la segunda floración mencionada.

Además de lo mostrado en la figura 13, se detectó presencia por debajo del nivel de cuantificación de:

- Microcistina, en 11 oportunidades durante la floración de marzo en adelante.
- Cilindrospermopsina, en 2 oportunidades en la floración de marzo (dos días consecutivos).

² El LC es 0,2 µg/L

³ El LC es 0,02 µg/L

- Saxitoxina, en una oportunidad durante la floración de enero.
- Anatoxina, en 3 oportunidades, una en enero y dos en marzo.

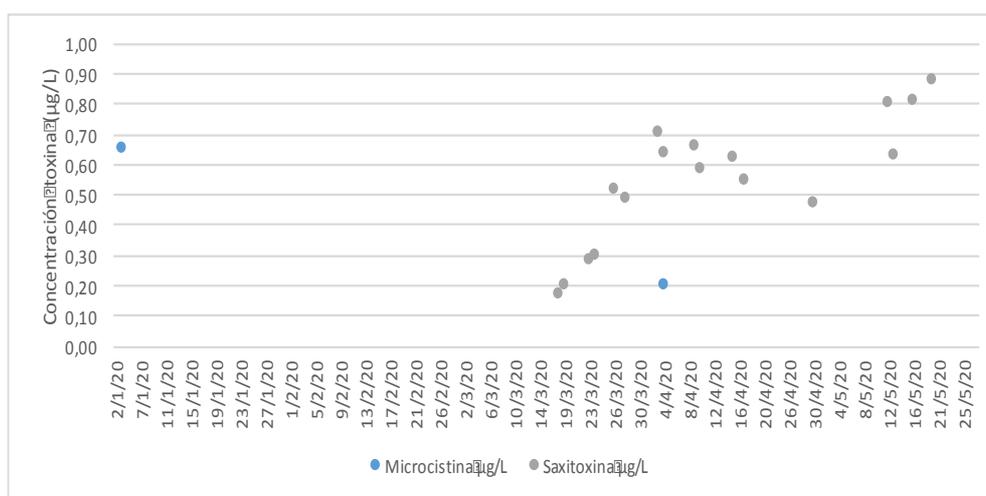


Figura 13. Concentración de cianotoxinas en el agua que ingresa a la planta de potabilización de OSE-UGD (gentileza del laboratorio de OSE-UGD). Los monitoreos de toxinas no se realizan todos los días sino cuando existe potencial presencia de las mismas, por presencia de floración de especies potencialmente tóxicas. El gráfico no contiene información de los días en que se detectó presencia no cuantificable de toxinas.

Monitoreo satelital de floraciones

El 10 de febrero de 2020 se inició un monitoreo satelital de ocurrencia y distribución de floraciones en la Laguna del Sauce de frecuencia diaria (con cierta variación ya que depende de la disponibilidad de imágenes satelitales). Si bien se encuentra pendiente de ajustes y calibración, esta fuente de información permitió dar un seguimiento adecuado a la floración que se desarrolló desde marzo en adelante.

Coincidentemente con los resultados antes detallados, de acuerdo con el monitoreo satelital, el mes de febrero se desarrolló sin floraciones en el sistema, situación que cambió a partir del 8 de marzo, donde se detectó por primera vez la presencia de una floración en la zona centro-oeste y nor-oeste de la Laguna. La floración se mantuvo hasta el final del período considerado en este informe, y siguió aún avanzado el otoño hasta el 10 de junio (los datos no se muestran en este informe por estar fuera del período considerado). En la figura 14 se muestran ejemplos de imágenes obtenidas de los tres satélites considerados, donde se puede observar la distribución de la floración.

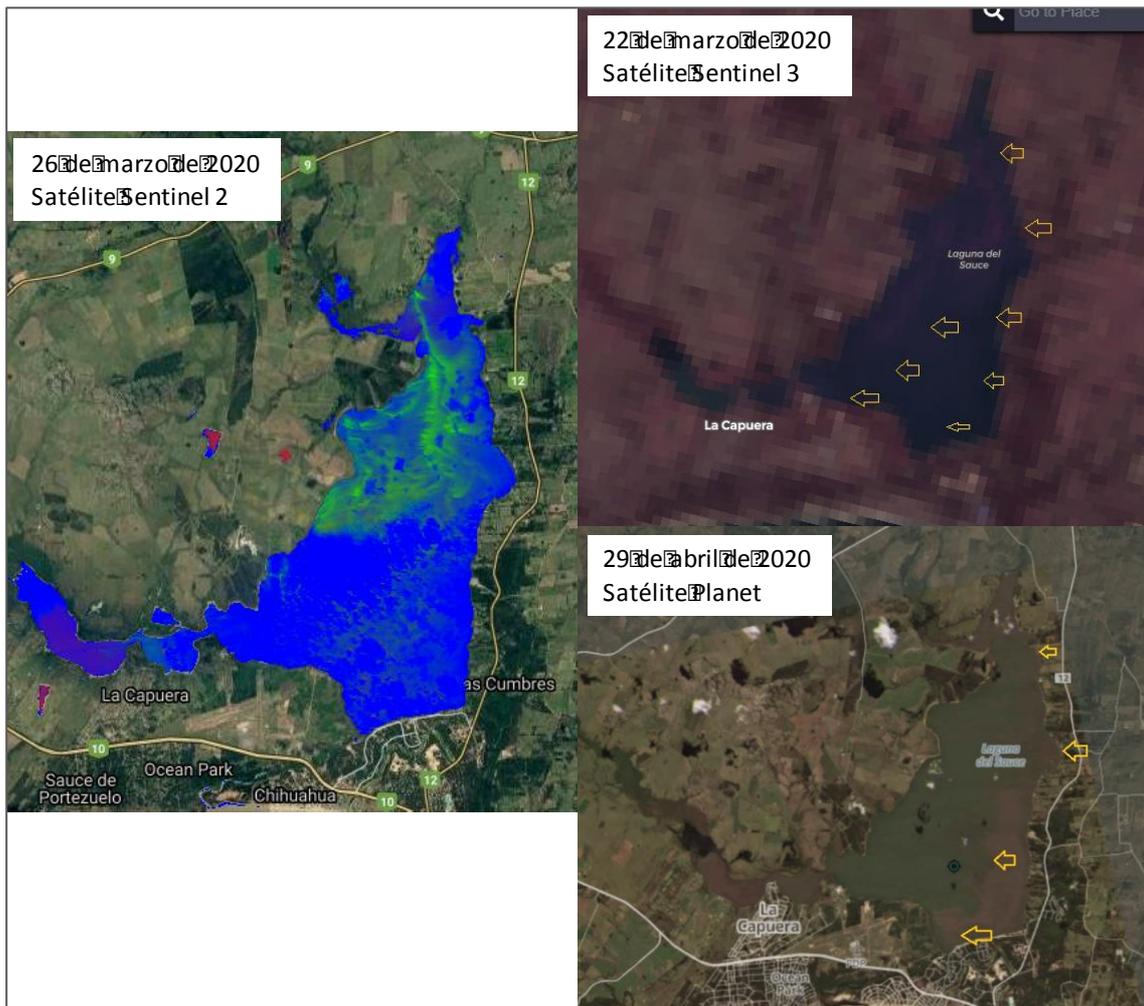


Figura 14. Imágenes del monitoreo satelital, durante la floración que se presentó a partir de marzo, a modo de ejemplo de las tres fuentes de información consideradas. Las de Sentinel 2 y Planet están montadas sobre una imagen base de Google Earth. Las flechas indican la ubicación de la floración.

DISCUSIÓN

El sistema Laguna del Sauce, durante el período estival 2019-2020, se encontró fuertemente determinado por la ocurrencia de dos eventos de floración algal de diferente magnitud y duración, precedidos por períodos de aguas claras (baja turbidez). El primero de los eventos sucedidos se desarrolló entre fines de diciembre y la primera quincena de enero, ocupando todo el cuerpo de agua (laguna y sistemas asociados), y presentó una sucesión temporal en la que primero co-dominaron especies de diatomeas y cianobacterias (*Aulacoseira* sp. y *Microcystis* sp. respectivamente), para luego dar lugar a una dominancia única de especies de cianobacterias (*Dolichospermum* sp. principalmente) en la mayoría de las estaciones de muestreo, que colapsó luego de alcanzar su máximo biovolumen ($16\text{mm}^3/\text{l}$). El segundo evento se desarrolló desde mediados de marzo y se extendió hasta el final del período, con una permanencia mucho mayor que el evento anterior, aunque con biovolúmenes un poco por debajo (el máximo detectado fue de $10\text{mm}^3/\text{l}$) y una extensión más reducida ya que no alcanzó las estaciones Sauce y Potrero. En este segundo evento la dominancia estuvo dada, desde fines de marzo, por especies de Cianobacterias de los géneros *Dolichospermum* y *Cylindrospermopsis*.

El primer evento de floración muestra una coincidencia con el momento de máxima temperatura, lo cual es esperable de acuerdo a la bibliografía (Reynolds, 1984), mientras que el segundo evento se sostuvo incluso con temperaturas relativamente bajas, dando cuenta de la capacidad del sistema de desarrollar floraciones en condiciones de temperatura bastante amplias. Este antecedente había sido detectado en 2008 para el sistema, año en que la floración de *Microcystis* se extendió hasta el mes de junio (Mazzeo et al., 2008). Si bien ambos eventos tuvieron impacto sobre el pH y el oxígeno disuelto, es de destacar que el impacto de la primera floración fue mayor, registrando los máximos valores de pH y valores muy elevados de saturación de oxígeno. Durante el segundo evento también se registraron incrementos en ambas variables, aunque no tan marcados.

El comportamiento diferencial de las floraciones en algunas estaciones de monitoreo respecto de otras, así como las diferencias entre ellas encontradas en la variable conductividad, constituyen evidencias de que existe cierto nivel de compartimentalización o segregación espacial en el cuerpo de agua. En particular para esta temporada las estaciones Potrero y Cisnes presentaron una cierta diferenciación de las ubicadas en el cuerpo principal de la laguna, situación que en ocasiones se presentó también para Arroyo Sauce. Específicamente en términos de conductividad, Potrero y Cisnes muestran valores más elevados, que se corresponden con su ubicación como sitios de transición entre el arroyo Pan de Azúcar (sistema lótico) y el cuerpo principal de la laguna (sistema léntico). Sauce Norte y Sauce Sur mostraron en términos generales, comportamientos similares, dando cuenta de cierto comportamiento más homogéneo dentro del cuerpo principal de la laguna.

Para el sistema Laguna del Sauce ha sido mencionada la turbidez como uno de los factores clave en la limitación de floraciones, existiendo un umbral ubicado entre los 20 y 29 NTU por encima del cual la probabilidad de que ocurra una floración es casi nula (Mazzeo et al. 2008, Crisci et al. 2017b). En base a esta evidencia científica, el estado de “agua clara” que atravesó la laguna en el período analizado presenta un muy elevado riesgo de ocurrencia de floraciones,

lo cual se hizo evidente tras la ocurrencia de los eventos mencionados. En particular durante el mes de febrero los valores de turbidez fueron extremadamente bajos (en algunos casos cercanos a 0 NTU) lo cual conlleva un riesgo asociado de floración a nivel del fitobentos, ya que la luz solar alcanza el sedimento, comunidad que no se monitorea en este programa y que debería ser incorporada bajo situaciones de este tipo. Durante el período que incluye este análisis todos los valores elevados de turbidez que se detectaron se encontraron asociados a la ocurrencia de floraciones, correspondiendo a turbidez de origen orgánico.

En términos generales los parámetros para los que existen estándares se encontraron dentro de rangos de cumplimiento. Únicamente el pH sobrepasó el límite máximo de 8,5 establecido por el Decreto 253/79 durante el primer evento de floración, y de forma muy puntual durante el segundo, mientras que la turbidez en la sonda de registro continuo sobrepasó el umbral establecido por el mismo Decreto (50 NTU) de forma puntual durante la segunda floración. Para concentración de Clorofila a no existen límites pero sí un valor guía acordado por la Mesa Técnica del Agua (10 $\mu\text{g/l}$), que fue superado en varias oportunidades durante los dos eventos de floración, en varias estaciones de monitoreo.

El proceso de potabilización se desarrolló durante todo el período dentro de los márgenes de manejo previstos, lo que permitió asegurar la buena calidad del agua potable elevada a la red. Para ello fue clave el hecho de contar con información temprana sobre la calidad del agua, que permitió anticipar los manejos necesarios en planta así como identificar los momentos críticos en los cuales los análisis debían incorporar análisis de toxinas. Respecto a esto último, si bien existieron monitoreos en los cuales se detectó presencia de toxinas durante ambos eventos de floración, la concentración siempre se encontró por debajo de los valores máximos permitidos para agua para potabilización (1 $\mu\text{g/l}$), y fueron reducidos en el proceso de potabilización.

El monitoreo integrado que se desarrolló durante esta temporada permitió alcanzar un nivel de complementariedad en la información que no se había alcanzado antes para el sistema, lo cual constituye un avance relevante en el sentido de las recomendaciones técnicas (Crisci et al., 2017^a), y en el que fue posible:

- detectar tempranamente la probable ocurrencia de floraciones, incluso antes de que lleguen a ser visibles, mediante el monitoreo semanal;
- conocer en detalle las especies que integraron los eventos de floración mediante los análisis cuali y cuantitativos de fitoplancton realizados en el monitoreo semanal y en la planta de OSE-UGD, lo cual permite a su vez anticipar en cierta medida la evolución de la misma y generar línea de base sobre las toxinas presente, en función de las características biológicas de las especies;
- conocer de forma diaria la distribución espacial de las floraciones, así como detectarlas en el día de su aparición, mediante el monitoreo satelital. Esta herramienta que está en proceso de desarrollo y validación para Laguna del Sauce, se la reconoce como de alto potencial en la previsión de eventos;
- conocer de forma instantánea el estado de la calidad del agua que ingresa a la planta, para posibles consideraciones en el manejo del proceso de potabilización, mediante el monitoreo con la sonda automática;

- conocer y registrar la variación de un conjunto de parámetros de calidad de agua medidos in situ, para alimentar la base de información que permite conocer y estudiar el funcionamiento de este sistema, mediante la información generada por todos los monitoreos antes mencionados.

Por otra parte, si bien el abrevado de ganado en la laguna y tributarios se encuentra prohibido por el Plan de Acción y la RM58/016, durante esta temporada estival se generó una excepción como consecuencia de la emergencia agropecuaria por sequía en el departamento. Ante esta situación se hizo necesario informar adecuadamente a los propietarios de ganado respecto a los riesgos asociados a la presencia de floraciones potencialmente tóxicas en el agua de consumo animal, para lo cual fue clave contar con información espacializada y en tiempo real de ocurrencia de floraciones. Aunque el riesgo es más bajo, también se llevaron a cabo comunicaciones a los usuarios de agua de la laguna autorizados por DINAGUA (la gran mayoría de ellos para uso de riego). El riesgo asociado al uso del agua para fines recreativos fue comunicado desde DINAMA a la Intendencia de Maldonado para su difusión a usuarios.

La coordinación interinstitucional para la ejecución del monitoreo, el análisis de la información, la toma de decisiones y la comunicación a usuarios se realiza cada temporada en forma más coordinada, existiendo al día de hoy una base conjunta de información, canales fluidos de intercambio de la misma, y eventos conjuntos de comunicación a usuarios, donde la Comisión de Cuenca de Laguna del Sauce juega un rol importante. En este sentido, el trabajo interinstitucional con participación de la Universidad de la República y la presencia institucional en el territorio (Ministerio de Ambiente y MGAP) facilita el flujo de información, mantiene activos los canales de comunicación y da mayor sustento técnico a la toma de decisiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Crisci C, Goyenola G, Terra R, Lagomarsino JJ, Pacheco JP, Díaz I, González-Madina P, Levrini P, Méndez G, Bidegain M, Ghattas B, Mazzeo N. 2017^a. Dinámica ecosistémica y calidad de agua: estrategias de monitoreo para la gestión de servicios asociados a Laguna del Sauce (Maldonado, Uruguay). INNOTEC2017, No. 13 (46-57).
- Crisci C, Terra R, Pacheco JP, Ghattas B, Bidegain M, Goyenola G, Lagomarsino JJ, Méndez G, Mazzeo N. 2017b. Multi-model approach to predict phytoplankton biomass and composition dynamics in a eutrophic shallow lake governed by extreme meteorological events. *Ecological Modelling*, No. 360 (80–93).
- Decreto N° 358/010. Recursos Hídricos. Creación e integración de la Comisión de la Laguna del Sauce.
- DINAMA (MVOTMA). 2019. Laguna del Sauce, Monitoreo de calidad de agua Temporada estival 2018 – 2019. Montevideo, 11pp. Informe de consultoría de Mariana Nin.
- Mazzeo N, García-Rodríguez F, Rodríguez A, Méndez G, Iglesias C, Inda H, Goyenola G, García S, Fosalba C, Marroni S, Crisci C, Del Puerto L, Clemente J, Pacheco P, Carballo C, Kroeger A, Vianna M, Meerhoff M, Steffen M, Lagomarsino JJ, Masdeu M, Vidal N, Texeira de Mello F, González I, Larrea D. 2010. Estado trófico de Laguna del Sauce y respuestas asociadas. In: Inda, H., Steffen, M. (Eds.), Bases técnicas para el manejo integrado de Laguna del Sauce y cuenca asociada. Editorial Montevideo, pp. 31–49.
- MTA (Mesa Técnica del Agua). 2017. Establecimiento de niveles guía de indicadores de estado trófico en cuerpos de agua superficiales. Documento de trabajo interno. 45pp.
- Resolución Ministerial 617^a/015 Plan de Acción para la protección de la calidad ambiental y la disponibilidad como fuente de agua potable de la Cuenca hidrológica de la Laguna del Sauce. 2015. MVOTMA.
- Reynolds, CS. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press.
- Rodríguez A. 2006. Evolución del estado trófico de Laguna del Sauce e importancia de la carga interna de nutrientes. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales, IECA-UdelaR. Montevideo, Uruguay.
- Rodríguez A, Méndez G, Inda H, Lagomarsino JJ, Steffen M. 2010^a. Características y problemática de la Laguna del Sauce. In: Inda, H., Steffen, M. (Eds.), Bases técnicas para el manejo integrado de Laguna del Sauce y cuenca asociada. Editorial Montevideo, pp. 15–17.
- Rodríguez A, Méndez G, Kausas S, Clemente J, Kroger A, Mazzeo N. 2010b. Importancia de la carga externa e interna de nutrientes en el estado trófico de la Laguna del Sauce. In: Inda, H., Steffen, M. (Eds.), Bases técnicas para el manejo integrado de Laguna del Sauce y cuenca asociada. Editorial Montevideo, pp. 53–61.
- URAGUA. 2001. Estimación de la eutrofia potencial de la Laguna del Sauce en el departamento de Maldonado (Uruguay). Informe técnico, Maldonado, Uruguay.

