

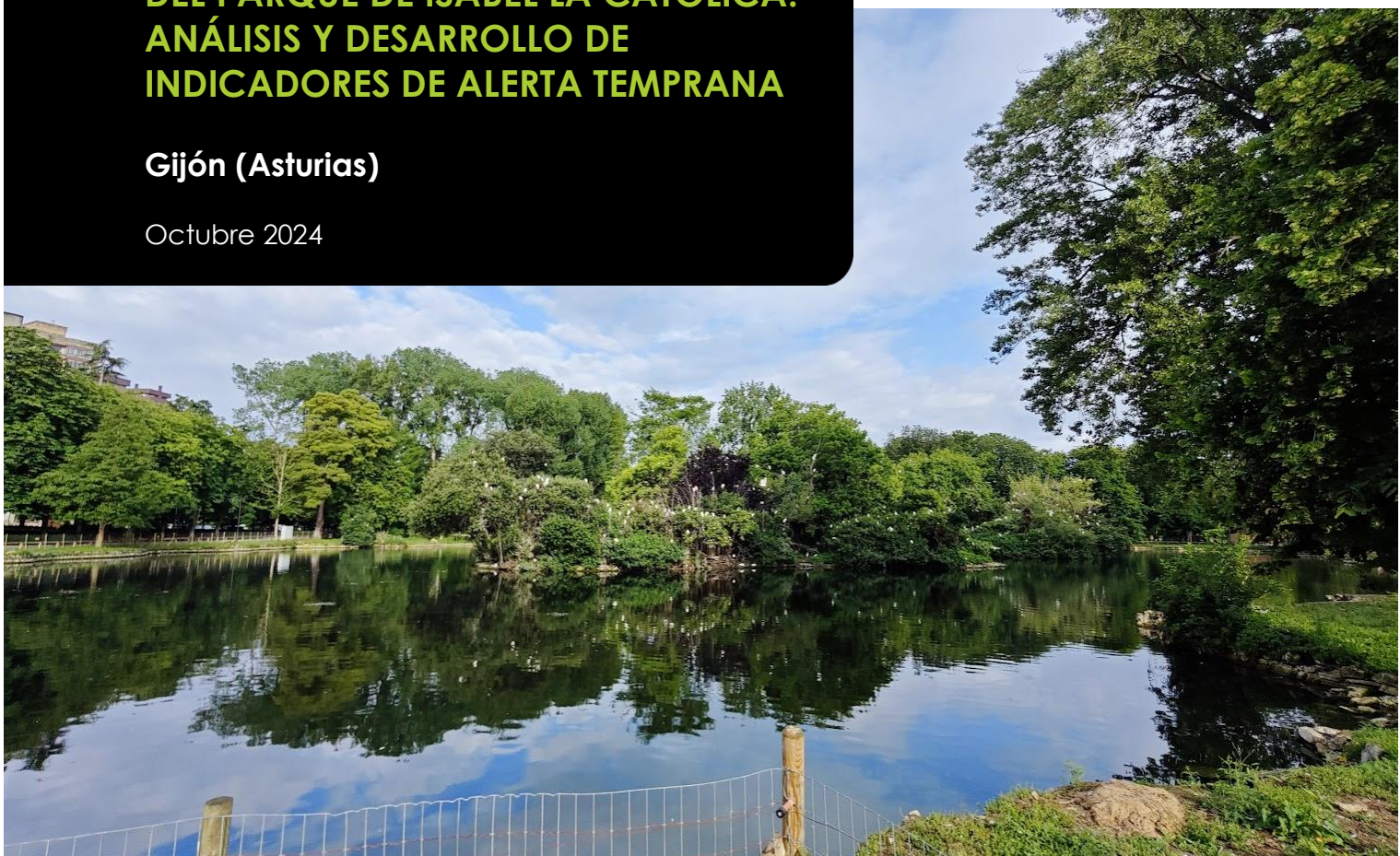


ESTUDIO ESPECÍFICO

CARACTERIZACIÓN PREVIA SOBRE LA PRESENCIA Y ABUNDANCIA DE CIANOBACTERIAS EN LA LAGUNA DEL PARQUE DE ISABEL LA CATÓLICA. ANÁLISIS Y DESARROLLO DE INDICADORES DE ALERTA TEMPRANA

Gijón (Asturias)

Octubre 2024



**Sociedad
promotora:**

Plaza Mayor S/N, Centro
33201 Gijón - Asturias



Autor:

C/ Cabranes (Montecerrao) N° 1
33006 Oviedo - Asturias
Telf.: 985 246 547

El presente informe correspondiente al Estudio Específico: *Caracterización previa sobre la presencia y abundancia de cianobacterias en la laguna del Parque de Isabel la Católica. Análisis y desarrollo de indicadores de alerta temprana*, ha sido realizado por la empresa TAXUS MEDIO AMBIENTE S.L., para el Excmo. Ayuntamiento de Gijón.

En su elaboración han participado:

Apellidos, Nombre	Función	Titulación
Dr. Granero Castro, Javier	Dirección y Aprobación del Estudio	Lic. Cc. Ambientales
Cordón Ezquerro, Javier	Supervisión del Estudio	Lic. Biología
Dra. Villazán Peñalosa, Beatriz	Coordinación, Trabajo de campo, Análisis de Fitoplancton y Redacción del Informe	Lic. Biología y Cc. Del Mar
Fueyo Rodríguez, Álvaro	Trabajo de campo y Análisis de Macrófitos	Gdo. Biología
Escudero Marina, Amando	Trabajo de Campo	Lic. Biología
Sánchez Fernández, Omar	Análisis de zooplancton	Gdo. Biología
Toraño Valle, Celia	Elaboración de Cartografía	Gdo. Biología



TAXUS Medio Ambiente S.L.
C/ Cabranes (Montecerrao) Nº 1, 33006
Oviedo - Asturias
Telf.: 985 24 65 47
info@taxusmedioambiente.com
www.taxusmedioambiente.com

Redactado: 24/10/2024	Revisado: 25/10/2024	Aprobado: 25/10/2024
 Beatriz Villazán Peñalosa Jefa de Proyectos – Ecosistemas Acuáticos Continentales	 Javier Cordón Ezquerro Jefe de Proyectos – Laboratorio y Analíticas	 Javier Granero Castro Colegiado nº 00995 - COAMB Director Área Medio Ambiente y Sostenibilidad

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. ANTECEDENTES	6
1.2. BLOOMS DE FITOPLANCTON: CAUSAS Y PROBLEMÁTICA ASOCIADA	8
1.3. OBJETO	12
1.4. ÁMBITO GEOGRÁFICO	13
2. METODOLOGÍA	15
2.1. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO	15
2.2. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	17
2.3. TOMA DE MUESTRAS	17
2.3.1. Parámetros Físicoquímica	18
2.3.2. Parámetros Químicos.....	19
2.3.3. Parámetros Biológicos	19
2.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	24
2.4.1. Estado Trófico.....	24
2.4.2. Evaluación potencial de la aparición/presencia de cianobacterias	28
3. RESULTADOS	29
3.1. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	29
3.1.1. Perfil Físicoquímico de la Columna de Agua	29
3.1.2. Parámetros Físicoquímicos: Sondas en Continuo	32
3.2. PARÁMETROS QUÍMICOS	40
3.3. PARÁMETROS BIOLÓGICOS	42
3.3.1. Clorofila a y Fitoplancton	42
3.3.2. Otras consideraciones.....	48
3.4. PARÁMETROS HIDROMORFOLÓGICOS	49
3.4.1. Caudal.....	49
3.4.2. Tiempo de Residencia y Tasa de Renovación	51
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
4.1. ESTADO TRÓFICO	52
4.1.1. Evaluación de Indicadores Biológicos y Físicoquímicos	52
4.1.2. Trophic State Index (TSI)	54
4.2. EVALUACIÓN POTENCIAL APARICIÓN/PRESENCIA DE CIANOBACTERIAS	54

5. MEDIDAS PREVENTIVAS Y PLAN DE ACTUACIÓN.....	58
5.1. DESARROLLO DE INDICADORES DE ALERTA TEMPRANA.....	58
5.2. PLAN DE ACTUACIÓN FRENTE A BLOOMS DE CIANOBACTERIAS	61
6. MEDIDAS DE MITIGACIÓN FRENTE A BLOOMS.....	68
7. RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS.....	73
7.1. SONDAS Y SENSORES	73
7.2. SEGUIMIENTO AMBIENTAL	74
7.3. POSIBLES MEDIDAS DE MITIGACIÓN	75
8. CONCLUSIONES.....	76
9. EQUIPO REDACTOR	78
10. ANEXOS.....	79
10.1. ANEXO I – PLANO 1: LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES DE MUESTREO	80
10.2. ANEXO II - DOSSIER FOTOGRÁFICO	81
10.3. ANEXO III - CERTIFICADOS DE ENSAYO.....	87

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La construcción del Parque de Isabel la Católica se inició en los años 40, con el objetivo de solucionar el problema de salubridad pública que generaban las marismas del río Piles antes de su encauzamiento. Para ello, fue necesario proceder a la desecación de diferentes charcas mediante relleno para comenzar después con la plantación de las diferentes especies arbóreas, que conforman el parque en la actualidad. Durante este proceso y debido a la imposibilidad de desecar por completo la charca existente en la zona central de los terrenos se creó lo que se conoce como "lago principal" o "estanque de los patos". Posteriormente, se agregó a éste un lago de menores dimensiones¹. Entre ambos estanques transcurre el arroyo o canal del molino, que desemboca en la ría del Piles, hoy en día completamente canalizada con muros de hormigón

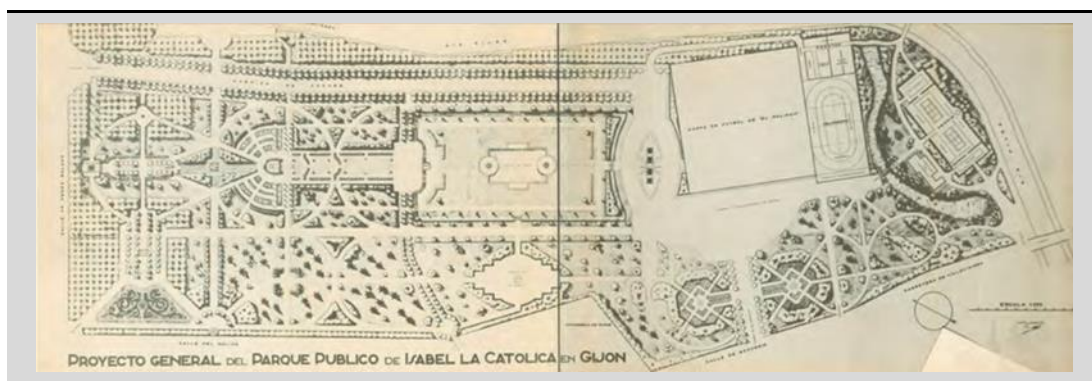


Figura 1.1.1. Plano Original del Parque de Isabel la Católica.
Fuente: Ayuntamiento de Gijón.

Ambas lagunas son consideradas como una de las zonas más emblemáticas y representativas del parque, así como una de las más concurridas por todo tipo de público. Sin embargo, poseen una problemática asociada, al darse proliferaciones

¹ Plan de uso y gestión del Parque de Isabel la Católica. 30 de enero de 2018.

de algas y cianobacterias, especialmente en épocas de estiaje, pudiendo llegar a comprometer la supervivencia de la fauna asociada a los estanques.

Por ello, en el año 2016, el ayuntamiento de Gijón encargó la redacción del "Proyecto de restauración de los estanques del parque de Isabel la Católica", cuyas obras no se llegaron a materializar hasta el año 2023.

Las actuaciones realizadas consistieron en el dragado de ambos estanques y el canal de los Molinos, eliminando así el lodo acumulado en estas infraestructuras y aumentando el calado de ambas lagunas. Posteriormente, se llevó a cabo la instalación de una nueva conducción de agua desde el canal del Molín hasta el estanque este. Así como, diferentes labores de mantenimiento y reemplazo entre las conexiones preexistentes entre los dos lagos. El fin de estas actuaciones, fue suplir las deficiencias del sistema hidráulico detectadas en los estudio previos, realizados en el año 2020 por INCA Servicios y Proyectos de Ingeniería Civil S.A., siendo éstos: "Estudio Previo: Valoración de la Información y Deficiencias del Sistema Hidráulica de los Estanques del Parque de Isabel la Católica en Gijón" y "Análisis de Alternativas para la Restauración del sistema Hidráulico de los Estanques del Parque de Isabel la Católica", para de este modo, aumentar la tasa de renovación del agua y prevenir la formación de proliferaciones de organismos fitoplanctónicos.

Además, se llevó a cabo la colocación de diferentes sondas de medición en el estanque grande, monitorizándose los parámetros: pH, temperatura, oxígeno disuelto, sólidos en suspensión, materia orgánica y concentración de fosfato. Así como, un medidor de caudal, con el objetivo de conocer cómo evoluciona la calidad del agua durante todo el año y alertar ante posibles condiciones que puedan favorecer o desencadenar la formación de blooms de fitoplancton.

A pesar de las diferentes actuaciones citadas con anterioridad, en junio de 2024 se desencadenó un notable episodio de proliferación algal en los estanques del Parque de Isabel la Católica, motivo por el cual el ayuntamiento de Gijón solicita a TAXUS Medio Ambiente la realización del presente estudio



Imagen 1.1.2. Bloom de fitoplancton detectado en las lagunas del Parque de Isabel la Católica, publicada por el periódico El Comercio en junio de 2024.

1.2. BLOOMS DE FITOPLANCTON: CAUSAS Y PROBLEMÁTICA ASOCIADA

El fitoplancton (organismos acuáticos microscópicos que viven en suspensión en la columna de agua) juega un papel clave en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas de agua dulce, ya que constituyen la base de las cadenas tróficas al ser los principales componentes de la producción primaria en estos ambientes (Reynolds 2006²).

A consecuencia de diferentes impactos de origen antropogénico, en las últimas décadas, las floraciones de fitoplancton se han convertido en una problemática a nivel mundial, debido tanto a su aumento en incidencia como intensidad, conllevando la degradación y pérdida de calidad de estos ecosistemas, siendo la eutrofización de lagos y embalses (aumento en el aporte de nitrógeno y fósforo, nutrientes limitantes del crecimiento fitoplanctónico) el principal factor asociado al incremento de estos blooms.

² Reynolds, CS. (2006). **Ecology of Phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press, 535 pp.

En este sentido, aunque la eutrofización o incremento en la carga de nutrientes, se sigue considerando como el principal causante de las proliferaciones de fitoplancton, este aumento de nutrientes junto a factores coadyuvantes, como elevadas temperatura e intensidad de luz o bajas tasas de renovación del agua, podrían originar un desarrollo explosivo de estos organismos (Salk et al. 2022³).

A pesar de que las proliferaciones de fitoplancton son un proceso inherente y natural en los ecosistemas acuáticos. Un crecimiento desmesurado y prolongado en el tiempo puede dar lugar a diversas problemáticas. Entre los principales impactos se encuentran aquellos que ocasionan alteraciones en los parámetros fisicoquímicos del agua, como por ejemplo una disminución en la concentración de oxígeno, cambios en la coloración del agua y en la penetración de luz solar, etc. Además, estos blooms podrían estar dominados por especies productoras de diferentes neurotoxinas, dermatotoxinas o hepatotoxinas tóxicas, como es el caso del grupo de las cianobacterias, pudiendo conllevar la muerte de la comunidad ictiológica, daños en la salud humana, pérdidas económicas, etc.

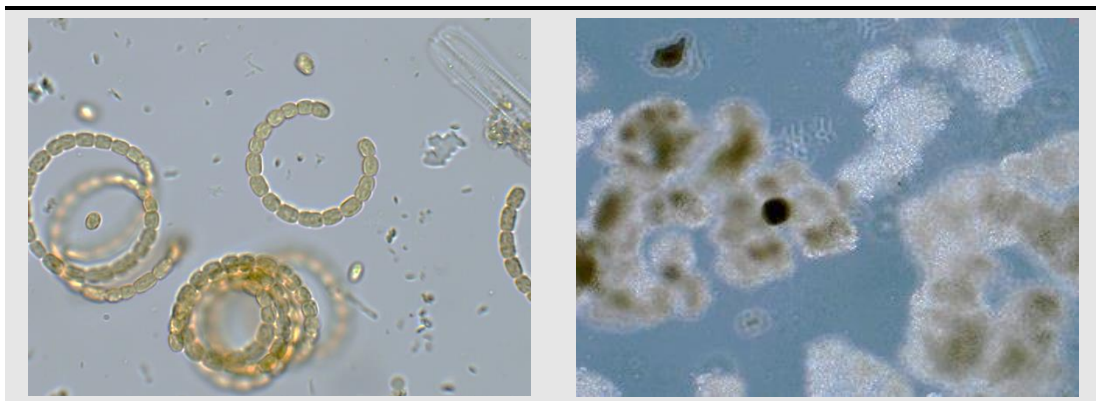
De igual modo que para el resto de organismos fitoplántonicos, la presencia de cianobacterias en ambientes acuáticos es completamente normal, considerándose una pieza clave, no sólo por su capacidad de realizar la fotosíntesis y generar los beneficios que ello conlleva, sino porque algunas especies son capaces de fijar nitrógeno atmosférico y transformarlo en formas aprovechables para otros seres vivos.

Las proliferaciones de cianobacterias en nuestra región suelen constituir fenómenos estacionales desarrollados en verano o hacia el final del periodo estival. Y, aunque raramente se cronifican, pueden llegar a prolongarse en el tiempo si se dan las condiciones adecuadas para su desarrollo, temperaturas próximas a 25 °C⁴, bajas tasas de renovación del agua, etc. Además, estos organismos presentan ciertas ventajas frente al resto de organismos fitoplántonicos, siendo un taxón que se ha

³ Salk, KR., Venkiteswaran, JJ., Couture, RM.; Higgins SN., Scott, RM.; Paterson, MJ., Schiff, SL. 2022. **Warming combined with experimental eutrophication intensifies lake phytoplankton Blooms.** *Limnology and Oceanography*. 67: 147–158.

⁴ Robarts, RD. y Zohary T. 1987. **Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria.** *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 21: 391-399

adaptado a la supervivencia en aguas poco turbulentas o estancadas gracias, por ejemplo, a sus vesículas de gas, que les permiten flotar en superficie para captar más luz, haciéndolas más competitivas frente al resto de especies.



Imágenes 3.2.2.1-2. Detalle de las especie de cianobacterias Izquierda: *Dolichospermum* sp.
Derecha: *Microcystis aeruginosa*.
Fuente: TAXUS Medio Ambiente S.L.

La biosíntesis de cianotoxinas tiene lugar en el interior de las células y una vez producidas, se pueden diferenciar dos fracciones, la presente dentro de las células (fracción intracelular) y la que ha sido liberada al medio (fracción extracelular o disuelta). Esta liberación de cianotoxinas al medio suele producirse en mayor medida en el momento en el que las células mueren y liberan al medio su contenido celular, momento en el cuál las concentraciones de cianotoxinas pueden llegar a ser más elevadas.

De entre toda la variedad de cianotoxinas descritas hasta el momento las más comunes en las masas de agua continentales son las microcistinas (MCs), anatoxinas (ATXs), saxitoxinas (STXs) y cilindrospermopsinas (CYNs), las cuales pueden ser generadas por diversos géneros y/o especies. La siguiente tabla resume un listado general de los géneros de cianobacterias productoras más estudiados, así como las cianotoxinas relacionadas.

Cianotoxina	Cianobacteria (género)	Consideraciones
Microcistinas (MCs)	<i>Microcystis</i> <i>Planktothrix</i> <i>Dolichospermum</i> ^a <i>Nostoc</i>	Cianotoxina más común en todo el mundo Es habitual encontrar concentraciones peligrosas Muchos congéneres químicos (comunes: MC-LR, MC-RR, MC-YR)
Anatoxinas (ATXs)	<i>Cuspidothrix</i> <i>Dolichospermum</i> ^a <i>Raphidiopsis</i> ^g <i>Planktothrix</i> <i>Tychonema</i> ^d <i>Oscillatoria</i> <i>Microcoleus</i> ^{c d}	En cianobacterias planctónicas principalmente ATX-A Asociada a numerosos casos de muerte animal por ingesta de scums o tapetes bentónicos Importantes riesgos asociados a cianobacterias bentónicas (ATX-A, HTX-A, dhATX-A y dhHTX-A)
Saxitoxinas (STXs)	<i>Dolichospermum</i> ^a <i>Aphanizomenom</i> ^e <i>Raphidiopsis</i> ^g <i>Cuspidothrix</i> ^b <i>Chrysosporum</i> <i>Planktothrix</i> <i>Microcoleus</i> <i>Lyngbya</i>	Asociada a la muerte de animales Englobadas en el grupo de las PSPs (Paralytic Shellfish Poisoning Toxins) Moluscos o crustáceos pueden contenerla
Cilindrospermopsinas (CYNs)	<i>Aphanizomenom</i> <i>Dolichospermum</i> ^a <i>Umezakia</i> ^f <i>Raphidiopsis</i> ^g <i>Oscillatoria</i>	Menos extendida. Común solo en algunas regiones La fracción disuelta puede ser igual o superior a la sestónica La toxina puede perdurar en el medio sin degradarse semanas, aunque no haya presencia de cianobacterias

a: Algunas especies planctónicas del género *Anabaena* fueron reclasificadas como *Dolichospermum*

b: De este género, un común productor es *Cuspidothrix issatschenkoii*

c: De este género, un común productor es *Microcoleus autumnalis*

d: Principalmente formadoras de tapetes bentónicos. Incluidas por su importante riesgo asociado a ATXs

e: De este género, un común productor es *Aphanizomenon gracile*

f: De este género, un común productor es *Umezakia ovalisporum*

g: Anteriormente denominado *Cylindrospermopsis*

Tabla 1.2.1. Cianobacterias comúnmente descritas como productoras de cianotoxinas, cianotoxinas asociadas y consideraciones generales.

Fuente: Herramientas para la evaluación de riesgos asociados a cianobacterias productoras de cianotoxinas: aguas de consumo y uso recreativo (2024).

Por todo ello, y en especial por su capacidad de generar compuestos tóxicos (cianotoxinas) las cianobacterias han sido consideradas en algunos países como una de las principales causas de contaminación del agua, ya que la presencia de estas toxinas inhabilita por completo su utilización para algunos usos, como el consumo o

el baño⁵. Por lo que, a este respecto se han desarrollado diferentes directivas que regulan el control de la calidad de las aguas tanto de recreo como de consumo humano, como son la 2006/7/CE o 2000/60/CE ambas redactadas por el Parlamento Europeo o la guía publicada en 2021 por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en la que se recogen aspectos fundamentales a la hora de evaluar y gestionar los riesgos asociados a cianobacterias⁶.

1.3. OBJETO

En base a todo lo anteriormente mencionado, el presente informe tiene por **objeto** caracterizar el estado de la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica tras el Bloom de fitoplancton acontecido en junio de 2024, con el fin de establecer una serie de recomendaciones para prevenir dichos blooms y definir posibles indicadores de alerta temprana, prestando especial atención al grupo de cianobacterias.

Para la consecución del citado objetivo, se ha llevado a cabo el análisis de los datos recopilados en campo por TAXUS S.L. durante el seguimiento ambiental llevado a cabo el 12 de junio de 2024. Así mismo, se realizará un estudio de la evolución de los diferentes parámetros fisicoquímicos provenientes de las diferentes sondas instaladas en la laguna Grande del Parque de Isabel la Católica, los cuales han sido proporcionados por el organismo contratante.

Finalmente, se desarrollarán las diferentes recomendaciones y el establecimiento de indicadores de alerta temprana. Para tal fin, además de los datos mencionados, se ha realizado una revisión de diferentes trabajos, los cuales se exponen a continuación:

- Estudio Previo: Valoración de la Información y Deficiencias del Sistema Hidráulica de los Estanques del Parque de Isabel la Católica en Gijón" 2020. INCA Servicios y Proyectos de Ingeniería Civil S.A.

⁵ Díez-Chiappe, A., Cirés, S., Perona, E., Quesada, A., Carmona-Jiménez, J., Caro Borrero, A., Salazar, A., Ortiz, D., Muñoz, M., de Pedro, ZM., Colina, JA., Contreras, D. & Casas, JA. (2024). **Herramientas para la evaluación de riesgos asociados a cianobacterias productoras de cianotoxinas: aguas de consumo y uso recreativo**. Editorial Programa CYTED. 48 pp.

⁶ Chorus, I & Welker, M. 2021. **Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management**. Organización Mundial de la Salud. 859 pp.



- ◉ Estudio del nivel de salubridad de las aguas continentales y litorales de Gijón (anualidad 2020). 2021.
- ◉ Análisis de Alternativas para la Restauración del sistema Hidráulico de los Estanques del Parque de Isabel la Católica. 2020. INCA Servicios y Proyectos de Ingeniería Civil S.A.,
- ◉ Proyecto de restauración de los estanques del parque de Isabel la Católica. 2021. Ayuntamiento de Gijón-. INCA Servicios y Proyectos de Ingeniería Civil S.A.
- ◉ Estudio del nivel de salubridad de las aguas continentales y litorales de Gijón (anualidad 2020). 2021. Universidad de Oviedo.
- ◉ Estudio de salubridad de las aguas del anillo navegable y su restauración ambiental: Nivel de salubridad del Anillo Navegable (autor: Marcos Álvarez López, Tragsatec). Real Grupo de Cultura Covadonga. 2021.

1.4. ÁMBITO GEOGRÁFICO

El Parque de Isabel la Católica, concluido en el año 1967, se encuentra incluido en el inventario del Patrimonio Cultural de Asturias (iPCA) como uno de los 16 jardines Históricos de Asturias declarados por Resolución de 21 de enero de 2016, de la Consejería de Educación y Cultura.

El parque se sitúa en el distrito este de la ciudad, barrio del Bibio y posee una extensión de 133.258,45 m² según los datos publicados en su plan de uso y gestión.

El estanque grande o “estanque de los patos” tiene una superficie de 10.630 m², con dos islas la mayor de 1.376 m² y la menor de 414 m². El estanque pequeño tiene una superficie de 2.502 m². Los dos estanques están comunicados entre sí desaguando por rebose al río Piles. Los aportes de agua tienen lugar desde el Canal del molino en las proximidades del Parador nacional molino Viejo aunque en los últimos años estos aportes han disminuido por lo que se ha hecho preciso aportar agua mediante una acometida de la red municipal a fin de mantener unos niveles de agua óptimos en los estanques.



Imagen 1.4.1. Localización geográfica de las lagunas del Parque de Isabel la Católica.

2. METODOLOGÍA

En el presente apartado se realiza una descripción de la metodología empleada para la caracterización ecológica de la laguna Grande del Parque de Isabel la Católica de Gijón.

Destacar que tanto el **muestreo** como los **análisis** de los diferentes parámetros se realizó por **entidades acreditadas** por la Entidad Nacional de Acreditación (**ENAC**) bajo norma **UNE-ISO17025**. En este sentido el muestreo de fitoplancton, su análisis y la toma de parámetros fisicoquímicos METI se llevó a cabo por TAXUS S.L., (Nº Acreditación: 1280/LE2425). Mientras que, los parámetros químicos: nutrientes y microcistinas se analizaron en los laboratorios: EUROFINS Control Ambiental y Ecogestor S.L.U. (Nº Acreditación: 286/LE486) y Eurofins Iproma (Nº Acreditación: 103/LE268).

2.1. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

El seguimiento ambiental, se centró en el estudio de la laguna grande del parque de Isabel la Católica, realizándose en dos estaciones diferentes:

- ⦿ LISA-1: localizado en la entrada de agua
- ⦿ LISA -2: proximidades del punto de unión con la Laguna Pequeña

A continuación, se muestran las coordenadas de cada uno de los puntos y su localización sobre ortofoto:

Localización	Descripción	Coordenadas UTM (Huso 30 – ETRS 89)	
		X	Y
Punto muestreo_LISA_01	LISA_01	286.649	4.823.773
Punto muestreo_LISA_02	LISA_02	286.666	4.823.850

Tabla 2.1.1. Localización de los puntos de muestreo.

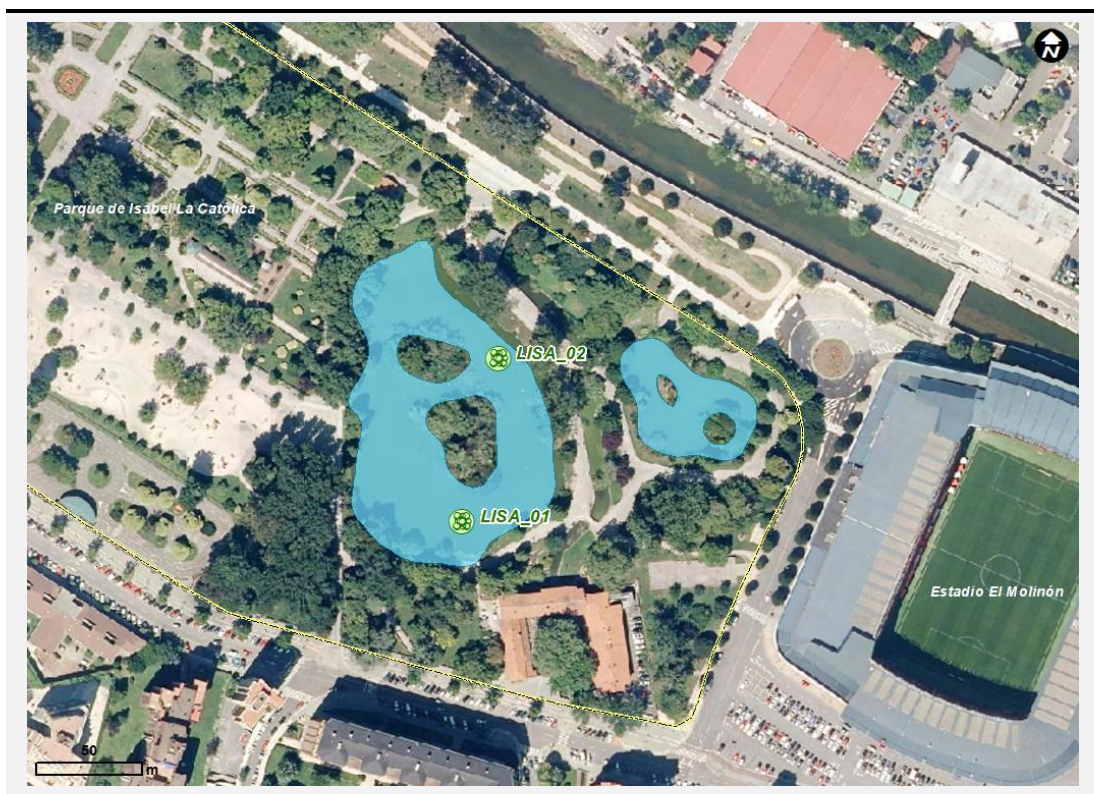


Imagen 2.1.1. Localización de los puntos de muestreo.



Imágenes 2.1.2-4. Estaciones de muestreo.

2.2. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

El procedimiento de toma de muestras en cada una de las estaciones a estudio (LISA_01 y LISA_02), a pesar de no tratarse de una entidad tipo (ya que se trata de una laguna artificial) se basaron en los protocolos establecidos por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, y otros protocolos desarrollados por Organismos Oficiales, siendo estos:

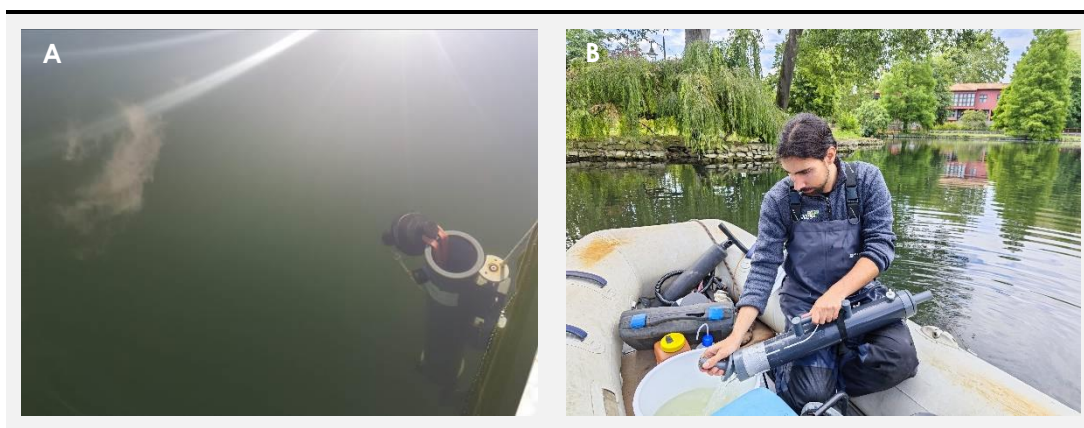
- Organismos fitoplanctónicos en lagos y embalses: Protocolo de muestreo de fitoplancton en lagos y embalses (M-LE-FP-2013).

2.3. TOMA DE MUESTRAS

Las medidas *in situ* en la Laguna Grande se llevaron a cabo en las zonas más profundas en las proximidades del punto de entrada de agua en la laguna (LISA-1) y en las proximidades del punto de unión con la Laguna Pequeña (LISA-2) desde una embarcación neumática Zodiac, modelo QS 340 propulsada por un motor eléctrico marca DAKOTA.

La muestra integrada de la columna de agua en la laguna se obtuvo mediante el uso de una botella hidrográfica isoterma tipo Niskin de 2,5 litros de capacidad.

Posteriormente, las muestras se enviaron a los laboratorios oportunos en cajas de refrigeración y neveras portátiles con acumuladores de frío en su interior.



Imágenes 2.3.1-2. Detalle de la toma de muestra integrada mediante botella hidrográfica tipo Niskin.

2.3.1. Parámetros Fisicoquímica

Las variables que componen la determinación de la calidad fisicoquímica en la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica se analizaron cada medio metro en la columna de agua, al tener una profundidad inferior a 10 m (según especificaciones del Protocolo M-LE-FP-2013).

En primer lugar, se procedió a la medición de la transparencia del agua mediante el uso del disco de Secchi. Posteriormente, se llevó a cabo el perfil vertical del embalse *in situ* mediante el empleo de la sonda multiparamétrica YSI modelo EXO 2.

Los parámetros registrados en cada una de las estaciones fueron: pH, temperatura (°C), salinidad (PSU), sólidos totales disueltos (mg/l), potencial redox (mV), conductividad (mS/cm), turbidez (FNU), concentración de oxígeno disuelto (mg/l) y saturación del mismo (%).



Imágenes 2.4.1-4. Toma de parámetros fisicoquímicos.

2.3.2. Parámetros Químicos

A partir de las muestras de agua obtenidas en la Laguna Grande (muestras integradas mediante botella hidrográfica tipo Niskin), se determinó la concentración de nutrientes: nitrito, nitrato, fósforo total y nitrógeno total. De manera complementaria se tomaron muestras para el análisis de microcistinas.

Los análisis de los nutrientes se realizaron por ENVIRA Ingenieros Asesores S.L y la determinación de la concentración de microcistinas por Eurofins IPROMA.

La medición de alcalinidad de la laguna se llevó a cabo *in situ* mediante un fotómetro portátil Palintest P7100.



Imagen 2.3.2.1. Medición de la alcalinidad por medio del fotómetro portátil Palintest P7100.

2.3.3. Parámetros Biológicos

El diseño del muestreo siguió las pautas establecidas en el Protocolo de muestreo de fitoplancton para lagos y embalses (M-LE-FP-2013).

Una vez localizados en el punto de muestreo, se tomó una muestra integrada de la columna de agua desde la superficie hasta la profundidad correspondiente a 2,5 veces la profundidad de disco de Secchi o zona fótica.

Las submuestras que conformaron la muestra integrada se tomaron mediante una botella hidrográfica Niskin, las cuales fueron homogeneizadas en un recipiente adecuado. Estas submuestras deben repartirse equidistantemente a lo largo de la

zona fótica, siendo en este caso coincidente con la profundidad máxima del estanque (1,1m).

2.3.3.1. Clorofila-a

Una vez obtenida y homogeneizada la muestra integrada, se recogió un volumen de muestra entre 2 y 3 L en un recipiente opaco que se mantuvo en frío hasta su procesado en laboratorio.

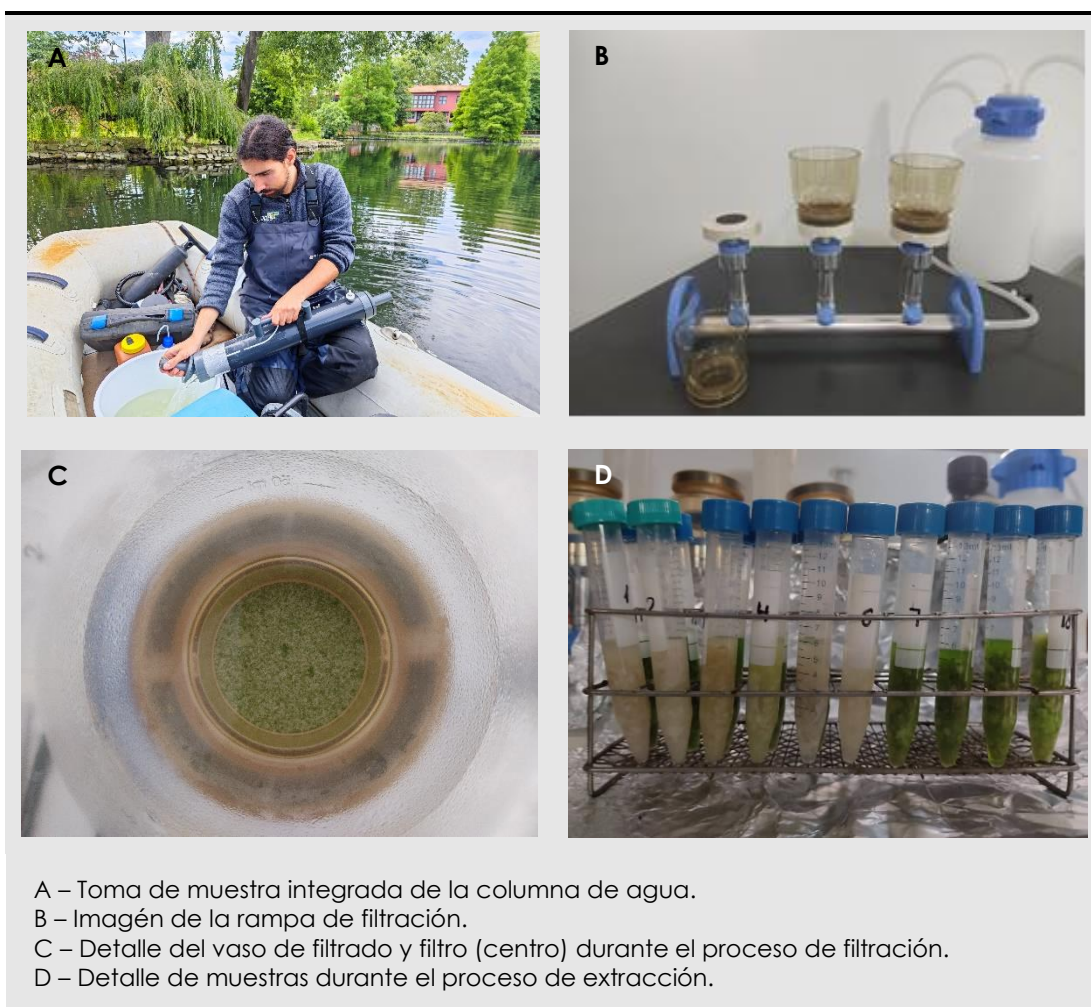
En el laboratorio y durante las siguientes 24 horas al muestreo, se procedió a la filtración de un volumen conocido de agua (baremación mediante probeta) a través de un filtro de Fibra de Vidrio GF/F de 47mm de diámetro y luz de poro inferior a 0,6 µm, empleando una rampa de filtración y a una presión de menos de 100 mm Hg (~0,15 atm).

Tras el filtrado se llevó a cabo la extracción de los pigmentos, para ello el filtro se colocó en un tubo de 15 ml de capacidad y se añadieron 5 ml de solución de acetona 90%.

Con el fin de romper las paredes celulares de los organismos fitoplanctónicos y asegurar una correcta extracción de los pigmentos contenidos en ellos, se realizaron tres tratamientos de sonicación, mediante la aplicación ultrasonidos en un baño sonicador con agua fría y hielo picado, durante un máximo de 2 minutos, a intervalos de 1-2 horas. Finalizada la sonicación, la muestra se mantuvo en frío (0 – 4 °C) y oscuridad al menos 12 horas, pero no más de 24 h.

Realizada la extracción, se homogenizó la muestra y se procedió a su centrifugación mediante el empleo de una centrífuga OHAUS durante 5 minutos a 3.500 rpm.

El sobrenadante o extracto se traspasó cuidadosamente a una cubeta de cuarzo y/o vidrio de 1 cm de paso óptico y provista de tapa hermética para evitar su evaporación.



Fotografías 2.3.3.1.1-4. Procedimiento de muestreo y análisis posterior en laboratorio.

La muestra se introdujo en el espectrofotómetro (THERMOSCIENTIFIC modelo GENESYS 150) y se midió la absorbancia a diferentes longitudes de onda: 630, 647, 664, 750.

Finalmente, se realizó el cálculo de la concentración de clorofila-a mediante el empleo de la fórmula tricromática de Jeffrey y Humphrey (1985)⁷:

$$\text{Chl. "a"} \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{[11,85 * (A_{664} - A_{750}) - 1,54(A_{647} - A_{750}) - 0,08 * (A_{630} - A_{750})] * v}{V * Z}$$

⁷ Jeffrey S.W. y Humphrey G.F. (1975) **New spectrophotometric - equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton.** *Biochem. Physiol. Pflazen* 167:191-194

Donde:

- A630, A647, A664, A750 = Absorbancia en las longitudes de onda indicadas (nm)
- v = volumen del extracto (mL)
- V = volumen de agua filtrada (L)
- Z = Paso óptico de la cubeta (cm)

2.3.3.2. Fitoplancton

Para la identificación y recuento de fitoplancton (análisis cuantitativo), se recogió un volumen de agua de 250 ml en un recipiente traslúcido de vidrio de color ámbar. La muestra se fijó con 2,5 ml de lugol ácido y/o alcalino, en función del pH obtenido en el embalse, preparado según la norma EN 15204 (2007).

Finalmente, se procedió a la toma de la muestra para el análisis cualitativo de las comunidades de fitoplancton.

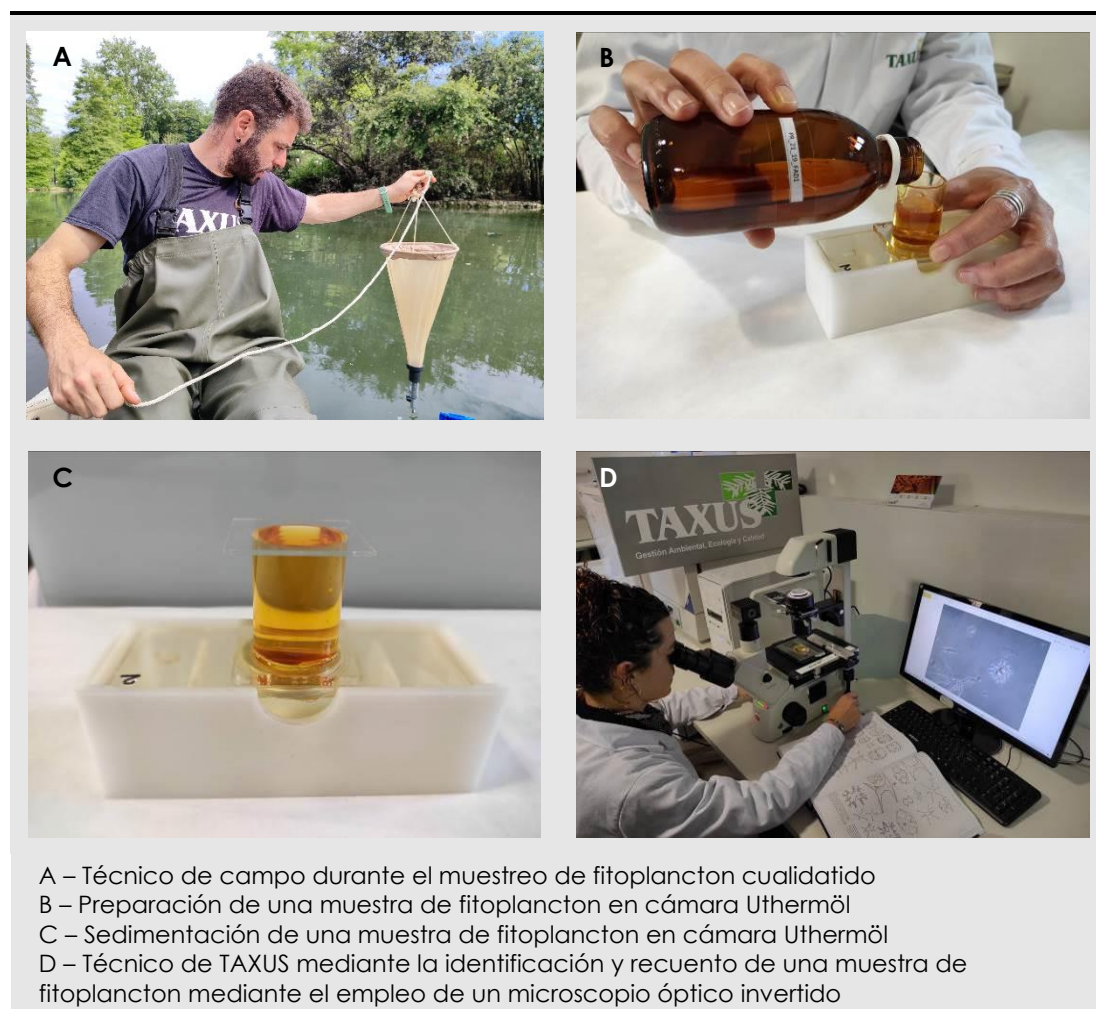
Para la obtención de la muestra se utilizó una manga de plancton, de 20 μ m de luz de malla que fue arrastrada de manera vertical entre 3-5 veces desde la zona fótica a superficie. El volumen retenido dentro de la manga se recogió en un vial de PVC lavándose de forma repetida hasta obtener unos 125 ml.

Una vez en el laboratorio y previo a la identificación y recuento celular, tanto el material a emplear como las muestras se sometieron a un periodo de aclimatación de aproximadamente 12 horas a temperatura ambiente, esto evitará la generación de corrientes de convección por la diferencia de temperatura entre muestras y equipos o reactivos, favoreciéndose la distribución aleatoria de los organismos en la muestra.

Pasado el tiempo de aclimatación, se procedió a la homogenización de la muestra mediante la manipulación manual, combinando giros suaves horizontales y verticales durante 1 a 3 minutos, de esta manera se asegura la resuspensión del material sedimentado y la separación de agregados que se forman durante el periodo de almacenamiento.

Posteriormente, se procedió al llenado de la cámara de sedimentación (100 ml, 50 ml y/o 25 ml) con la muestra, tapándose con una pieza de cristal evitando la formación de burbujas en el interior.

Las muestras se dejaron sedimentar un mínimo de 24-72 horas en función del volumen sedimentado, en un lugar sin luz solar directa, a temperatura ambiente constante y evitando cualquier tipo de vibración.



Fotografías 2.3.3.2.1-4. Procedimiento de muestreo y análisis posterior en laboratorio.

El proceso de identificación, recuento y determinación del fitoplancton se realizó en laboratorio mediante un microscopio invertido (AE3E Trinocular) acoplado a una cámara de video (Moticam Pro S5 Lite) y a su software asociado que permitirá la medición de los organismos y la toma de imágenes, siguiendo el protocolo indicado

por la norma UNE-EN-15204-2007 Calidad del agua. Guía para el recuento de fitoplancton por microscopía invertida (técnica de Uthermöhl⁸, 1958).

Como norma general, para calcular el biovolumen se empleó de forma preferente la información asociada a la base de datos TAXAGUA, como así se establece el protocolo de análisis y cálculo de métricas de fitoplancton en lagos y embalses (MFIT-2013), redactado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

En caso de que esta información no estuviera disponible se procedió a la medición de los diferentes taxones en base al método Rott (1981) y a la Norma UNE-EN 166910. Dicho método consiste en asimilar la morfología de cada especie registrada a una forma geométrica y en medir, siempre que sea posible, un mínimo de 20 individuos. La forma geométrica de las especies se tomará de la Norma UNE anteriormente citada.

2.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.4.1. Estado Trófico

El grado de eutrofización o estado trófico de un embalse se entiende como la capacidad de generar biomasa planctónica en el seno de la masa de agua a partir de nutrientes minerales.

Existen otras definiciones más interesantes, como la propuesta por Padisak (2004)¹¹. Este autor describe la eutrofización como el enriquecimiento del agua con nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno, que conduce al aumento del crecimiento vegetal, produciendo "blooms" algales, desarrollo de macrófitos flotantes o sumergidos, o incremento de las poblaciones algales del bentos. Con la descomposición de este material sobreviene un agotamiento del oxígeno, que tiene

⁸ Utermohl, H. 1958. *Zur Vervoll Kommung der Quantitativen Phytoplankton-Methodik*. Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. 9:1-38.

⁹ Rott E 1981. *Some results from phytoplankton counting intercalibrations* Schweiz Z. Hydrol., 43: 34-62.

¹⁰ Norma UNE-EN 1669. 2016. *Guía para la estimación del biovolumen de fitoplancton*.

¹¹ Padisak, J. (2004) *Phytoplankton. En The Lakes Handbook vol. 1 Limnology and Limnetic Ecology* (O'Sullivan y Reynolds eds.) Blackwell Science, Oxford

como consecuencia otros problemas como la mortandad de peces, liberación de gases corrosivos y otras sustancias tóxicas o indeseables.

2.4.1.1. Indicadores

La determinación del estado trófico del embalse se llevó a cabo mediante los resultados obtenidos de los siguientes parámetros con base a los siguientes criterios:

- ⊙ Indicadores biológicos:
 - Densidad algal (cel/ml) Margalef (1983)
 - Biovolumen total (mm³/l) Smith et al. (1999)
 - Clorofila a, media anual fótica (µg/l) OCDE
 - Clorofila a, máxima anual (µg/l) OCDE
 - Cianofíceas tóxicas, Máximo anual (cel/ml) Chorus & Bartram (1999)
- ⊙ Indicadores fisicoquímicos
 - Disco de Secchi, media anual (m) OCDE
 - Disco de Secchi, mínimo anual (m) OCDE
 - PT (µg/l) OCDE
 - Nt (mg/l) Smith et al. (1999)
 - Nitrato (mg N/l) Margalef (1983)

La clasificación del estado trófico en función de los valores de los indicadores y de la metodología empleada se muestra en la siguiente tabla:

Indicador	Parámetro	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Indicadores biológicos	Densidad algal (cel/ml) Margalef (1983)¹²	<100	100 -1.000	1.000 -10.000	10.000 -100.000	>100.000
	Biovolumen total (mm ³ /l) Smith et al. (1999)¹³		<1	1-2,5	2,5-10	10
	Clorofila a, media anual fótica (µg/l) OCDE¹⁴	0-1	1-2,5	2,5-8	8-25	>25
	Clorofila a, máxima anual (µg/l) OCDE	<2,5	2,5 - 8	8 – 25	25 - 75	>75
	Cianofíceas tóxicas, Máximo anual (cel/ml) Chorus & Bartram (1999)¹⁵	<500	500 – 2.000	2.000 – 20.000	20.000 – 10 ⁵	>10 ⁵
Indicadores físicoquímicos	Disco de Secchi, media anual (m) OCDE	>12	12 - 6	6 - 3	3 – 1,5	<1,5
	Disco de Secchi, mínimo anual (m) OCDE	>6	6-3	3-1,5	1,5-0,7	<0,7
	P _T (µg/l) OCDE	0-4	4-10	10-35	35-100	>100
	Nt (mg/l) Smith et al. (1999)		<0,35	035 -0,65	0,65-1,2	>1,2
	Nitrato (mg N/l) Margalef (1983)				>0,14	

Tabla 2.4.1.1.1. Clasificación del estado trófico en función de los valores de los indicadores seleccionados.

¹² Margalef, R. 1983. **Limnología**. Ed. Omega. Barcelona. 1010 pp

¹³ Smith, V.H., Tilman, G.D. and Nekola, J.C. 1999. **Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems**. Environmental Pollution 100: 179-196

¹⁴ OCDE. 1982. **Eutrophication des eaux. Methodes de surveillance, d'évaluation et de lutte**. Paris. 164 pp.

¹⁵ Chorus I. & Bartram J. 1999. **Toxic Cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management**. World Health Organization (WHO). London. E & FH Spon. 416 pp.

2.4.1.2. Trophic State Index (TSI)

De forma complementaria, se ha calculado el TSI (*Trophic State Index*)¹⁶. Para la obtención del índice cada parámetro medido debe transformarse de la siguiente manera:

- Profundidad de disco de Secchi:

$$TSI(SD) = 10 \left(6 - \ln SD / \ln 2 \right)$$

- Concentración de Clorofila a:

$$TSI(Cl) = 10 \left(6 - 2,04 - 0,68 \ln Cl / \ln 2 \right)$$

- Concentración de nutrientes, representada por el Fósforo total (P_T).

$$TSI(Pt) = 10 \left(6 - \ln \frac{48}{P_t} / \ln 2 \right)$$

Finalmente, en función del resultado obtenido se podría concluir el estado trófico en función de los límites establecidos en la siguiente tabla:

Este índice se halla realizando la media aritmética de tres factores calculados a raíz de 3 parámetros obtenidos de la columna de agua: profundidad de disco de Secchi, concentración de Clorofila-a y concentración de Fósforo total.

Parámetro	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
TSI	< 20	20-40	40-60	60-80	>80

Tabla 2.4.1.2.1. Clasificación del estado trófico en función del resultado del TSI.

¹⁶ Carlson, R. 1977. **A trophic state index for lakes**. Limnological Researcher Centre, University of Minnesota, Minneapolis.

2.4.2. Evaluación potencial de la aparición/presencia de cianobacterias

La evaluación de la potencialidad de aparición o presencia de proliferaciones de cianobacterias se basará en los criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), que se presentan en la siguiente tabla:

Parámetro	Riesgo Potencial de Aparición /Formación Blooms Cianobacteria			
	Muy Bajo	Bajo	Alto	Muy Alto
Fósforo total (µg/l)	≤ 10	10-20	20-50	>50
Condiciones de mezcla	Corriente de agua visible		Estancada, profundidad: >10 m, estratificada ^a	Estancada, profundidad >5-10 m, gradientes térmicos estables ^b Estancada, poco profunda y bien mezclada ^c
Tiempo de Residencia	< 1 mes		> 1 mes	
Transparencia (m)	> 7	3-7	1-3	<1
pH	<6	6-7	≥7	>7 (>8 o >9 ^d)
Temperatura ^e	<10	10-15	15-25	≥25

^a Potencial de desarrollo masivo de *Planktothrix rubescens*

^b Favorece el desarrollo de taxones formadores de espuma (ej. *Microcystis*, *Dolichospermum*)

^c Favorece el desarrollo de taxones no formadores de espuma, como *Planktothrix agardhii* y *Limnothrix*

^d Incremento marcado debido a las altas tasas de fotosíntesis asociado con una biomasa elevada

^e Fuente OMS, 2015

Tabla 2.4.2.1. Criterios para la evaluación potencial de aparición o presencia de cianobacterias en base parámetros fisicoquímicos e hidromorfológicos.

Fuente: OMS, 2021¹⁷ Chorus, I, Welker M; eds. 2021.

Con estos criterios se pretende evaluar, si las condiciones detectadas en la Laguna Grande el Parque Isabel la Católica son las idóneas para el desarrollo de estos organismos. Además, de ser empelados para el establecimiento de los indicadores de alerta temprana.

Mencionar, que entre los parámetros expuestos en la tabla anterior, se ha incluido la temperatura del agua, en base a los criterios de la OMS del año 2015. Este parámetro no está incluido en la nueva revisión del año 2021, pero se considera un factor clave y de fácil control a tener en cuenta en el desarrollo de cianobacterias.

¹⁷ Chorus, I, Welker M. 2021. **Toxic Cyanobacteria in Water, 2nd edition**. CRC Press, Boca Raton (FL), on behalf of the World Health Organization, Geneva, CH.

3. RESULTADOS

En el presente apartado se muestran los resultados obtenidos durante la campaña realizada el 12 de junio de 2024 en dos estaciones de muestreo ubicadas ambas en la laguna Grande del Parque Isabel la Católica. Así como la evolución de los parámetros fisicoquímicos de las sondas instaladas en la citada laguna, siendo estos datos proporcionados por el organismo contratante (ayuntamiento de Gijón).

3.1. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

En primer lugar se presentan los resultados obtenidos tras el seguimiento ambiental realizado por TAXUS S.L. en junio de 2024

3.1.1. Perfil Fisicoquímico de la Columna de Agua

Durante el muestreo se realizó un perfil vertical de los parámetros físico-químicos de la columna de agua para poder conocer y analizar las características de la laguna grande del Parque de Isabel la Católica en dos estaciones de muestreo:

- ⦿ LISA-1: localizado en la entrada de agua
- ⦿ LISA -2: proximidades del punto de unión con la Laguna Pequeña

A continuación, se representan gráficamente los perfiles verticales y los valores promedio de la columna de agua más o menos su desviación estándar.

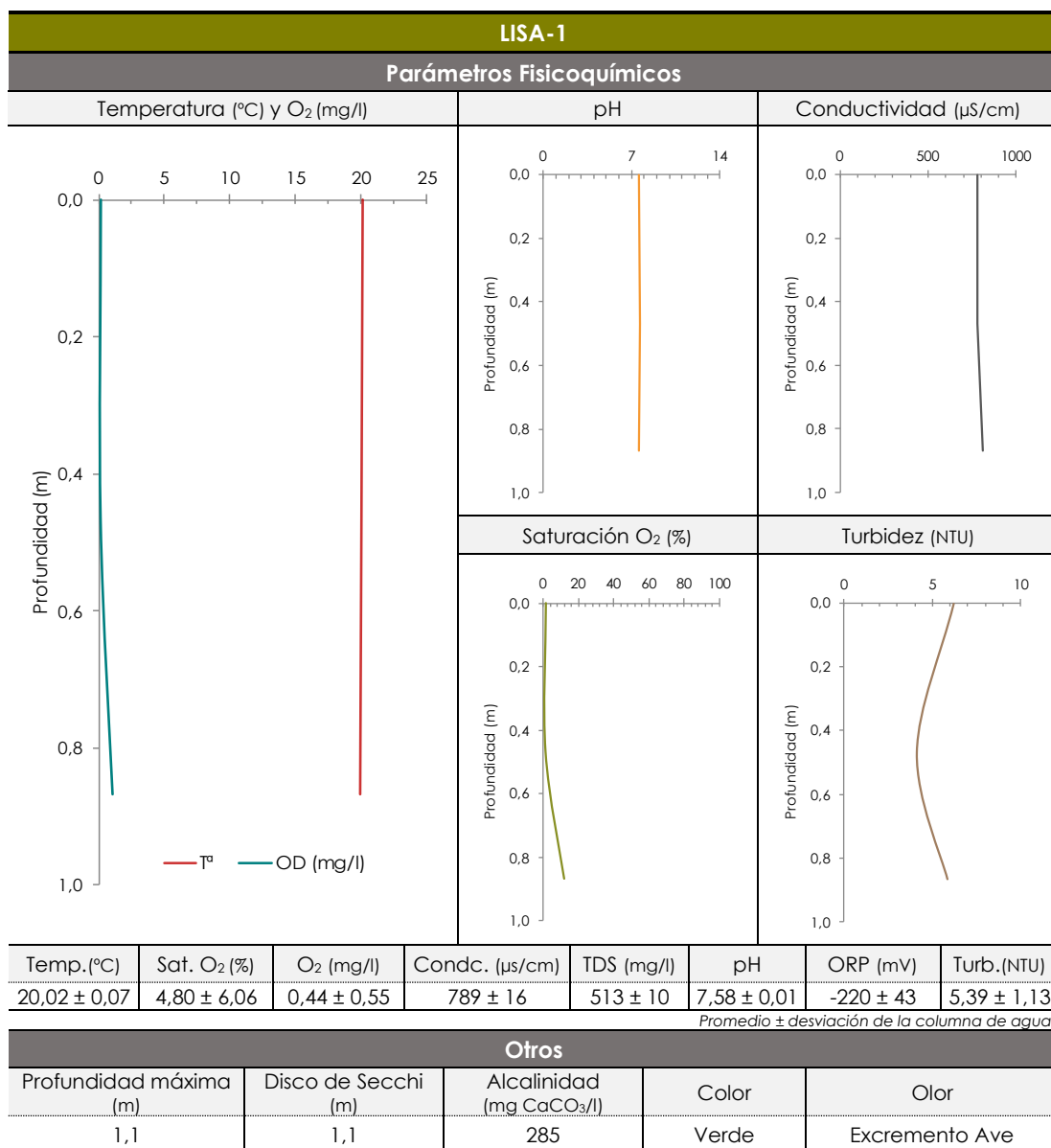


Tabla 3.1.1.1. Representación gráfica de los parámetros físico-químicos de la columna de agua de la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica, estación LISA-1. (12 de junio de 2024).

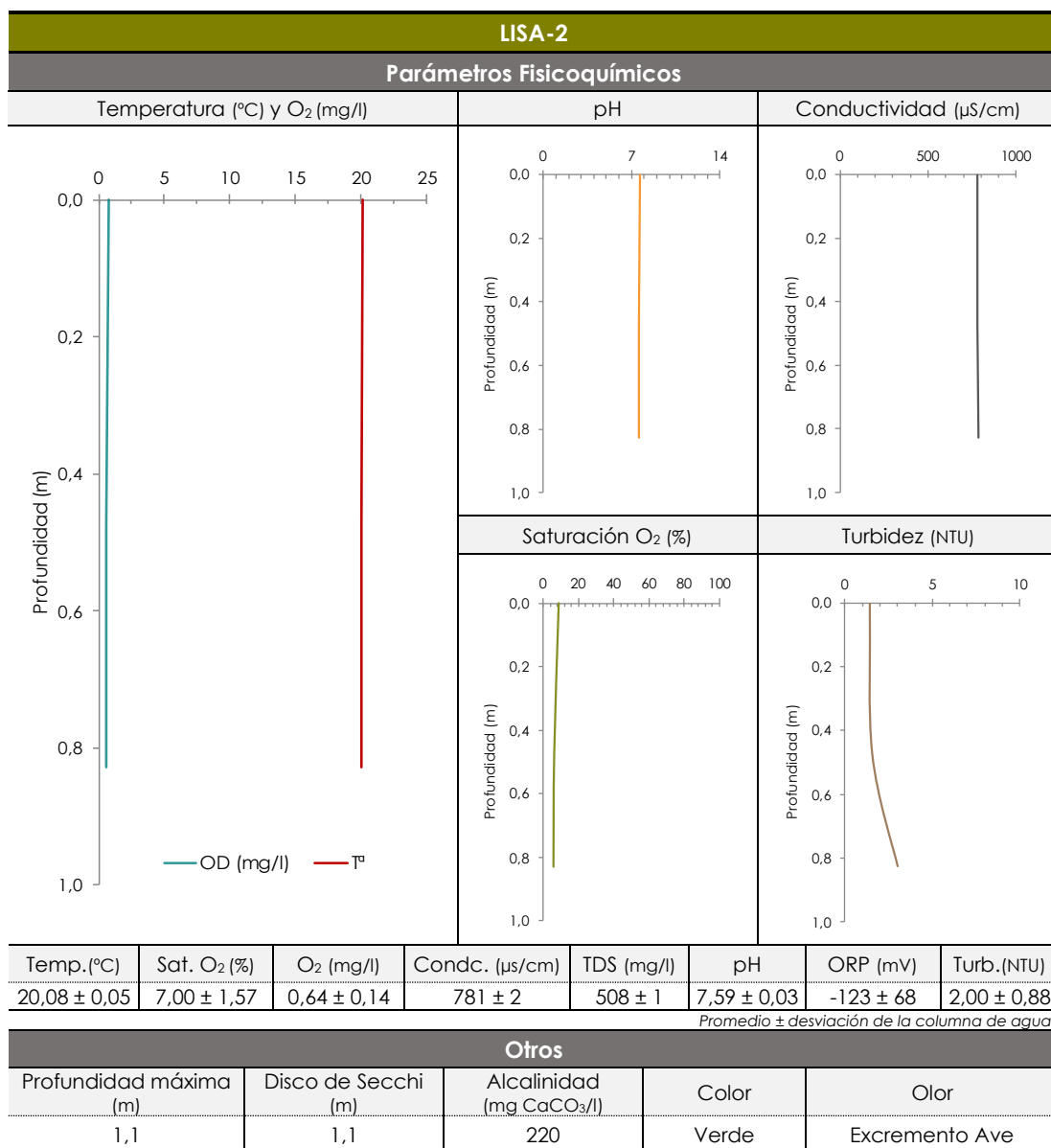


Tabla 3.1.1.2. Representación gráfica de los parámetros físico-químicos de la columna de agua de la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica, estación LISA-2. (12 de junio de 2024).

La laguna Grande del Parque de Isabel la Católica se caracteriza por una escasa profundidad (1,1 m) en ambas estaciones, coincidiendo ésta con la profundidad del disco de Secchi.

En lo que respecta a la concentración de oxígeno disuelto, se registran condiciones de anoxia a lo largo de toda columna de agua, siendo el promedio igual a 0,44 mg/l en la estación LISA-1 y de 0,64 mg/l en LISA-2. Relacionado con estas bajas

concentraciones de oxígeno, se encuentran los valores negativos de ORP obtenidos (-220 en LISA-1 y -123 en LISA-2), siendo estas condiciones características de ambientes eutróficos con una elevada carga de materia orgánica.

Durante el seguimiento, se apreció una gran cantidad de macrófitos depositados en el fondo del estanque. Por lo que, estas condiciones anóxicas podrían ser consecuencia de la degradación microbiana de la materia orgánica sedimentada en la laguna.

La temperatura muestra un perfil homogéneo con la profundidad, no detectándose la presencia de termoclina, siendo el valor promedio para ambos puntos en torno a 20 °C. Mientras que, la turbidez es ligeramente superior en la estación LISA-1 (5,39 FNU) con respecto a al punto LISA-2 (2,00 FNU) y el pH se mantiene en un rango de valores entre 7 y 7,5 para las dos estaciones.

Finalmente, los valores de conductividad son ligeramente altos (789 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en LISA-1 y 781 en LISA-2 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo que podría estar asociado a una alta actividad fotosintética como consecuencia de una moderada-elevada densidad celular de organismos fitoplanctónicos y/o macrófitos sumergidos.

3.1.2. Parámetros Fisicoquímicos: Sondas en Continuo

A continuación, se representan gráficamente el valor promedio diario más menos su desviación y el valor promedio frente al valor máximo y mínimo diario registrado de los parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/l), conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), sólidos en suspensión (mg/l) y materia orgánica (m^{-1}), desde 26 de julio hasta el 04 de septiembre de 2024.

Dichos registros provienen de las sondas en continuo instaladas en la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica y fueron proporcionados por el ayuntamiento de Gijón a TAXUS S.L.

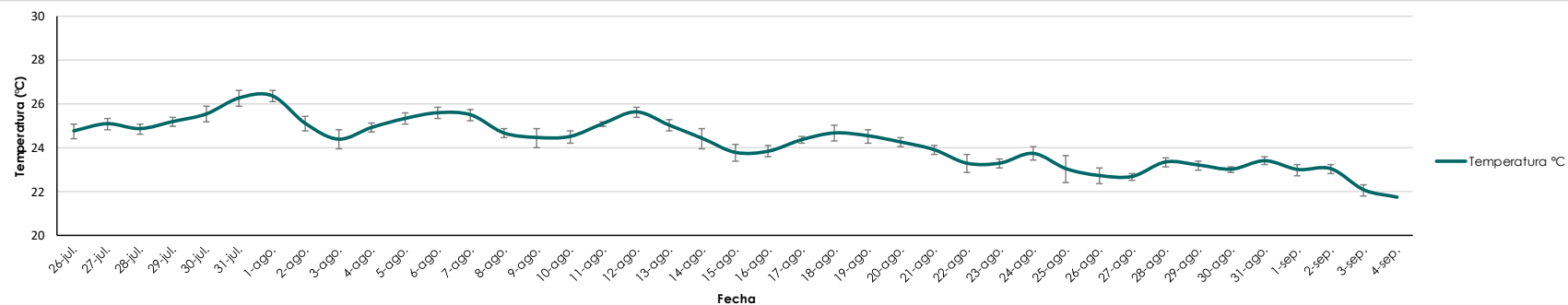


Figura 3.1.2.1. Promedio diario de temperatura (°C) más menos su desviación estándar, medidos a través de la sonda en continuo instalada en la Laguna grande del Parque de Isabel la Católica durante el periodo 26 de julio hasta el 04 de septiembre de 2024.

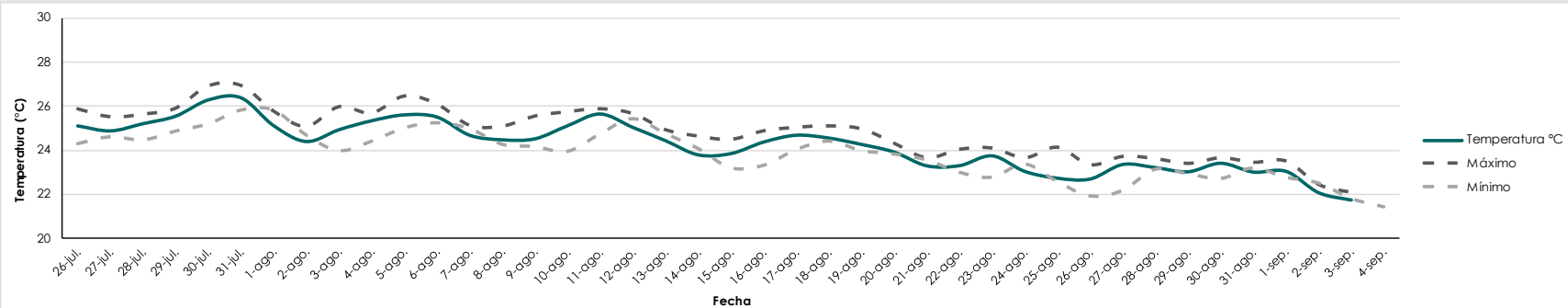


Figura 3.1.2.2. Representación gráfica del promedio, valor máximo y mínimo diario del parámetro temperatura (°C), registrados en continuo en la Laguna grande del Parque de Isabel la Católica durante el periodo 26 de julio hasta el 04 de septiembre de 2024.

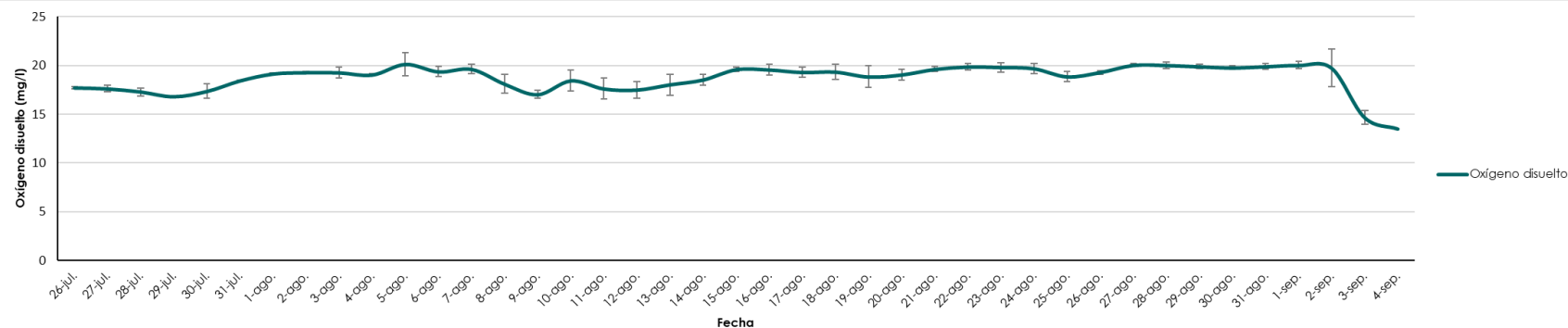


Figura 3.1.2.3. Promedio diario de oxígeno disuelto (mg/l) más menos su desviación estándar, medidos a través de la sonda en continuo instalada en la Laguna grande del Parque de Isabel la Católica durante el periodo 26 de julio hasta el 04 de septiembre de 2024.

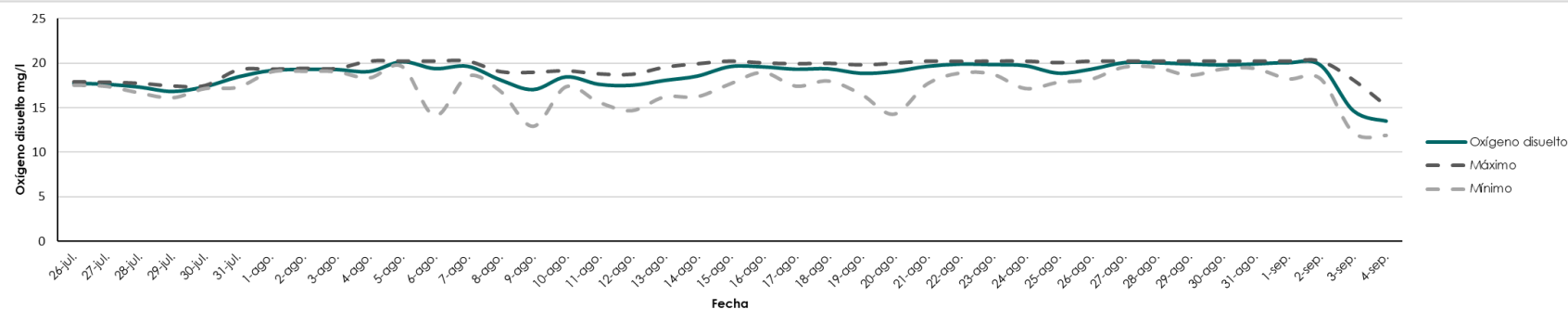


Figura 3.1.2.4. Representación gráfica del promedio, valor máximo y mínimo diario de la concentración de oxígeno disuelto (mg/l), registrados en continuo en la Laguna grande del Parque de Isabel la Católica durante el periodo 26 de julio hasta el 04 de septiembre de 2024.

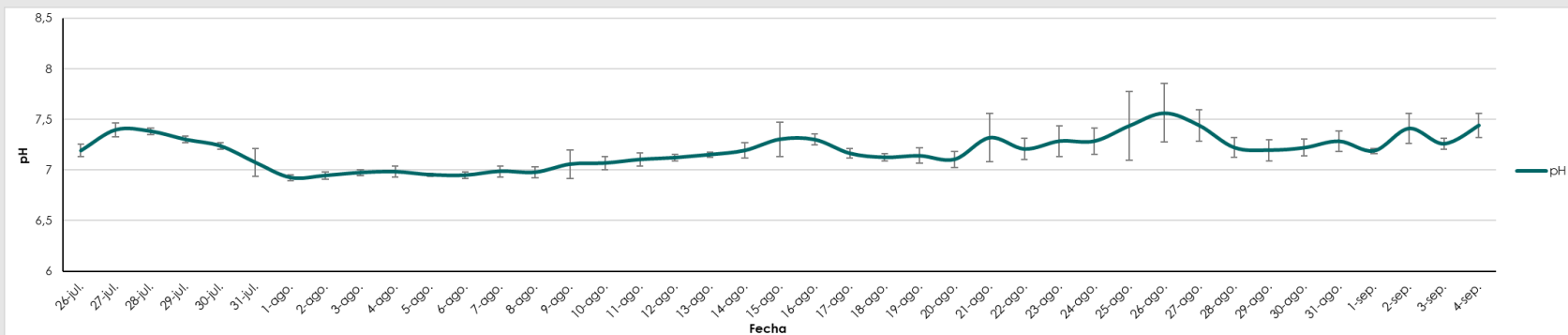


Tabla 3.1.2.5. Promedio diario de pH más menos su desviación estándar correspondiente, registrados en continuo en la Laguna grande del Parque de Isabel la Católica durante el periodo 26 de julio hasta el 04 de septiembre de 2024.

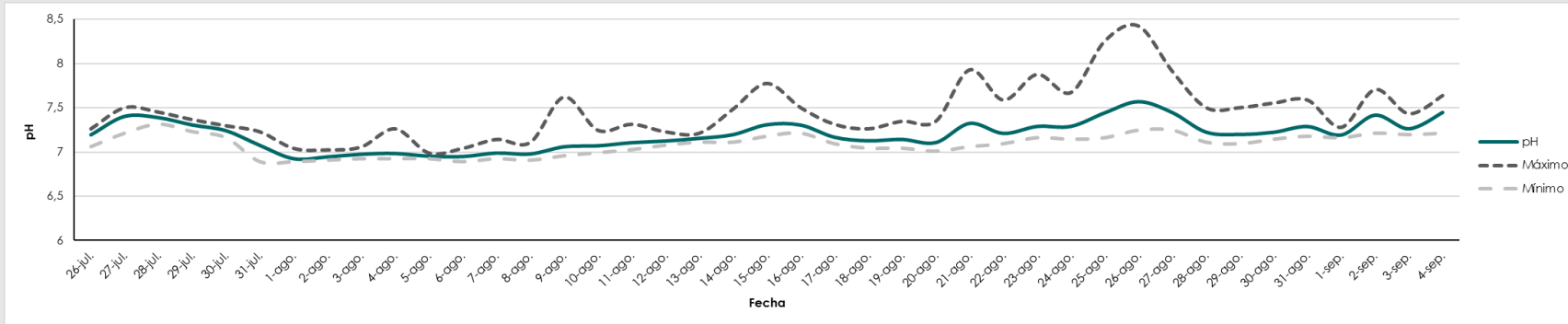


Figura 3.1.2.6. Representación gráfica del promedio, valor máximo y mínimo diario del parámetro pH, registrados en continuo en la Laguna grande del Parque de Isabel la Católica durante el periodo 26 de julio hasta el 04 de septiembre de 2024.

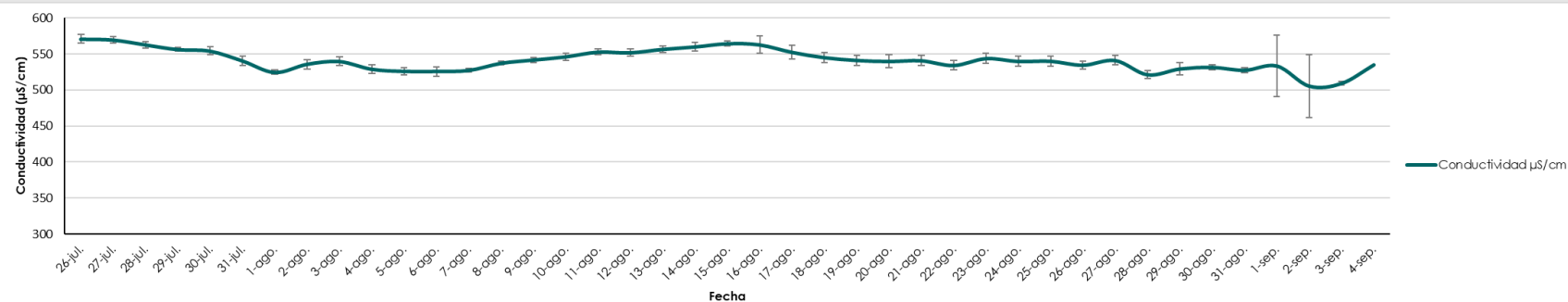


Tabla 3.1.2.7. Promedio diario de conductividad ($\mu\text{S/cm}$) más menos su desviación estándar correspondiente, registrados en continuo en la Laguna grande del Parque de Isabel la Católica durante el periodo 26 de julio hasta el 04 de septiembre de 2024.

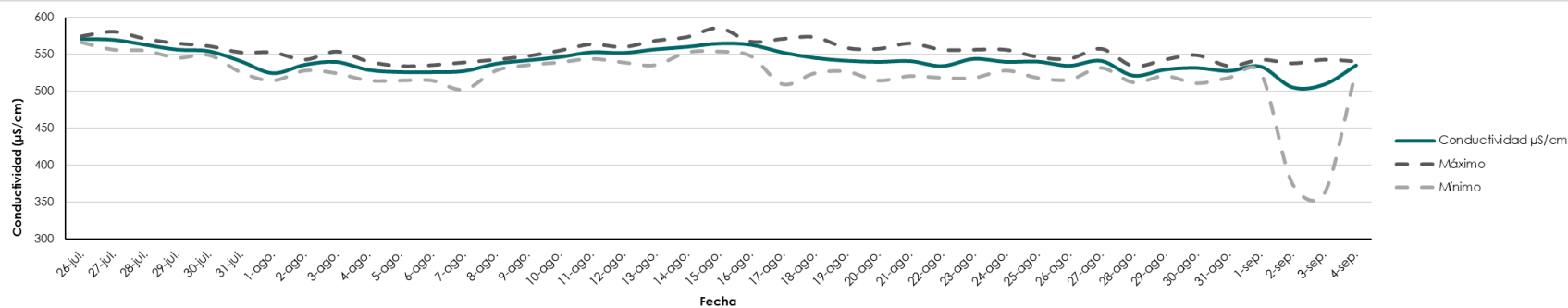


Figura 3.1.2.8. Representación gráfica del promedio, valor máximo y mínimo diario del parámetro conductividad ($\mu\text{S/cm}$), registrados en continuo en la Laguna grande del Parque de Isabel la Católica durante el periodo 26 de julio hasta el 04 de septiembre de 2024.

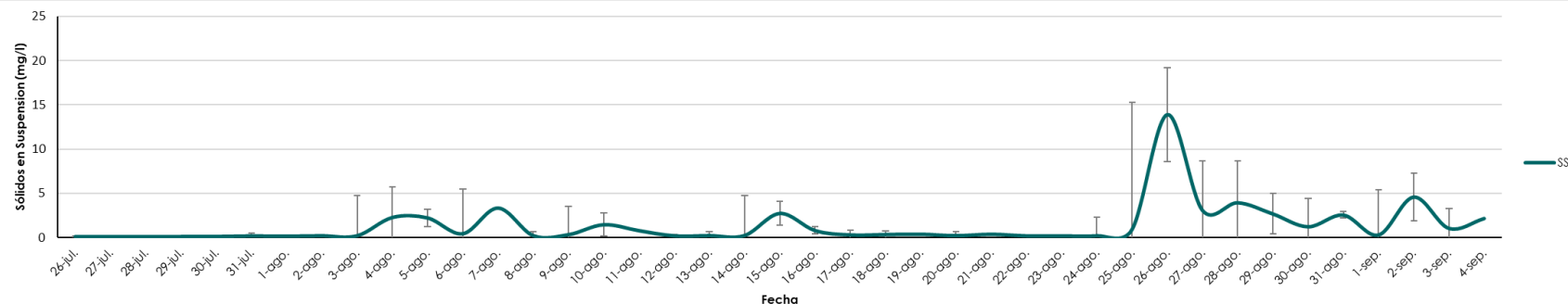


Tabla 3.1.2.9. Promedio diario de concentración de sólidos en suspensión (mg/l) más menos su desviación estándar correspondiente, registrados en continuo en la Laguna grande del Parque de Isabel la Católica durante el periodo 26 de julio hasta el 04 de septiembre de 2024.

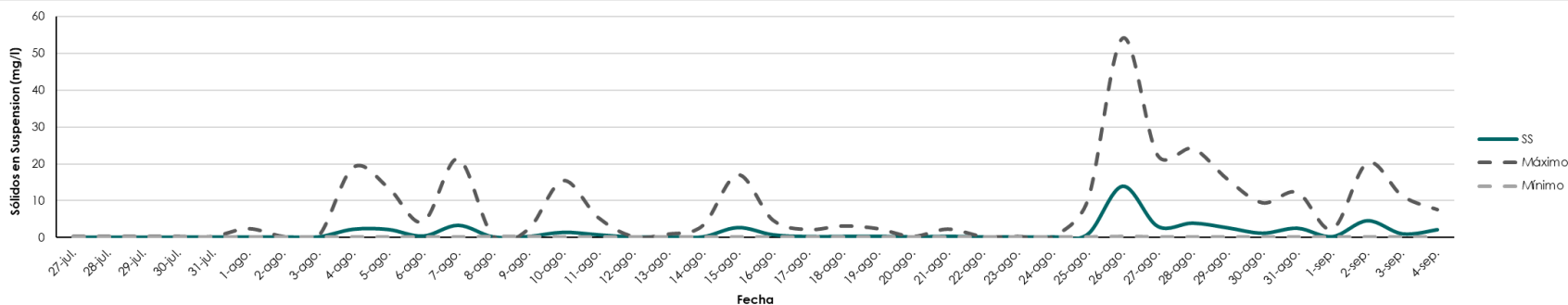


Figura 3.1.2.10. Representación gráfica del promedio, valor máximo y mínimo diario de la concentración de sólidos en suspensión (mg/l), registrados en continuo en la Laguna grande del Parque de Isabel la Católica durante el periodo 26 de julio hasta el 04 de septiembre de 2024.

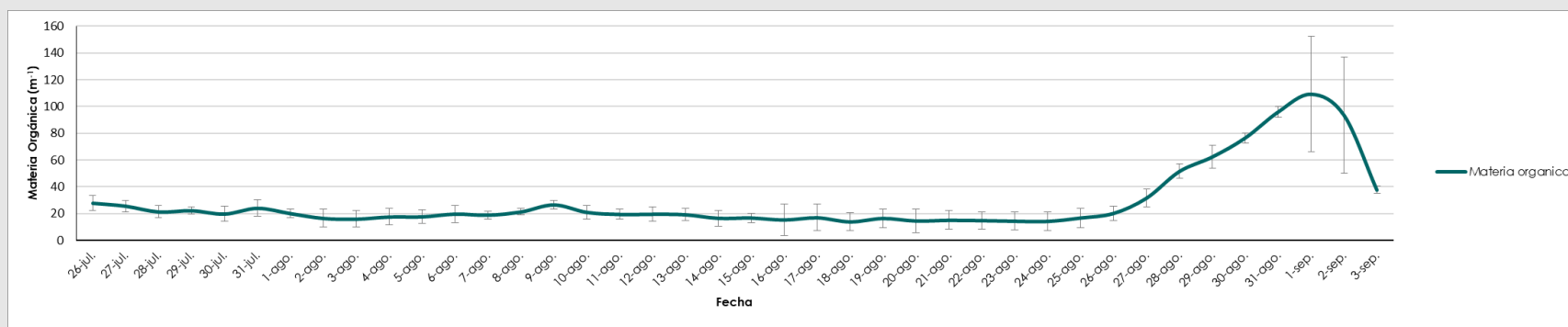


Tabla 3.1.2.11. Promedio diario de la materia orgánica (m^3/l) más menos su desviación estándar correspondiente, registrados en continuo en la Laguna grande del Parque de Isabel la Católica durante el periodo 26 de julio hasta el 04 de septiembre de 2024.

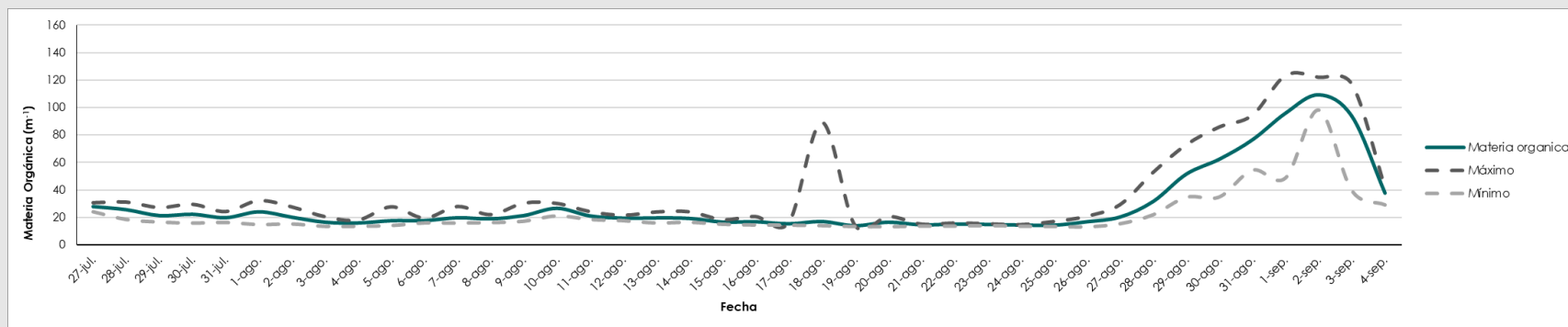


Figura 3.1.2.12. Representación gráfica del promedio, valor máximo y mínimo diario del parámetro materia orgánica (m^3/l), registrados en continuo en la Laguna grande del Parque de Isabel la Católica durante el periodo 26 de julio hasta el 04 de septiembre de 2024.

La temperatura se mantiene por encima de los 20°C durante todo el periodo analizado (26/07/2024-04/09/2024), con valores más elevados, entorno a los 25 °C, durante finales de julio y principios de agosto, disminuyendo a mediados de agosto-principios de septiembre hasta temperaturas entre los 22 y 23 °C.

Se observan valores muy elevados de oxígeno disuelto, los cuales se mantienen más o menos constantes y cercanos a los 20 mg/l. Lo que podría indicar que la sonda instalada no esté convenientemente calibrada. Así por ejemplo, mientras que los resultados del 12 de junio realizados por TAXUS S.L. muestran una concentración de oxígeno disuelto con valores cercanos a la anoxia (LISA-01 0,44 mg/l y LISA-2 0,64 mg/l), los datos provenientes de la sonda instalada en la laguna Grande el día 11 de junio alcanzaban valores entre 16,91 mg/l y 19,2 mg/l. Por lo que, se recomienda una revisión de dicho sensor para comprobar su correcto funcionamiento.

Los promedios diarios de pH oscilan, en la mayoría de los casos, entre 7 y 7,5, registrándose máximos por encima de 8 los días 25 y 26 de agosto (8,2 y 8,4 respectivamente). Este incremento de pH es coincidente con un aumento en la concentración de sólidos en suspensión, obteniéndose el máximo valor de todo el periodo (54,131 mg/l). Esto podría deberse a que durante este periodo aumenta la presencia de productores primarios en el sistema, lo que daría lugar a una mayor actividad fotosintética, que podría conllevar un aumento del pH.

Del mismo modo, se observa una tendencia ascendente del contenido de materia orgánica a partir del día 26 de agosto, la cual se mantiene hasta el 1 de septiembre, donde se detecta un valor máximo de 98 m⁻¹.

Finalmente, en lo que respecta al parámetro conductividad, éste presenta de manera general un patrón homogéneo a lo largo del periodo analizado, con valores promedio en un rango entre 505 µS/cm y 571 µS/cm. Detectándose un mínimo acusado durante los días 2 y 3 de septiembre, en donde se obtienen valores puntuales de 361 y 374 µS/cm, mientras que el promedio para estos días es de 505 µS/cm y 509 µS/cm.

3.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los compuestos químicos analizados durante el seguimiento, realizado el 12 de junio de 2024, en ambas estaciones de muestreo:

Parámetro		LISA-1	LISA-2	Promedio
Nutrientes	Nitratos (mg N-NO ₃ /l)	0,21	0,22	0,215
	Nitritos (mg N-NO ₂ /l)	0,18	0,19	0,185
	Nitrógeno TOTAL (mg N/l)	2,3	2,4	2,350
	Fósforo TOTAL (mg P/l)	0,31	0,24	0,275
	Ratio N:P	7:1	10:1	9:1
Microcistinas	Microcistinas (µg/l)	<0,20	<0,20	<0,20
	Microcistina-RR (µg/l)	<0,050	<0,050	<0,050
	Microcistina-LR (µg/l)	<0,050	<0,050	<0,050
	Microcistina-YR (µg/l)	<0,050	<0,050	<0,050
	Microcistina-Desmetil-RR (µg/l)	<0,050	<0,050	<0,050

Tabla 3.2.1. Elementos de calidad química: nutrientes (nitrato, nitrito, nitrógeno total y fósforo total) y microcistinas analizadas el 12 de junio de 2024 en la laguna Grande del Parque de Isabel la Católica.

Se detectan altas concentraciones de nutrientes (nitrato, nitrito, nitrógeno total y fósforo total) en ambas estaciones de muestreo.

Los valores de fósforo muestran un estado hipertrófico (>100 µg/l) en ambos puntos, obteniéndose un valor igual a 310 µg/l en la estación LISA-1 y de 240 µg/l en LISA-2. Del mismo modo, la concentración de nitrógeno total en ambas estaciones, cataloga el estado trófico como hipereutrófico al ser superior a 1,2 mg/l (Smith et al. 1999). Por otra lado, la concentración de nitrato registrada es superior al límite establecido por Margalef (>0,14 mg N-NO₃/l), indicando la eutrofia del sistema.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos previamente en el "Estudio del nivel de salubridad de las aguas continentales y litorales de Gijón (anualidad 2020)", realizado por la Universidad de Oviedo, sugiriendo que existe una fuente difusa de entrada a través de procesos de escorrentía y lixiviado, asociado a los usos del suelo y a causas antropogénicas. Además, de estas fuentes, se ha de tener en cuenta los

residuos orgánicos (excrementos) generados por la abundante fauna presente en el entorno de la laguna, especialmente avifauna.

En cuanto a la relación nitrógeno/fósforo, se observa como el fósforo sería el nutriente limitante del sistema. Además, de presentar un valor inferior a la Redfield ratio de 16:1, sugiriendo una mayor probabilidad de desarrollo de cianobacterias en la laguna del Parque de Isabel la Católica. En este sentido, existen múltiples modelos en la bibliografía que establecen umbrales en la ratio N:P que favorecerán o no el desarrollo de proliferaciones de cianobacterias. En particular las cianobacterias parecen dominar cuando la ratio N:P es baja, inferior al umbral 16:1 (Alvarez, 2021¹⁸; Redfield 1936¹⁹). Este hecho estaría basado en la ventaja competitiva que presentan algunas cianobacterias por su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico (N₂) o para utilizar las fuentes sedimentarias de amonio gracias a su capacidad para regular su flotabilidad (Ferber et al 2004²⁰).

Por otro lado, al igual que para los parámetros fisicoquímicos, el Ayuntamiento de Gijón proporcionó los datos de la concentración de fosfato, registrados por la sonda instalada en la laguna Grande durante el periodo 26 de julio - 14 de agosto de 2024. Las concentraciones de fosfato obtenidas muestran valores entre 0 mg/l y 0,002 mg/l, siendo estos resultados inferiores al límite de detección de la sonda instalada, 0,05 mg/l, según se especifica en el proyecto de "Restauración del Sistema Hidráulica de los Estanques del Parque de Isabel la Católica". Por ello, se recomienda una revisión del sistema de medida y su calibración para comprobar que está llevando a cabo medidas precisas.

Finalmente, no se detecta la presencia de cianotoxinas en la laguna del Parque de Isabel la Católica, estando los valores por debajo de los límites de cuantificación. Esto indica que el Bloom observado durante el mes de junio de 2024, al menos durante el

¹⁸ López, MA. **Estudio de salubridad de las aguas del anillo navegable y su restauración ambiental: Nivel de salubridad del Anillo Navegable** (Tragsatec). Real Grupo de Cultura Covadonga. 2021.

¹⁹ Redfield, R., Linton, R. and Herskovits, M. (1936) **Memorandum for Acculturation**. American Anthropologist, 38, 149-152.

²⁰ Ferber, LR., Levine, SN., Lini, A., & Livingston, GP. (2004). **Do cyanobacteria dominate in eutrophic lakes because they fix atmospheric nitrogen?** Freshwater Biology, 49, 690–708.

seguimiento ambiental realizado, parece no estar dominado por este tipo de organismos, lo que concuerda con los resultados obtenidos en referencia al estudio de la población de fitoplancton y con lo percibido por los técnicos en campo, donde apreciaron una elevada presencia de macrófitos sumergidos.

3.3. PARÁMETROS BIOLÓGICOS

3.3.1. Clorofila a y Fitoplancton

En primer lugar se presenta una tabla resumen con los principales parámetros asociados al análisis de la comunidad de fitoplancton, siendo estos:

- ⊙ Concentración de clorofila a ($\mu\text{g/l}$)
- ⊙ Densidad celular total (cel/ml)
- ⊙ Biovolumen total de la muestra (mm^3/l)
- ⊙ Porcentaje de cianobacterias (%) expresado como porcentaje del biovolumen total de la muestra

Parámetros	Estación		Promedio
	LISA-1	LISA-2	
Clorofila-a ($\mu\text{g/l}$)	18,17	12,31	15,24
Densidad algal (cel/ml)	2.260	1.586	1.923
Biovolumen (mm^3/l)	0,780	0,458	0,619
Densidad de Cianobacterias (cel/ml)	487	355	421
Porcentaje de Cianobacterias (%)	4,29	2,77	3,53

Tabla 3.3.1.1. Elementos de calidad biológicos obtenidos en las estaciones LISA-1 y LISA-2, localizadas en la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica, durante el seguimiento ambiental llevado a cabo el 12 de junio de 2024.

Se observa como los valores son menores en la estación LISA-2 que en LISA-1. Sin embargo, muestran la misma tendencia con concentraciones de clorofila a elevadas y una densidad celular moderada. Mientras que, tanto el biovolumen como la presencia de cianobacterias, expresada como porcentaje y densidad celular, obtienen bajos valores.

Estos resultados parecen indicar la presencia de una proliferación de organismos fitoplanctónicos de especies de pequeño tamaño y no dominada por el grupo de cianobacterias, de ahí que no se hayan detectado microcistinas en las muestras tomadas, siendo la concentración de éstas menores al límite de cuantificación, tal y como se muestra en el apartado anterior (3.2. elementos de Calidad Química).

Cuando se analiza el estado trófico en base a la concentración de clorofila a, la laguna del Parque de Isabel la Católica es clasificada como mesotrófica (OCDE; máxima anual) o eutrófica (OCDE; media anual). Del mismo modo, la densidad algal cataloga la laguna como mesotrófica. Sin embargo, según el biovolumen total y la densidad de cianofíceas, el estado trófico se definiría como oligotrófico y ultraoligotrófico, respectivamente.

A continuación, se detalla la composición taxonómica de las muestras, mostrándose la densidad celular y biovolumen de cada una de las especies registradas tras el análisis cuantitativo de fitoplancton. Además, se representa gráficamente el porcentaje de las clases observadas, expresado en términos de densidad celular y biovolumen.

La siguiente tabla muestra la composición taxonómica completa de la muestra que comprende tanto análisis cualitativo como cuantitativo (ver Anexo III: Certificados de ensayo para más detalle):

División	Clase	Género/Especie	LISA-1		LISA-2	
			Densidad (cél/ml)	Biovolumen (mm³/l)	Densidad (cél/ml)	Biovolumen (mm³/l)
Charophyta	Zygnematophyceae	<i>Spirogyra</i> sp.	0,04	0,0005	0,68	0,0080
Chlophyta	Chlorophyceae	<i>Korshikoviella</i> sp.	7,03	0,0009	2,60	0,0003
		<i>Schroederiasetigera</i>	8,79	0,0011	6,50	0,0008
Cryptista	Cryptophyceae	<i>Chroomonas</i> sp.	54,08	0,0031	31,30	0,0018
		<i>Cryptomonas curvata</i>	-	-	19,89	0,0337
		<i>Cryptomonas erosa</i>	31,64	0,0251	13,00	0,0103
		<i>Cryptomonas marssonii</i>	191,59	0,2286	118,31	0,1412
		<i>Cryptomonas</i> sp.	166,98	0,3567	74,10	0,1583
		<i>Cryptomonas obovata</i>	10,55	0,0203	5,20	0,0100
		<i>Komma caudata</i>	1.259,25	0,0684	928,51	0,0504
Cyanobacteria	Cyanophyceae	<i>Pseudanabaena</i> sp.	-	-	52,16	0,0001
		<i>Spirulina</i> sp.	131,33	0,0232	26,08	0,0046
		<i>Synechococcus</i> sp.	355,37	0,0102	276,47	0,0079
Euglenophyta	Euglenophyceae	<i>Euglena</i> sp.	0,04	0,0001	-	-
		<i>Petalomonas</i> sp.	1,76	0,0009	1,30	0,0007
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	<i>Amphora</i> sp.	-	-	1,99	0,0022
		cf. <i>Achnanthidium minutissimum</i>	3,52	0,0009	2,60	0,0006
		<i>Cocconeis placentula</i>	15,91	0,0157	15,91	0,0157
		<i>Diatoma</i> sp.	7,73	0,0047	-	-
		<i>Navicula</i> sp.	8,79	0,0104	7,80	0,0092
		<i>Rhoicosphenia</i> sp.	-	-	1,99	0,0017
	Mediophyceae	<i>Cyclotella</i> sp.	3,98	0,0069	-	-
		<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>	1,99	0,0020	-	-
TOTAL			2.260,36	0,7797	1.586,39	0,4577

Tabla 3.3.1.2. Resultados de densidad celular y biovolúmenes de fitoplancton en la laguna Grande del Parque de Isabel la Católica (12 de junio de 2024).

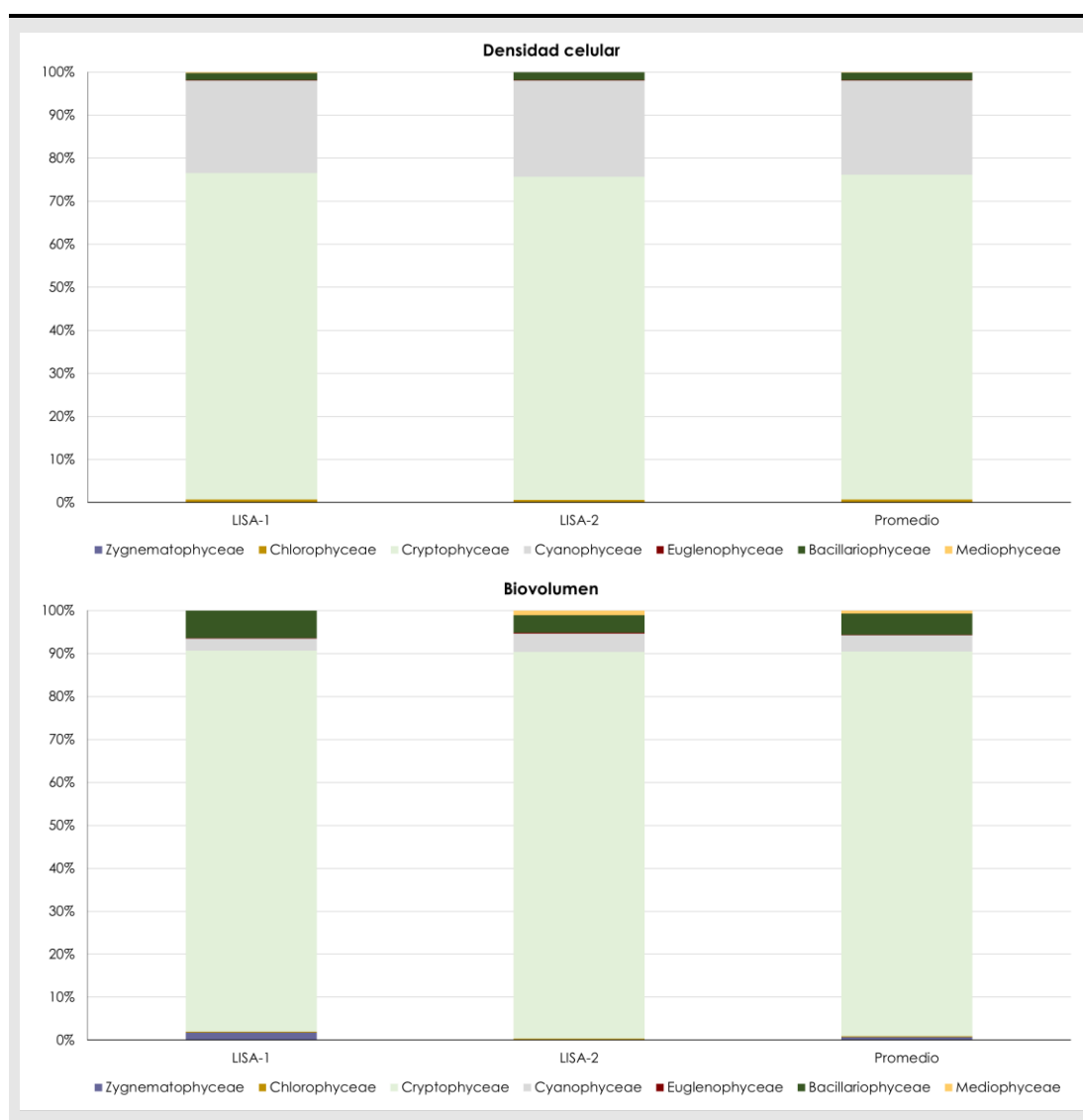


Figura 3.3.1-2. Representación gráfica de la abundancia (superior) y biovolumen (Inferior) en porcentaje de la comunidad de fitoplancton analizada en la laguna Grande del Parque Isabel la Católica.

En cuanto a la composición taxonómica, se detectan individuos pertenecientes a 7 clases diferentes, obteniéndose un total de 18 especies en LISA-1 y 19 en LISA-2.

La comunidad de fitoplancton de La laguna Grande del Parque de Isabel la Católica, se caracteriza por una notable predominancia de la división cryptista, suponiendo el 75 % de la densidad celular y un 90 % del biovolumen total de la muestra, siendo la especie con mayor abundancia *Komma caudata*, seguida de diferentes taxones pertenecientes al género *Cryptomonas*.

Las criptofitas o división Cryptista son un grupo taxonómico de organismos flagelados unicelulares, cosmopolitas y característicos en aguas continentales y marinas. Estos organismos, aunque se pueden asociar a ambientes pobres en nutrientes, también son característicos en masas de aguas pequeñas, enriquecidas en nutrientes o bien con una alta presencia de macrófitos sumergidos o elevada carga de materia orgánica, debido a que muchos de ellos se consideran mixotrofos, es decir, capaces de realizar la fotosíntesis y también de fagocitar bacterias (fagótrofos), pudiendo desarrollarse en ambientes con baja disponibilidad de luz²¹.

Las cianobacterias representan, aproximadamente, el 22 % en términos de densidad celular, pero tan solo suponen alrededor del 4% de la biomasa total de la muestra (biovolumen promedio de ambos puntos), debido al pequeño tamaño de los taxones identificados. Los géneros registrados fueron *Pseudanabaena* sp., *Spirulina* sp. y *Synechococcus* sp. De los géneros detectados únicamente se han descrito como posibles productoras de cianotoxinas, aunque en raras ocasiones, los géneros: *Pseudanabaena* y *Synechococcus*²². Este hecho así como su baja contribución a la biomasa total observada, explicaría que la concentración de microcistinas sea inferior al límite de cuantificación del método (<0,20 µg/l para el cómputo de microcistinas total y <0,050 µg/l para Microcistina-RR, Microcistina-LR, Microcistina-YR y Microcistina-Desmetil-RR), catalogándose el estado trófico en base a la densidad de cianofíceas, como ultraoligotrófico (<500 cél/ml), según Chorus & Bartram (1999)²³

Por otro lado, la división Heterokontophyta, en este caso formada por diatomeas de la clase Bacillariophyceae y Mediophyceae, alcanza alrededor del 2% en densidad celular y un 5% del biovolumen total, incluyendo tanto especies pennadas como céntricas, como por ejemplo los géneros *Cocconeis*, *Navicula* o *Cyclotella*.

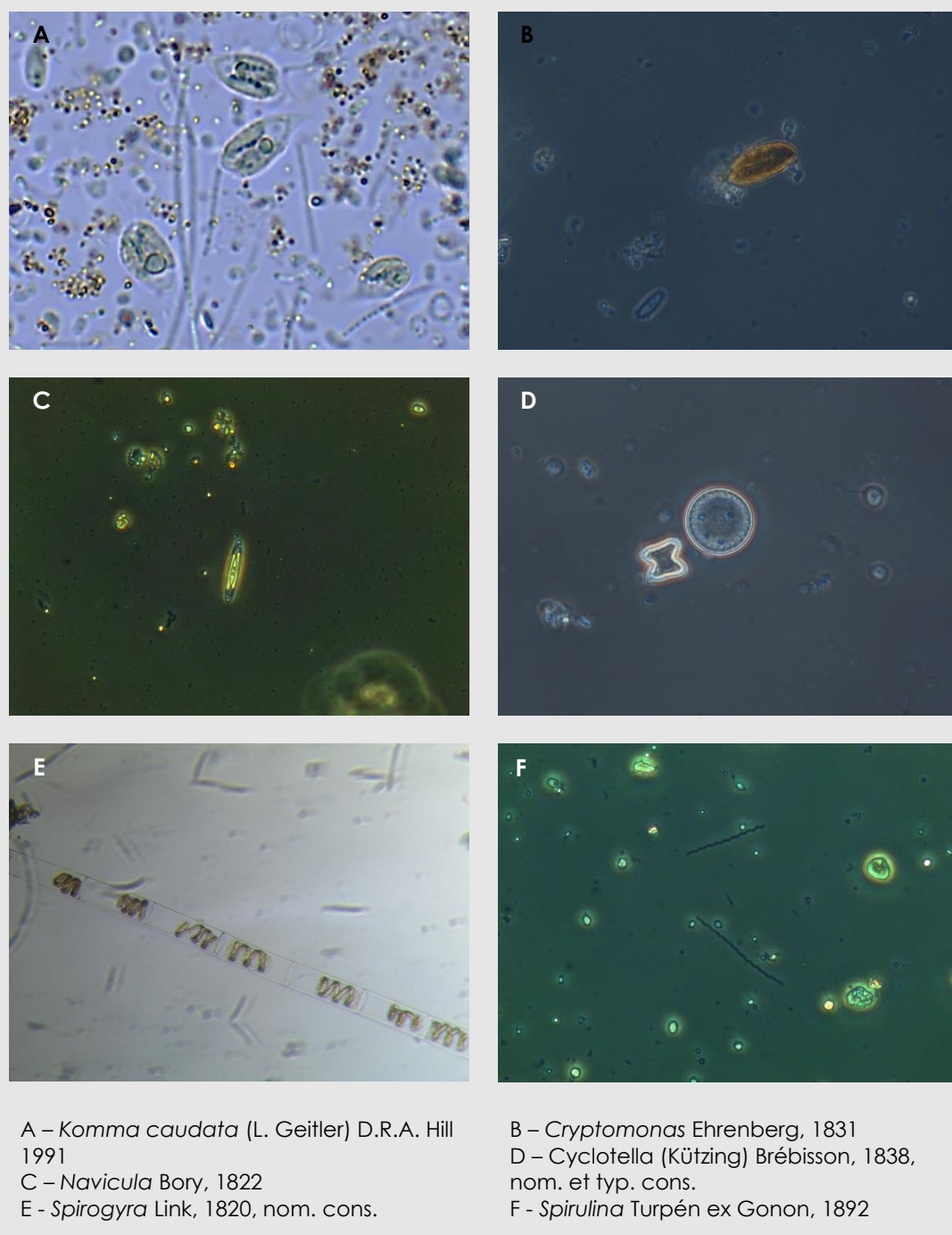
²¹ John, DM., Whitton, BA. and Brook AJ. (eds). 2002. **The Freshwater Algal Flora of the British Isles**. Cambridge University Press, Cambridge: 702 pp

²² Chorus, I, Welker M. 2021. **Toxic Cyanobacteria in Water, 2nd edition**. CRC Press, Boca Raton (FL), on behalf of the World Health Organization, Geneva, CH.

²³ Chorus I. & Bartram J. 1999. **Toxic Cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management**. Word Health Organization (WHO). London. E & FH Spon. 416 pp.



Finalmente, el resto de la comunidad está representada por taxones pertenecientes a las divisiones Charophyta, Chlophyta y Euglenophyta (aproximadamente, 2% de la densidad celular y 1 % del biovolumen, promedio de ambas muestras).



Fotografías 3.3.1-6. Imágenes de diferentes taxones registrados en la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica.
Fuente: Taxus Medio Ambiente S.L.

3.3.2. Otras consideraciones

3.3.2.1. Macrófitos

Durante el seguimiento ambiental realizado el 12 de junio de 2024, se observó una gran biomasa de macrófitos sumergidos, muchos de ellos ya depositados en el fondo de la laguna del parque de Isabel la Católica.

Este hecho, y dado que no se registró un Bloom marcado asociado a la comunidad de fitoplancton, pondría de manifiesto que la proliferación observada en junio de 2024, al menos durante la época en la que se llevó a cabo el seguimiento, estaría dominada principalmente por macrófitos sumergidos, pertenecientes a la clase Ulvophyceae.

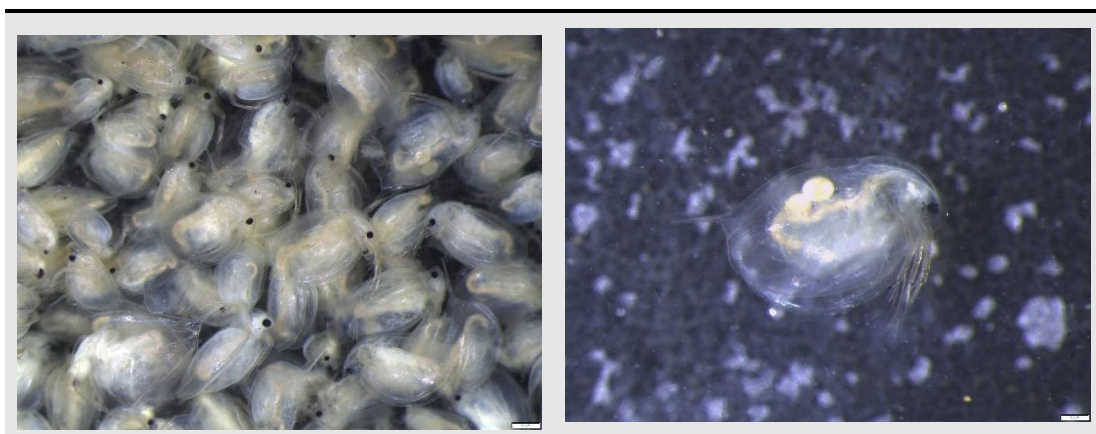


Fotografías 3.3.2.1.1-4. Imágenes tomadas del género *Rhizoclonium* (izquierda:10x; derecha: 60x) registrados en la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica.
Fuente: Taxus Medio Ambiente S.L.

3.3.2.2. Zooplankton

Por otro lado, durante la jornada de campo los técnicos detectaron una gran densidad de organismos zooplanctónicos, los cuales se veían a simple vista en la superficie de la laguna.

Tras la observación a la lupa binocular de estos organismos, se identificó como especie claramente mayoritaria, el cladócero *Daphnia magna*.



Fotografías 3.3.2.2.1-4. Imágenes tomadas de la especie *Daphnia magna* observadas en la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica.
Fuente: Taxus Medio Ambiente S.L.

3.4. PARÁMETROS HIDROMORFOLÓGICOS

3.4.1. Caudal

A continuación, se representan gráficamente el valor promedio diario del caudal (l/s), así como los valores máximos y mínimos registrados por la sonda instalada en la laguna Grande del Parque de Isabel la Católica, durante el periodo 14 de agosto-04 de septiembre de 2024.

El caudal medio durante el periodo de citado es igual a 5,34 l/s, registrándose el valor máximo de 34 l/s el día 24 de agosto de 2024.

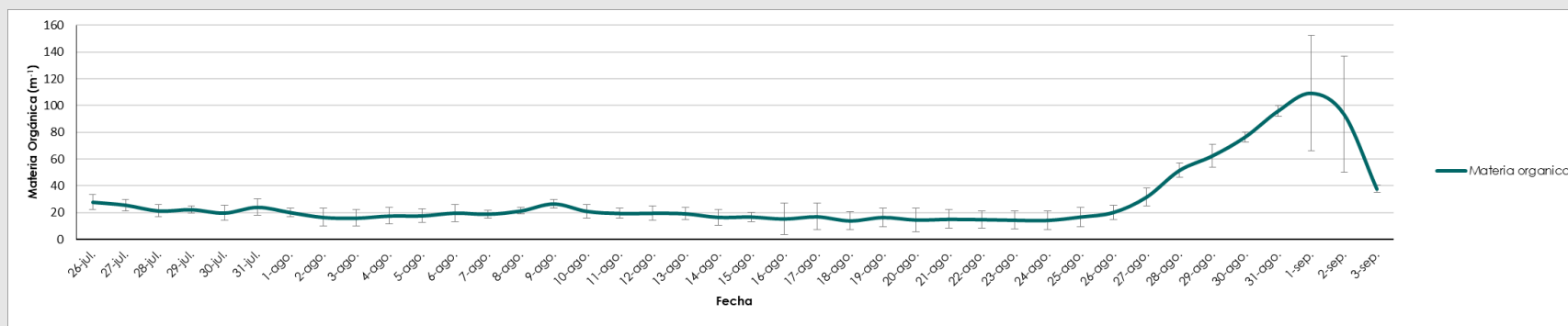


Tabla 3.4.1. Promedio diario del caudal de entrada (l/s) más menos desviación estándar, registrados en la Laguna grande del Parque de Isabel la Católica durante el periodo 14 de agosto hasta el 04 de septiembre de 2024.

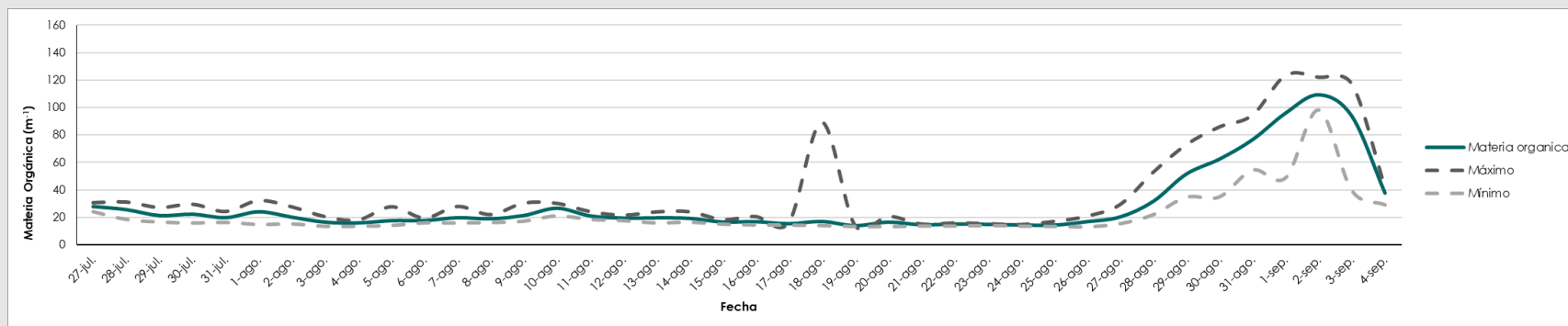


Figura 3.4.2. Representación gráfica del promedio, valor máximo y mínimo diario del caudal de entrada (l/s), registrados en continuo en la Laguna grande del Parque de Isabel la Católica durante el periodo 14 de agosto hasta el 04 de septiembre de 2024.

3.4.2. Tiempo de Residencia y Tasa de Renovación

Entre los diferentes parámetros hidromorfológicos que afectan tanto a los parámetros físicoquímicos como biológicos de las masas de agua embalsada, los tiempos de residencia y renovación, resultan claves para la gestión de los cuerpos de agua frente a la aparición de procesos de eutrofia y proliferaciones de fitoplancton.

Para poder realizar una estima del tiempo de residencia/renovación del agua del estanque Grande del Parque de Isabel la Católica, se ha llevado a cabo una estimación en base a los datos de caudal de entrada medidos en continuo desde el 14 de agosto al 04 de septiembre de 2024, proporcionados por el Ayuntamiento de Gijón, considerando que los caudales de entrada son igual a las salidas, dado que no existen datos registrados de éstos últimos.

Por otro lado, para este cálculo y según las fuentes consultadas, se ha tenido en cuenta que el volumen del estanque es de aproximadamente 15.000 m³. De este modo, y en base al caudal promedio de entrada igual a 5,34 l/s durante el periodo analizado, el tiempo que tardaría en renovarse la totalidad del agua embalsada o el tiempo de residencia de la misma sería igual a 32,5 días.

Según la estima realizada y al ser el tiempo de residencia superior a 1 mes (OMS, 2021), junto con las características del estanque: baja profundidad, gran extensión, alta insolación y elevada carga de nutrientes, la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica presentaría un riesgo potencial alto-muy alto para la proliferación de organismos fitopláctoncos, concretamente de cianobacterias de tipo tóxico.

No obstante, con el fin de obtener de forma más precisa y exacta tanto el tiempo de residencia como la tasa de renovación de dicho sistema, se recomienda la comprobación y verificación de la sonda de caudal instalada. Así como la realización de aforos para conocer el caudal de salida en diferentes épocas y condiciones meteorológicas.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. ESTADO TRÓFICO

4.1.1. Evaluación de Indicadores Biológicos y Físicoquímicos

En la siguiente tabla se resume la clasificación del estado trófico, en ambos puntos de muestreo así como el de su valor promedio, para la Laguna Grande del Parque Isabel la Católica, en base a todos los indicadores analizados a lo largo del presente documento y expuestos con anterioridad en el apartado de metodología (2.4.1. Estado Trófico)

Señalar que se ha optado por no incluir la medición de la transparencia del agua mediante el empleo del Disco de Secchi para la determinación del estado trófico, al ser su valor coincidente con la profundidad máxima de la laguna (1,1m):

Indicadores	Parámetro	Estación		Promedio
		LISA-1	LISA-2	
Biológico	Densidad algal (cel/ml)	2.260	1.586	1.923
		Mesotrófico		
	Biovolumen total (mm ³ /l)	0,780	0,458	0,619
		Oligotrófico		
	Clorofila a, media anual fótica (µg/l)	18,17	12,31	15,24
		Eutrófico		
Físicoquímico	Clorofila a, máxima anual (µg/l)	18,17	12,31	15,24
		Mesotrófico		
	Cianofíceas tóxicas, Máximo anual (cel/ml)	487	355	421
		Ultraoligotrófico		
	Fósforo Total (µg/l)	310	240	275
		Hipereutrófico		
	Nitrógeno Total (mg/l)	2,3	2,4	2,35
		Hipereutrófico		
	Nitrato (mg N/l)	0,21	0,22	0,215
		Eutrófico		

Tabla 4.1.1.1. Resultados obtenidos en las estaciones LISA-1 y LISA-2, valor promedio y clasificación del estado trófico de la laguna Grande del Parque de Isabel la Católica en base a los diferentes indicadores biológicos y físicoquímicos (12 de junio de 2024).

Mientras que, los parámetros biológicos muestran una mayor variabilidad y catalogan la laguna desde condiciones ultraoligotróficas a eutróficas. Los indicadores fisicoquímicos definen un estado eutrófico generalizado, llegando a superar los límites hipereutrófico en dos (fósforo total y nitrógeno total) de los tres parámetros analizados, no detectándose diferencias entre las estaciones muestreadas.

La variabilidad observada en cuanto a la clasificación del estado trófico en base a los indicadores biológicos, se debería, principalmente, a la composición taxonómica de la comunidad de fitoplancton. En este sentido, aunque durante el muestreo llevado a cabo el 12 de junio de 2024 y tras la determinación y cuantificación de las muestras en laboratorio, se apreció la existencia de un Bloom de fitoplancton de moderada magnitud, como así indican los valores registrados de clorofila *a* y densidad celular. La comunidad fitoplanctónica presentaba una dominancia clara de especies de pequeño tamaño y escasa presencia de cianobacterias. Por ello, se obtiene un estado oligotrófico y ultraoligotrófico, respectivamente. Mientras, que los valores de los indicadores fisicoquímicos (nutrientes: nitrato, nitrógeno y fósforo total) definen un estado eutrófico de la masa de agua, alcanzando un estado hipereutrófico tanto para el fósforo total ($>100 \mu\text{g/l}$) como para el nitrógeno total ($>1,2 \text{ mg/l}$).

En base a lo anteriormente expuesto, y teniendo en cuenta, la elevada densidad de macrófitos sumergidos observada durante el muestreo y las bajas concentraciones de oxígeno disuelto registrados a lo largo de toda la columna de agua, con valores menores a 1 mg/l , la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica tiene una gran probabilidad de sufrir marcados procesos de eutrofia y blooms de fitoplancton, pudiendo darse la aparición de cianobacterias tóxicas, concordando estos resultados con los obtenidos por la Universidad de Oviedo en el año 2020 "*Estudio del nivel de salubridad de las aguas continentales y litorales de Gijón (anualidad 2020)*", en el cual se sugiere que existe una fuente difusa de entrada de nutrientes a través de procesos de escorrentía y lixiviado, asociado a los usos del suelo y a causas antropogénicas. Además, de una elevada presencia de residuos orgánicos (excrementos) generados por, principalmente, la abundante avifauna presente en el entorno de la laguna.

4.1.2. Trophic State Index (TSI)

A continuación, se expondrán los resultados sobre la caracterización del estado trófico de las diferentes estaciones muestreadas y su valor promedio en base al índice TSI, al igual que el apartado anterior se ha eliminado el Disco de Secchi debido a que su valor es coincidente con la profundidad máxima de la laguna (1,1 m):

Estación	P _{TOTAL} (µg/l)	Clorofila-a(µg/l)	TSI
LISA-1	86,87	59,05	72,96
	Hipereutrófico	Mesotrófico	EUTRÓFICO
LISA-2	83,18	55,23	69,20
	Hipereutrófico	Mesotrófico	EUTRÓFICO
Promedio	85,14	57,32	71,23
	Hipereutrófico	Mesotrófico	EUTRÓFICO

Tabla 4.1.2.1. Estado Trófico de la laguna Grande del Parque de Isabel la Católica en base al índice TSI durante el seguimiento realizado el 12 de junio de 2023.

No se observan diferencias en la catalogación de la masa de agua a estudio entre las diferentes estaciones, clasificándose el estado trófico en base al índice TSI como eutrófico.

Estos datos al igual que lo observado en el apartado anterior (4.1.1. Evaluación de Indicadores Biológicos y Fisicoquímicos), ponen de manifiesto que la productividad de la laguna del Parque de Isabel es elevada, lo que podría dar lugar a proliferaciones de fitoplancton de gran magnitud, al registrarse elevadas concentraciones de fósforo en el medio, siendo este nutriente considerado como limitante en aguas continental para el desarrollo de los organismos fitoplanctónicos.

4.2. EVALUACIÓN POTENCIAL DE LA APARICIÓN/PRESENCIA DE CIANOBACTERIAS

En el presente apartado se llevará a cabo la evaluación potencial que presenta la Laguna Grande el Parque de Isabel la Católica frente a la aparición y/o presencia de cianobacterias. Para tal fin, se han empleado los criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), los cuales se presentan a continuación:

Parámetro	Riesgo Potencial de Aparición /Formación Blooms Cianobacteria			
	Muy Bajo	Bajo	Alto	Muy Alto
Fósforo total (µg/l)	≤ 10	10-20	20-50	>50
Condiciones de mezcla	Corriente de agua visible		Estancada, profundidad: >10 m, estratificada ^a	Estancada, profundidad >5-10 m, gradientes térmicos estables ^b Estancada, poco profunda y bien mezclada ^c
Tiempo de Residencia	< 1 mes		> 1 mes	
Transparencia (m)	> 7	3-7	1-3	<1
pH	<6	6-7	≥7	>7 (>8 o >9 ^d)
Temperatura (°C) ^e	<10	10-15	15-25	≥25

^a Potencial de desarrollo masivo de *Planktothrix rubescens*

^b Favorece el desarrollo de taxones formadores de espuma (ej. *Microcystis*, *Dolichospermum*)

^c Favorece el desarrollo de taxones no formadores de espuma, como *Planktothrix agardhii* y *Limnothrix*

^d Incremento marcado debido a las altas tasas de fotosíntesis asociado con una biomasa elevada

^e Fuente OMS, 2015

Tabla 4.2.1. Criterios para la evaluación potencial de aparición o presencia de cianobacterias en base parámetros físicoquímicos e hidromorfológicos.

Fuente: OMS, 2021²⁴ Chorus, I, Welker M; eds. 2021.

En la siguiente tabla se resumen los datos obtenidos durante el seguimiento ambiental de cada uno de los criterios expuestos con anterioridad. Así como, la evaluación del riesgo potencial asociado a cada uno de ellos. Además, se incluye el tiempo de residencia estimado en función a los datos registrados por la sonda instalada en el laguna del Parque de Isabel la Católica durante el periodo 14 de agosto al 04 de septiembre de 2024.

Del mismo modo que en los apartados anteriores, no se tendrá en cuenta el valor obtenido del disco de Secchi al ser su medición igual que la profundidad máxima de la laguna (1,1m). Por otro lado, los datos de pH y temperatura mostrados hacen referencia al promedio del valor registrado en el total de la columna de agua.

²⁴ Chorus, I, Welker M. 2021. **Toxic Cyanobacteria in Water, 2nd edition**. CRC Press, Boca Raton (FL), on behalf of the World Health Organization, Geneva, CH.

Parámetro	Estación		Promedio
	LISA-1	LISA-2	
Fósforo total (µg/l)	310	240	275
	Muy Alto		
Condiciones de mezcla	Estancada, poco profunda y bien mezclada ^c		
	Muy Alto		
Tiempo de Residencia	>1 mes		
	Muy Alto		
pH	7,58	7,59	7,59
	Alto		
Temperatura (°C)	20,02	20,08	20,05
	Alto		

Tabla 4.2.2. Valores de los diferentes indicadores y evaluación potencial del riesgo de aparición o presencia de cianobacterias en la laguna Grande del Parque de Isabel la Católica.

El **riesgo potencial** que presenta la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica se clasifica como “**Alto**” para el pH y la temperatura y como “**Muy Alto**” para los parámetros fósforo total, condiciones de mezcla y tiempo de residencia.

En este sentido, y como se ha venido observando a lo largo de presente documento, las características morfológicas de la laguna, caracterizada por escasa renovación, baja profundidad, su alto nivel de insolación y su gran superficie con respecto al volumen embalsado junto con una elevada carga de nutrientes, provenientes tanto de fuentes difusas como de la abundante fauna presente, favorecerían la floración de diversas especies de fitoplancton con un riesgo elevado de que estos blooms estén dominados por cianobacterias potencialmente tóxicas.

En las siguientes gráficas, se representa la evolución del pH y la temperatura registradas por las sondas instaladas en la laguna del parque desde el 26 de julio al 04 de septiembre. Además, se han representado los límites establecidos por la OMS para estos parámetros, con el fin de visualizar en que rango se localizan estas series de datos.

Se observa como el riesgo sobre la potencial aparición de cianobacterias se define como alto para el pH. Mientras que, la temperatura presenta una mayor variabilidad, catalogándose el riesgo como alto-bajo, disminuyendo la posible aparición de cianobacterias a medida que finaliza el periodo estival.

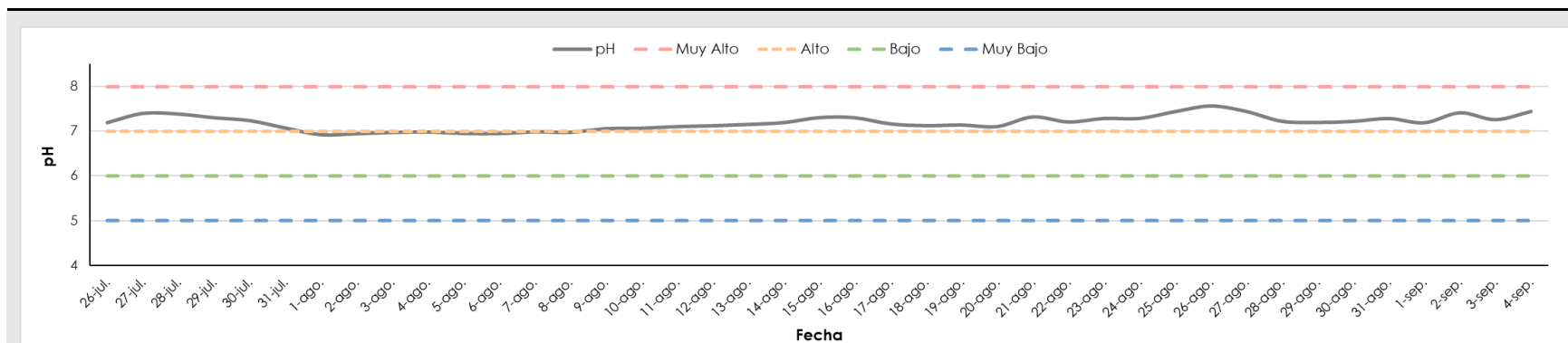


Figura 4.2.1. Promedio diario de pH desde el 26 de julio hasta el 04 de septiembre de 2024 y límites establecidos por la OMS para la evaluación potencial de aparición o presencia de cianobacterias.

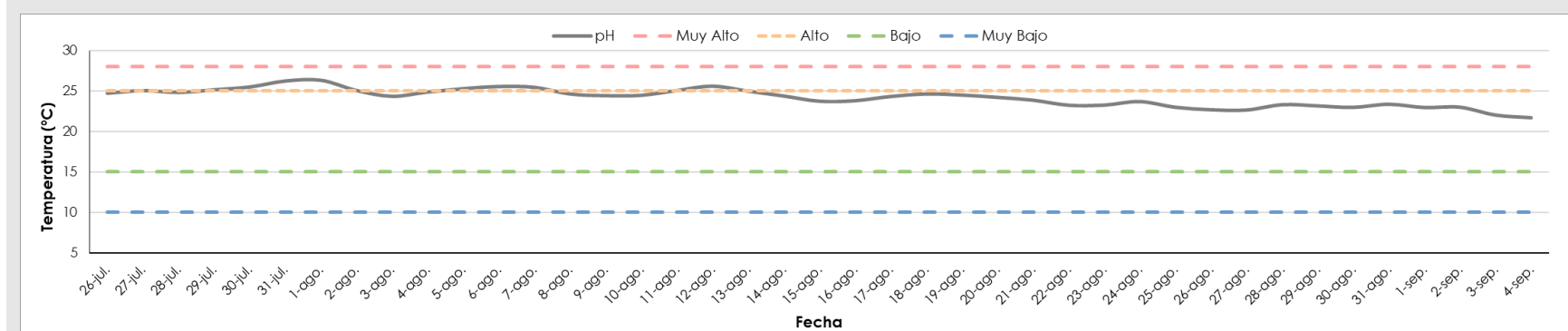


Figura 4.2.2. Promedio diario de temperatura desde el 26 de julio hasta el 04 de septiembre de 2024 y límites establecidos por la OMS para la evaluación potencial de aparición o presencia de cianobacterias.

5. MEDIDAS PREVENTIVAS Y PLAN DE ACTUACIÓN

En primer lugar se establecerán aquellos parámetros que podrían emplearse como indicadores de alerta temprana frente a blooms de fitoplancton, más concretamente frente a proliferaciones de cianobacterias. Así como, se detallará el plan de actuación que debería llevarse a cabo cuando los indicadores establecidos se mantengan en niveles se superen durante un tiempo prolongado.

5.1. DESARROLLO DE INDICADORES DE ALERTA TEMPRANA

Los indicadores de alerta temprana se basarán, principalmente, en aquellos recogidos por la OMS para la evaluación potencial de aparición y/o presencia de cianobacterias con las modificaciones pertinentes que permitan adecuar dichos parámetros con los medidos actualmente de forma continua en la laguna Grande del Parque Isabel. Así como, aquellos que puedan ser observados a simple vista por el personal de mantenimiento o público general del citado parque.

Los parámetros escogidos como posibles indicadores de alerta temprana y sus valores umbrales, se explican a continuación:

- **Fosfato** ($\mu\text{g/l}$): Dado que la sonda instalada en el laguna registra en continuo las concentraciones de fosfato en el agua, siendo este compuesto considerado limitante en masas de agua continental y la forma de fósforo más utilizada por los productores primarios. Por lo que, un incremento en su concentración podría desencadenar el crecimiento de organismos fitoplanctónicos, se escoge dicho nutriente como un indicador de alerta temprana, el umbral máximo se establece en un valor igual o mayor a **12 $\mu\text{g/l}$ ²⁵**, así como se define en el “Protocolo para evaluación de propensión a

²⁵ Antonio Quesada de Corral. 2011. **Protocolo para evaluación de propensión a proliferación cianobacterias en aguas continentales**. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 11 pp.



proliferación cianobacterias en aguas continentales", elaborado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

- ◉ **Temperatura (°C):** Las proliferaciones de cianobacterias se ven favorecidas por temperaturas próximas a los 25 °C, al darse las condiciones óptimas para su desarrollo y crecimiento. Por lo que, el umbral de dicho indicador se establece en base al intervalo de temperaturas definido por la OMS, que cataloga el **riesgo** como "**Alto**" frente a la potencial de la aparición de cianobacterias, siendo este igual a **15 y 25 °C**. En caso de alcanzarse temperatura **iguales o superiores a 25 °C**, se deberá prestar especial atención al resto de indicadores propuestos, dado que el **riesgo** ante la posible aparición de estos organismos se clasificaría como "**Muy Alto**".
- ◉ **pH :** Un incremento de pH en los sistemas acuáticos podría ser consecuencia de una elevada actividad fotosintética lo que podría indicar la presencia o la formación de un Bloom de fitoplancton. En este sentido, y aunque la OMS establece que podría existir un riesgo alto cuando los valores de pH se encuentran en un rango de 7 a 8, se considera que estos valores podrían darse de forma natural en la laguna del parque, por lo que el umbral del indicador de alerta temprana se establecerá en **valores superiores a 8**.
- ◉ **Turbidez:** En este caso la turbidez se medirá de forma indirecta con los registros **sólidos en suspensión** y **materia orgánica**, de forma que si se sobrepasan los umbrales establecidas para el resto de indicadores expuestos con anterioridad, y se detecta una **tendencia ascendente** de ambos parámetros, esto podría indicar la presencia o formación en el medio de una proliferación de organismos fitoplanctónicos.
- ◉ **Color:** La coloración **verdosa** en el agua puede indicar el desarrollo de un posible Bloom de cianobacterias. Sin embargo, esta coloración podría estar causada por otros grupos de organismos que conforman el fitoplancton como por ejemplo algas verdes, diatomeas, criptofitas y/o euglenófitos. Por todo esto, en caso de que las condiciones en el medio sobrepasen o se mantengan en valores críticos, se recomienda la toma de muestras y su observación al microscopio para confirmar o descartar la presencia de cianobacterias.

- 
Formación de espumas: en caso de evidenciarse la formación de espumas en la masa de agua o sus orillas, se recomienda la **toma de muestras de forma inmediata** y su observación al microscopio, independiente del valor registrado en el resto de parámetros expuestos, para comprobar la presencia de cianobacterias con potencial toxicidad.

La siguiente tabla resume los parámetros definidos como posibles indicadores de alerta temprana y los valores umbrales establecidos:

Umbrales de los Parámetros establecidos como Indicadores de Alerta Temprana					
Fosfato (µg/l)	Temperatura (°C)	pH	Turbidez	Color	Espumas
≥ 12	Riesgo Alto:15-25 Riesgo Muy Alto:20-25	>8	Tendencia ascendente en los valores de sólidos en suspensión y materia orgánica	Verde	Sí*

**Se recomienda la toma de muestras en el menor tiempo posible y su visualización mediante técnicas de microscopía para descartar o confirmar la posible presencia de cianobacterias*

Tabla 5.1.1. Parámetros seleccionados como Indicadores de Alerta Temprana y valores umbrales establecidos.

De este modo, y especialmente en periodos estivales, durante los cuales se prevé un menor aporte de agua a la laguna, disminuyendo el tiempo de renovación y aumentando, por tanto, el tiempo de residencia, se recomienda un control exhaustivo de dichos indicadores. En caso de que se registren valores que superen o se encuentren próximos a los umbrales establecidos durante un tiempo entre 5 y 7 días, se recomienda que se lleve a cabo la toma de muestras para el análisis, de al menos, la comunidad de fitoplancton, y verificar la posible presencia de una proliferación de fitoplancton. En caso de detectarse la presencia de cianobacterias con potencialidad tóxica, se aconseja que se active el "Plan de Actuación frente a la formación de Blooms de Cianobacterias", desarrollado en el siguiente apartado.

El tiempo establecido para poner en marcha el plan de actuación deberá revisarse y podrá disminuir si los indicadores empeoran o se observa algún tipo de formación de espumas bien en la orillas o cuerpo principal de la laguna. Además, si bien, se necesitaría un estudio de la dinámica poblacional del fitoplancton y la formación de posibles blooms en el parque más exhaustivo, y dado que las tasas de crecimiento y división de estos organismo son peculiarmente altas cuando se dan las condiciones óptimas para su desarrollo, los cuales pueden llegar duplicarse o incluso a triplicarse

en dos días²⁶, se debe tener máxima prudencia cuando se registren condiciones óptimas para el desarrollo de estos organismos. Por ello, en caso de que estas condiciones se mantengan en el tiempo y se detecte u observe la posible formación de una proliferación de fitoplancton, se recomienda la toma inmediata de muestras para su análisis al microscopio, cuyos resultados deberían ser entregados en un plazo inferior a 3 días hábiles desde la toma de muestra.

5.2. PLAN DE ACTUACIÓN FRENTE A LA FORMACIÓN DE BLOOMS DE CIANOBAACTERIAS

La OMS propone (Chorus & Welker, 2021) árboles de toma de decisiones para la evaluación del riesgo en aguas de consumo y de recreo. Estos árboles se establecen como plantillas adaptables a las circunstancias locales según los recursos de los que se disponga y/o las circunstancias de cada región.

Para adaptar este tipo de herramientas de la forma más óptima es necesario conocer, en la medida de lo posible, las masas de agua en las que se quiera aplicar, utilizando datos históricos y/o estudiando las comunidades de cianobacterias presentes y su frecuencia de aparición, por lo que cuanto más se conozca el cuerpo de agua a gestionar, mejor podrá ser adaptado el árbol de decisiones.

En este sentido y dada la reciente publicación en 2024, "*Herramientas para la evaluación de riesgos asociados a cianobacterias productoras de cianotoxinas: aguas de consumo y uso recreativo*²⁷", se propone como modelo a seguir el árbol de toma de decisiones establecido en dicho documento para aguas de recreo basado en técnicas de laboratorio (Diez-Chiappe et al. 2024).

En los árboles de decisiones se definen 3 niveles de alerta: Nivel de Vigilancia, Nivel de Alerta 1 y Nivel de Alerta 2.

²⁶ Chorus, I, Welker M. 2021. **Toxic Cyanobacteria in Water, 2nd edition**. CRC Press, Boca Raton (FL), on behalf of the World Health Organization, Geneva, CH.

²⁷ Diez-Chiappe, A., Cirés, S., Perona, E., Quesada, A., Carmona-Jiménez, J., Caro Borrero, A., Salazar, A., Ortiz, D., Muñoz, M., de Pedro, ZM., Colina, JA., Contreras, D. & Casas, JA. (2024). **Herramientas para la evaluación de riesgos asociados a cianobacterias productoras de cianotoxinas: aguas de consumo y uso recreativo**. Editorial Programa CYTED. 48 pp.



- El **NIVEL DE VIGILANCIA** trata de identificar lo antes posible las etapas tempranas de desarrollo de un Bloom y la presencia de potenciales productores de microcistinas bien por microscopía y/o análisis genéticos.

Este nivel requiere de una adaptación local en función de los datos históricos registrados, por lo que, como indicadores de alerta se establecerán los propuestos en el presente informe tras el análisis de los datos tanto obtenidos en campo como aquellos derivados de la revisión bibliográfica o los proporcionados por las sondas en continuo instaladas en la Laguna Grande de Isabel la Católica.

En este caso este nivel será activado, cuando se sobrepasen y se mantengan durante un tiempo entre 5-7 días, los umbrales establecidos para los indicadores de alerta temprana definidos en el apartado anterior. Además, ante esta situación se recomienda la realización de un seguimiento ambiental que permita evaluar la posible formación de un Bloom de fitoplancton, con especial atención a la aparición de cianobacterias, por lo que se incluyen en este nivel nuevos parámetros indicadores, siendo éstos: concentración de clorofila a, biovolumen de cianobacterias y presencia de microcistinas, bien mediante técnicas analíticas o moleculares.

A continuación, se exponen los parámetros a analizar y los valores umbrales establecidos en los indicadores de alerta temprana:

- Fosfato: $\geq 12 \mu\text{g/l}$
- Temperatura 15-25 °C
- pH > 8
- Turbidez: Tendencia ascendente en los valores de sólidos en suspensión y materia orgánica
- Color verde
- Biovolumen de cianobacterias: 4-8 mm³/l y se incluye además un valor umbral de densidad de cianobacterias: entre 2.000 and 20.000 cel/mL²⁸

²⁸Funari, E., Manganeli, M., Buratti, FM. y Testai, E. 201. Cyanobacteria Blooms in water: Italian guidelines to assess and manage the risk associated to bathing and recreational activities. Science of the Total Environment 598: 867-880.



- Concentración de clorofila a: 12-24 $\mu\text{g/L}$
- Presencia de cianotoxinas
- Detección de intoxicación y/o muerte de animales

Si se activa el NIVEL DE VIGILANCIA, sería recomendable:

- ⊙ Aumentar la frecuencia de muestreo (al menos una vez por semana) con el fin de analizar cómo evoluciona la comunidad de fitoplancton.
- ⊙ Implementar métodos de seguimiento para:
 - Identificar factores promotores de blooms (como por ejemplo, fuente externa de nutrientes, baja tasa de renovación, etc.).
 - Identificar zonas propensas a espumas o scums.
- ⊙ Informar a usuarios y autoridades pertinentes.
- ⊙ Se debe hacer un seguimiento de la cantidad de biomasa de cianobacterias y conocer su potencial toxicidad. Esto podría llevarse a cabo mediante el análisis en laboratorio del cálculo de biovolumen, contenido en clorofila a y/o presencia d cianotoxinas.
- ⊙ La toma de decisiones será la siguiente:
 - Si NO se sobrepasan los umbrales propuestos para biovolumen ($4-8 \text{ mm}^3/\text{L}$) o clorofila a ($12-24 \mu\text{g/L}$), se mantiene el NIVEL DE VIGILANCIA.
 - Si se sobrepasan los umbrales propuestos biovolumen ($4-8 \text{ mm}^3/\text{L}$) o clorofila a ($12-24 \mu\text{g/L}$), se debe pasar al NIVEL DE ALERTA 1.
 - Si los análisis de microcistinas bien mediante técnicas genéticas o analíticas son negativos, se debe mantener el NIVEL DE VIGILANCIA.
 - Si los análisis genéticos son positivos (presencia de genes de toxinas) o se detecta una concertación elevada de microcistinas, se debe pasar el NIVEL DE ALERTA 1. Esta vía es más restrictiva, pero se debe tener en cuenta que, si los niveles elevados de biomasa, puede que existan altas concentraciones de toxinas. Por ejemplo, si tenemos en cuenta la relación común conocida entre MCs y clorofila a (1:1), en presencia de $24 \mu\text{g/L}$ de clorofila a se podría llegar a tener hasta $24 \mu\text{g/L}$ de MCs, el doble que el



valor umbral propuesto en la toma de decisiones para el control de a corto plazo de aguas de consumo.

- ⦿ En el **NIVEL DE ALERTA 1** se describe una situación en la que el agua tiene elevada turbidez y una coloración verde intensa. Además, es posible que se puedan visualizar colonias de cianobacterias a simple vista. Este nivel puede ser activado directamente si lo primero que se identifica es la presencia de una fina capa y/o bandas verdosas en la superficie.

Si se activa el NIVEL DE ALERTA 1, es recomendable:

- ⦿ Incrementar el seguimiento, controlando la formación de espumas y tratar de retirarlos en caso de aparición.
- ⦿ Valorar la posibilidad de controlar acceso a determinadas zonas
- ⦿ Evaluar el posible rescate de ictiofauna y protección de otras especies asociadas a las lagunas.
- ⦿ Informar al personal de mantenimiento y público general de que se debe evitar el contacto con los scums (espumas).

Es importante tener en cuenta que en las espumas se puede llegar a encontrar concentraciones de toxina mucho más elevadas que en las zonas en las que no hay acumulados de biomasa, por lo que, aunque la concentración de toxina total medida no supere los valores establecidos, la presencia de scums puede seguir suponiendo un alto riesgo. En este caso, se recomendaría medir la cantidad total de toxina total (fracción disuelta más fracción sestónica).

- ⦿ Si no se observan scums y/o las concentraciones de microcistinas están por debajo de los límites establecidos ($> 24 \mu\text{g MCs/L}$; $> 6 \mu\text{g CYNs/L}$; $> 30 \mu\text{g STXs/L}$; $> 60 \mu\text{g ATXs/L}$), se debe volver al NIVEL DE VIGILANCIA.
- ⦿ Si se observan scums y/o las concentraciones están por encima de los límites establecidos ($> 24 \mu\text{g MCs/L}$; $> 6 \mu\text{g CYNs/L}$; $> 30 \mu\text{g STXs/L}$; $> 60 \mu\text{g ATXs/L}$), se debe pasar a un estado de NIVEL DE ALERTA 2. Esta vía es muy conservadora ya que hay que tener en cuenta que puede haber presencia de scums, pero no superarse los niveles máximos de toxina establecidos. Sin embargo, en



presencia de acumulados de biomasa, la concentración de toxina disuelta en el medio podría aumentar notablemente en un corto periodo de tiempo.

- ◉ En un estado de **NIVEL DE ALERTA 2** existe un elevado riesgo para la salud y/o fauna asociada. Describe una situación con blooms bien establecidos.

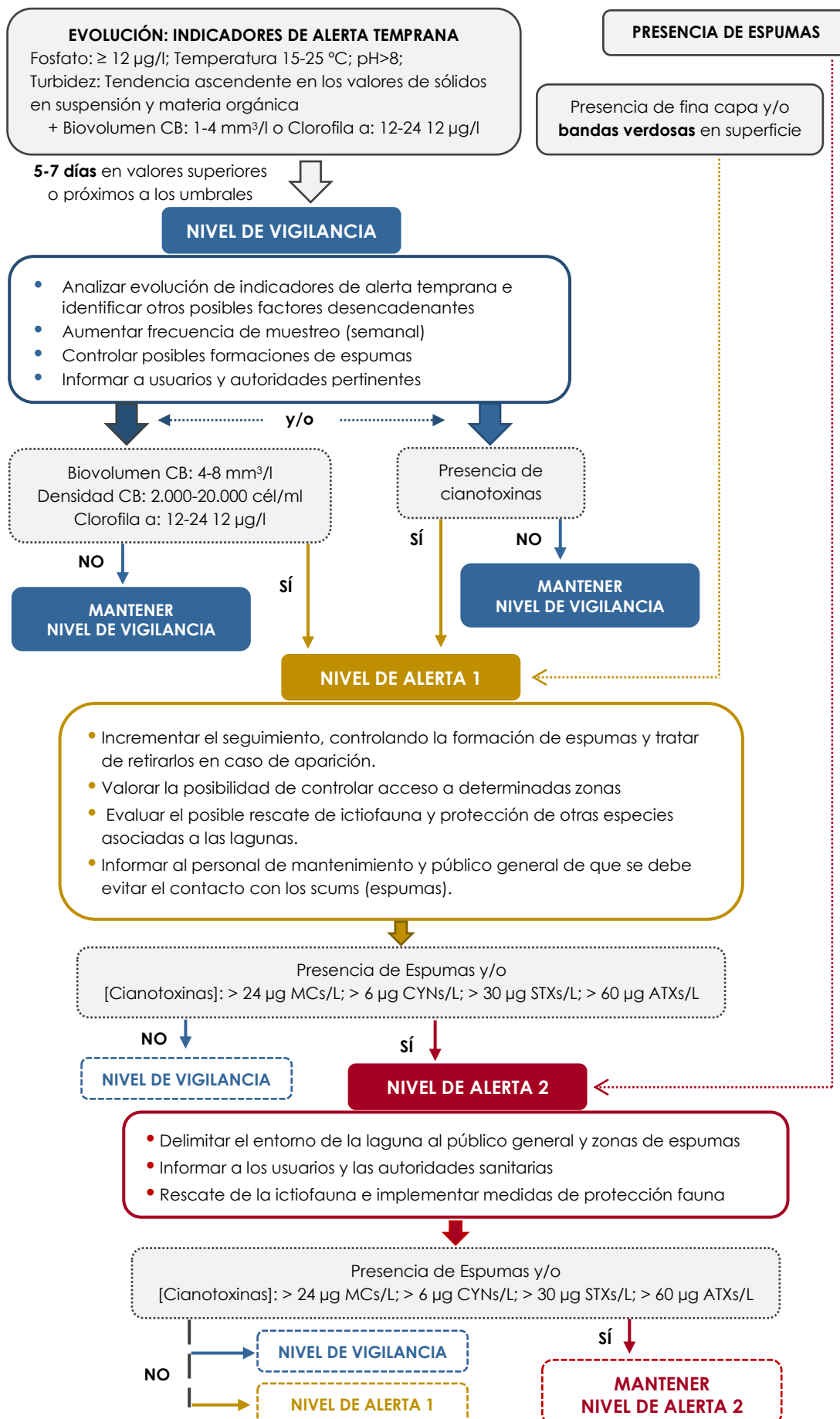
En esta situación de elevado riesgo se debe:

- Implementar métodos de mitigación de riesgos disponibles como:
 - Delimitar el entorno de la laguna al público general.
 - Delimitar zonas con scums y/o retirarlos.
 - Informar a los usuarios y las autoridades sanitarias pertinentes para que realicen un seguimiento continuo de la situación.
 - Proceder al rescate de la ictiofauna presente
 - Implementar medidas de protección para el resto de la fauna asociada a la laguna.

En este escenario, en el caso de que se utilicen análisis de laboratorio, es altamente recomendable analizar el contenido en toxina periódicamente para determinar en qué momento se puede comenzar a revertir el nivel de alerta:

- Si no se observan scums y/o las concentraciones están por debajo de los límites establecidos ($> 24 \mu\text{g MCs/L}$; $> 6 \mu\text{g CYNs/L}$; $> 30 \mu\text{g STXs/L}$; $> 60 \mu\text{g ATXs/L}$), se debe retroceder al NIVEL DE ALERTA 1 o al NIVEL DE VIGILANCIA, según valoración global de la situación y tendencia del Bloom.
- Si se observan scums y/o las concentraciones están por encima de los límites establecidos ($> 24 \mu\text{g MCs/L}$; $> 6 \mu\text{g CYNs/L}$; $> 30 \mu\text{g STXs/L}$; $> 60 \mu\text{g ATXs/L}$), se debe mantener el NIVEL DE ALERTA 2 y tomar las medidas necesarias para intentar mitigar o revertir esta situación.

En la siguiente figura y tabla se esquematiza la información expuesta de la toma de decisiones en base al plan de actuación propuesto frente a Blooms de cianobacterias (CB):





Parámetro		Técnica	Valor umbral	Respuesta
Indicadores de Alerta Temprana	Fosfato	Sondas	$\geq 12 \mu\text{g/l}$	Si estas condiciones se mantienen entre 5-7 días Entrar en NIVEL DE VIGILANCIA
	Temperatura		15-25 °C	
	pH		>8	
	Turbidez		Tendencia ascendente en los valores de sólidos en suspensión y materia orgánica	
	Color	Visual	Presencia de Color	Entrar en NIVEL DE VIGILANCIA
Intoxicación y/o muerte de animales		Visual	Identificar signos de posible intoxicación asociada a cianotoxinas	Entrar en NIVEL DE VIGILANCIA
Biomasa de Cianobacterias		Biovolumen	1-4 mm ³ /l	Entrar en NIVEL DE VIGILANCIA
			4-8 mm ³ /l	Pasar al NIVEL DE ALERTA 1
		Clorofila a	3-12 $\mu\text{g/L}$	Entrar en NIVEL DE VIGILANCIA
			12-24 $\mu\text{g/L}$	Pasar al NIVEL DE ALERTA 1
		Visual	Fina capa verdosa en superficie	Pasar al NIVEL DE ALERTA 1
			Formación de Espumas	Pasar al NIVEL DE ALERTA 2
Cianotoxinas		Análisis moleculares	(-) Ausencia de genes	Entrar en NIVEL DE VIGILANCIA
			(+) Presencia de genes	Pasar al NIVEL DE ALERTA 2
		Análisis en laboratorio	> 24 $\mu\text{g MCs/L}$, > 6 $\mu\text{g CYNs/L}$, > 30 $\mu\text{g STXs/L}$, > 60 $\mu\text{g ATXs/L}$	Pasar al NIVEL DE ALERTA 2

MCs= microcistinas, CYNs= cilindrospermopsinas, STXs= saxitoxinas, ATXs= anatoxinas

Tabla 5.2.1. Información sobre parámetros y valores umbrales incluidos en el árbol de toma de decisiones del plan de actuación frente a blooms de cianobacterias definido para la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica.

Fuente: Adaptación de Chorus & Welker, 2021 y Diez-Chiappe et al., 2024.

6. MEDIDAS DE MITIGACIÓN FRENTE A BLOOMS

En la actualidad, existen numerosos métodos descritos para evitar y/o mitigar las proliferaciones de cianobacterias. Su elección y efectividad dependerá del nivel de conocimiento que se tenga sobre la masa de agua y de los recursos de los que se disponga para su implantación.

Los métodos actuales se podrían clasificar, principalmente, en métodos de eliminación física, biológica o química²⁹.

🕒 Métodos Físicos

Entre las estrategias físicas se pueden encontrar la recogida directa de acumulados de cianobacterias o la colocación de barreras flotantes para evitar la entrada de estas acumulaciones en ciertas áreas. Así como, la implantación de sistemas que permitan la filtración de las aguas superficiales o sistemas de sombreado, que restrinjan la disponibilidad de luz, limitando el crecimiento de organismos fitoplanctónicos.

Estas medidas también contemplan, la disminución de nutrientes disponibles, como por ejemplo, mediante el dragado de las capas más superficiales del sedimento, o el aislado del sedimento mediante el recubrimiento del fondo con capas de arena o grava o colocación de geotextiles y/o geoquímicos. También se proponen medidas como el vaciado total o parcial de la masa de agua y renovación de la misma.

Uno de los métodos físicos más utilizados, se basa en la imposibilitar la estratificación de la columna de agua, condición que podría favorecer el crecimiento de especies fitoplanctónicas. Entre los dispositivos más empleados

²⁹ Chorus, I, Welker M. 2021. **Toxic Cyanobacteria in Water, 2nd edition**. CRC Press, Boca Raton (FL), on behalf of the World Health Organization, Geneva, CH.



se encuentran sistemas de aireación o cavitación hidrodinámica mediante chorros de presión.

Otros métodos proponen la utilización de fuentes de luz ultravioleta o de ultrasonidos. Estos últimos, dañarían la estructura de las cianobacterias, en concreto las vesículas de gas, imposibilitando su flotación y provocando su sedimentación al fondo del lago o embalse.

Finalmente, también se contemplan aquellas medidas que reduzcan los tiempos de residencia de las aguas, mediante un incremento de aportes de agua a la laguna a través de sistemas de derivación que permitan aumentar su tasa de renovación.

🕒 Métodos Químicos

Entre los métodos químicos se encuentran el uso de coagulantes y/o floculantes como por ejemplo el sulfato de aluminio, cloruro férrico o clorhidrato de aluminio, o el empleo de alguicidas como el sulfato de cobre. Sin embargo, estos métodos no suelen ser recomendables tanto como sus efectos tóxicos para otros organismos acuáticos como por que algunos de ellos producen la lisis celular de las cianobacterias, permitiendo que la toxina intracelular quede disponible en el medio.

En la actualidad también existen estrategias basadas en procesos de oxidación avanzada que han demostrado un alto potencial a la hora de degradar diferentes cianotoxinas (MCs, CYNs, STXs and ATX-A), siendo un sistema económico y respetuoso con el medioambiente³⁰.

30 Munoz, M., Cirés, S., de Pedro, Z M., Colina, JÁ., Velásquez-Figueroa, Y., Carmona-Jiménez, J., Caro-Borrero, A., Salazar, A., Santa María Fuster, MC., Contreras, D., Perona, E., Quesada, A., & Casas, J.A. 2021. **Overview of toxic cyanobacteria and cyanotoxins in IberoAmerican freshwaters: Challenges for risk management and opportunities for removal by advanced technologies.** *Science of The Total Environment*, 761: 143-197.

🕒 Métodos biológicos

Estos métodos se basan en la “biomanipulación”, este término hace referencia al uso de otros organismos acuáticos que puedan propiciar modificaciones en la estructura de la red trófica, disminuyendo el crecimiento de la comunidad fitoplanctónica bien por una mayor presión de pastoreo (grazing) o por competencia directa de los recursos disponibles, principalmente, nutrientes.

Uno de los métodos consiste en estimular el crecimiento del zooplancton que se alimenta del fitoplancton (denominado: “control descendente”). Otra de las medidas biológicas, sería el empleo de macrófitos sumergidos los cuales competirían con el fitoplancton por los nutrientes disponibles (“control descendente”) y podrían aumentar la biomasa de organismos zooplanctónicos.

Por último cabe mencionar que publicaciones recientes³¹, proponen como medidas más efectivas enfoques de tratamiento combinando varios de los métodos expuestos con anterioridad. Sin embargo, su efectividad aun requiere de estudios más precisos que evalúen los efectos sinérgicos de la integración de los diferentes métodos físicos, químicos y biológicos.

Se resumen en la siguiente tabla los diferentes métodos empleados, la finalidad de cada uno ellos, sus ventajas e inconvenientes y la efectividad de los mismos.

³¹ Kordahi, MA., Ayoub, GM. y Zayyat, RM. 2024. **A critical review of current research on cyanobacterial cells and associated toxins in aquatic environments: Occurrence, impact, and treatment methods.** *Journal of Environmental Chemical Engineering* 12: 113931

Tipo	Método	Finalidad	Ventajas	Inconvenientes	Efectividad
FÍSICO	Dragado	Disminución de la carga de nutrientes	Disminución del crecimiento de fitoplancton	Elevado coste/ Destrucción de la fauna bentónica	Eficaz para reducir el contenido de nutrientes
	Sellado de sedimentos	Disminución de la carga de nutrientes	Reduce removilización de contaminantes y de nutrientes	Elevado coste/Dificultades técnicas según profundidad y extensión del fondo	Limitada/ sedimento vuelve a depositarse sobre el sellado
	Aireación hipolimnética	Evitar la hipoxia del hipolimnion y la liberación del fósforo adsorbido	Mejora la calidad del agua destinada al abastecimiento	Costoso/Muerte de la ictiofauna por sobresaturación de oxígeno	Limitada
	Floculantes	Secuestro de nutrientes por adhesión y precipitación	Aumento de la transparencia del agua	Cierta toxicidad/ Elevado riesgo de acumulación de nutrientes en el sedimento	Limitada/Más efectiva en masas de agua de pequeño tamaño.
	Filtrado de aguas Superficiales.	Retirada directa de Cianobacterias.	Fácil aplicación	Durante el filtrado se puede producir lisis celular y liberación de toxinas al medio.	Eficaz en masas de agua de pequeño volumen.
	Rastrillos o redes "skimming"	Retirada directa de las cianobacterias	Fácil aplicación y bajo coste	Sólo se recogen las aglomeraciones en superficie	Muy limitada
	Desestatificación	Evitar la estabilización de la columna de agua	No perjudicial para el resto de organismos	Costoso/ De difícil aplicación en grandes masas de agua. Interfiere en procesos ecológicos.	Limitada/ Más efectiva en masas de agua de pequeño tamaño
	Sombreado	Restricción luz	Fácil aplicación y bajo coste	Poco específica	Depende de la reducción de la intensidad de la luz alcanzada
	Flotación con aire	Produce aglomeración de células en superficie,	Fácil recolección mediante skimming	-	
	Ultrasonificación	Daños en la estructura celular de las cianobacterias.	No se produce lisis celular	Costoso/Falta de información efectos en otros organismos	Limitad
	Radiación U-V	Detener crecimiento de cianobacterias	-	Elevado coste/Poco específico.	Muy limitada

Tabla 6.1. Resumen de las características de los principales métodos establecidos para el control de blooms de cianobacterias³².

³² Cobo F. 2014. **Métodos de control de las floraciones de cianobacterias en aguas continentales**. *Limnetica*, 34 (1): 247-268

Tipo	Método	Finalidad	Ventajas	Inconvenientes	Efectividad
QUÍMICO	Pesticidas y alguicidas	Matar o evitar el crecimiento de las células	Efectos rápidos	Tóxicos para otros organismos.	Alta
	Peróxidos y formas reactivas de oxígeno	Evitar el crecimiento de cianobacterias de forma selectiva	Bajo Coste Selectivo No conduce a la acumulación de residuos tóxicos	Efectos de corta duración. Desconocimiento sobre efectos en otros organismos	Limitada
	Secuestradores de nutrientes	Producir la aglomeración de las células y su sedimentación con floculantes	Fácil recolección mediante métodos mecánicos	Cierta toxicidad. Elevado riesgo de acumulación de nutrientes en el sedimento	Limitada
BIOLÓGICO	Zooplankton	Incrementar el pastoreo sobre el fitoplancton	Bajo coste	Escasa información: relevancia ecológica por introducción de nuevas especies	Limitada Poco específica
	Macrófitas	Frenar el desarrollo del fitoplancton por competencia de nutrientes y limitación de luz.	Bajo coste	Escasa información: relevancia ecológica por introducción de nuevas especies	Limitada Poco específica

Tabla 6.1. (continuación) Resumen de las características de los principales métodos establecidos para el control de blooms de cianobacterias.

7. RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS

A continuación se exponen una serie de recomendaciones específicas, basadas tanto en los resultados obtenidos durante el seguimiento ambiental realizado en junio de 2024 como en las observaciones derivadas del análisis de los registros en continuo proporcionados por las sondas instaladas en la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica y el estudio de los datos bibliográficos disponibles.

Estas medidas se podrían clasificar en tres bloques diferenciados: Sondas y Sensores, Seguimiento Ambiental e Implantación de Medidas de Mitigación.

7.1. SONDAS Y SENSORES

- ⦿ En primer lugar, se recomienda una revisión y calibración de las diferentes sondas instalados en el Parque de Isabel la Católica, con especial atención al sensor de oxígeno disuelto y fosfato, para comprobar su correcto funcionamiento.
- ⦿ Se considera conveniente un mantenimiento, calibración y verificación de todas las sondas con una periodicidad, al menos, mensual durante los periodos sensibles de aparición de cianobacterias (mayo a octubre).
- ⦿ Si bien las sondas actualmente ubicadas en la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica caracterizan una amplia variedad de parámetros fisicoquímicos, se recomienda la instalación de sensores que permitan cuantificar de forma indirecta tanto la biomasa de organismos fitoplanctónicos (clorofila a) como de cianobacterias (ficocianina: pigmento específico característico de ciertas especies de cianobacterias).
- ⦿ Se sugiere la comprobación y verificación de los sensores de caudal emplazados en la Laguna Grande y Pequeña del Parque de Isabel la Católica. Así como la realización de aforos para conocer el caudal de salida en diferentes épocas y condiciones meteorológicas. De este modo y junto las mediciones de los caudales de entrada, se podrá calcular de forma precisa y exacta tanto el tiempo de residencia como la tasa de renovación, parámetro



de gran relevancia en la toma de decisiones frente a Blooms de cianobacterias potencialmente tóxicas.

7.2. SEGUIMIENTO AMBIENTAL

- ⦿ Especialmente en periodos estivales (mayo a octubre), cuando se registren valores que superen o se encuentren próximos a los umbrales establecidos para los diferentes indicadores de alerta temprana, se recomienda que se lleve a cabo la toma de muestras para el análisis, de al menos, la comunidad de fitoplancton, y verificar la posible presencia de una proliferación de cianobacterias. Siendo conveniente, también, el análisis de fósforo y nitrógeno total, concentración de clorofila a y la realización de un perfil vertical mediante sonda multiparamétrica.

En caso de detectarse la presencia de cianobacterias, se aconseja analizar la concentración de cianotoxinas y llevar a cabo un seguimiento semanal para estudiar la evolución de dicha proliferación.

- ⦿ Si se evidencia la formación de espumas en la masa de agua y/o sus orillas, se recomienda la toma de muestras de forma inmediata y su observación al microscopio, independiente del valor registrado en el resto de parámetros, para comprobar la presencia de cianobacterias con potencial toxicidad.
- ⦿ Aún a pesar de no detectarse la formación de marcados blooms de fitoplancton o proliferaciones tóxicas, se aconseja la realización de al menos un seguimiento ambiental durante el periodo estival, preferentemente a finales de verano, con el fin de ampliar el conocimiento sobre la dinámica poblacional del fitoplancton de la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica y poder realizar una adaptación local más precisa tanto de los diferentes indicadores de alerta temprana como del plan de actuación, propuestos en el presente documento, tal y como se recomienda en la guía *"Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management"*, publicada por la OMS en 2021.



7.3. POSIBLES MEDIDAS DE MITIGACIÓN

- Entre las medidas preventivas frente a la formación blooms de fitoplancton, especialmente cianobacterias, en la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica, se propone aumentar la tasa de renovación del estanque.

En este sentido, dado que el proyecto de renaturalización del río Piles incluye la eliminación del anillo navegable, el cual demandaba un aporte significativo de agua que asegurara la realización de diferentes actividades recreativas, se considera que, tras dicha eliminación, se podría analizar la posibilidad de derivar un mayor volumen de agua hacia la citada laguna.

- Por otro lado, se propone aumentar la recirculación y la oxigenación de las aguas de la laguna, mediante la posible implantación de sistemas de aireación (por ejemplo, la instalación de fuentes) para minimizar y/o evitar la posible aparición de blooms de cianobacterias. Previo a la posible instalación de dichos sistemas de aireación, se recomienda un estudio preliminar en el que se valoren los diferentes modelos o alternativas existentes en el mercado junto con un análisis de su viabilidad y efectividad.
- Se aconseja la redacción y elaboración de un "Plan de Contingencia" cuyo fin será el de garantizar la supervivencia de las especies asociadas a la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica frente a posibles proliferaciones de cianobacterias tóxicas. En dicho documento se deberán establecer tanto medidas de protección para la fauna como un plan de actuación de rescate y salvaguarda de la ictiofauna.
- Por último, se recomienda la erradicación de las especies invasoras presentes en la laguna del Parque de Isabel la Católica, como por ejemplo carpas y cangrejo rojo americano, como así se establece en el plan de uso y gestión del mencionado parque. Esta medida contribuiría a la reducción de residuos orgánicos (excrementos) y, en consecuencia, a la disminución de la carga de nutrientes generada por la abundante fauna asociada a este ecosistema.

8. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos durante el seguimiento ambiental llevado a cabo el 12 de junio de 2024 en la Laguna Grande de Isabel la Católica, sugieren la **existencia** de un **Bloom de fitoplancton de moderada magnitud**, como así indican los valores de clorofila *a* (15,24 µg/l) y densidad celular (1.923 células/ ml), **no** estando dicho Bloom **dominado** por el grupo de las **cianobacterias**.

La **comunidad fitoplanctónica** presentaba una **predominancia clara** de especies de pequeño tamaño, concretamente pertenecientes a la **división Cryptista** (90 % del biovolumen total), con una **baja presencia de cianobacterias** (3,5% del biovolumen total), siendo los géneros registrados: *Pseudanabaena* sp., *Spirulina* sp. y *Synechococcus* sp., y catalogándose como potencialmente tóxicas dos de los tres géneros descritos (*Pseudanabaena* sp., y *Synechococcus* sp.). Su baja contribución a la biomasa total de la muestra unido a la poca probabilidad asociada a estas especies de producir blooms de carácter toxico, explicaría que **no se detectarían microcistinas en el medio**, siendo los valores en todos los casos inferiores al límite de cuantificación del método (<0,20 µg/l para el cómputo de microcistinas total y <0,050 µg/l para Microcistina-RR, Microcistina-LR, Microcistina-YR y Microcistina-Desmetil-RR).

Asimismo, durante la jornada de campo, se **apreció** una **alta densidad** de **macrófitos sumergidos** pertenecientes a la clase Ulvophyceae, muchos de ellos depositados en el fondo, generando una elevada cantidad de materia orgánica. Este hecho justificaría las **bajas concentraciones de oxígeno disuelto** registradas a lo largo de toda la columna de agua (< 1mg/l), al ser consumido por la comunidad microbiana en los procesos de degradación de dicha materia.

Por otro lado, se obtuvieron **valores elevados** en la **concentración** de todos los **nutrientes** analizados (nitratos: 0,215 mg N-NO₃/l; nitrito: 0,185 mg N-NO₂/l, nitrógeno total: 2,350 mg N/l y fósforo total: 0,275 mg P/l). En cuanto a la relación nitrógeno/fósforo, se observa como el fósforo sería el nutriente limitante del sistema (7:1), estas condiciones favorecerían el desarrollo de cianobacterias, ya que éstas parecen dominar cuando la ratio N:P es baja o inferior a la Redfield ratio 16:1.

En cuanto a la determinación del **estado trófico**, se observa como los **parámetros biológicos** muestran una **mayor variabilidad**, catalogando la laguna desde **condiciones ultraoligotrófico a eutróficas**. Sin embargo, los **indicadores fisicoquímicos** definen un **estado eutrófico generalizado** de la masa de agua, alcanzando un estado hipereutrófico tanto para el fósforo total ($>100 \mu\text{g/l}$) como para el nitrógeno total ($>1,2 \text{ mg/l}$).

En base a lo anteriormente expuesto, y debido a la alta carga de nutrientes detectada, las características hidromorfológicas de la laguna (poca profundidad, alto grado de insolación, etc.), la presencia de una elevada densidad de macrófitos sumergidos y las bajas concentraciones de oxígeno registradas, se puede concluir que **Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica** tiene una **probabilidad elevada** de sufrir **marcados procesos de eutrofia**, que pueden conllevar la **aparición de blooms de fitoplancton de gran magnitud**, pudiendo darse la aparición de cianobacterias tóxicas.

Por otro lado, el **análisis de la evaluación potencial frente a la aparición y/o presencia de cianobacterias**, llevado a cabo según los criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), pone de manifiesto que debido a las características morfológicas de la laguna (alto tiempo de residencia ($>1\text{mes}$), baja profundidad ($1,1\text{m}$), alto nivel de insolación, alta relación superficie/volumen etc.) junto con una elevada carga de nutrientes y las condiciones óptimas para el desarrollo de estas comunidades (pH : 7-8 y temperatura: $20\text{-}25^\circ\text{C}$), favorecerían la formación de proliferaciones de fitoplancton dominados por cianobacterias potencialmente tóxicas, catalogándose el **riesgo** frente a la posible aparición de estos organismos como **"Alto"** y **"Muy Alto"**.

Finalmente y dado que **la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica** se considera **susceptible** de sufrir procesos de **eutrofia**, así como de **caracterizarse** por un **riesgo alto-muy alto** frente a la posible **aparición** de blooms de **cianobacterias**, se **definen** en el presente documento **diversos indicadores de alerta temprana** y se establece un **Plan de Actuación**, con base a un árbol de toma de decisión adaptado de forma local y definiéndose un total de 3 niveles de alerta, con el **objetivo** de **identificar** las **etapas tempranas** de estas posibles proliferaciones e implantar las **medidas necesarias** para **evitar y/o minimizar** los **efectos adversos** que pudieran generarse.



9. EQUIPO REDACTOR

A continuación, se incluye la relación de todo el equipo técnico que ha participado en la elaboración del presente documento:

Javier Granero Castro

DNI: 71654042-A
Lic. Cc. Ambientales

Javier Cordón Ezquerro

DNI: 16606012-N
Lic. Biología

Amando Escudero Marina

DNI: 71105180-J
Lic. Biología

Álvaro Fueyo Rodríguez

DNI: 53773685-F
Gdo. Biología

Omar Sánchez Fernández

DNI: 71729320-W
Gdo. Biología

Álvaro Ortega Pizarro

DNI: 51098247-K
Gdo. Biología

Beatriz Villazón Peñalosa

DNI: 71645111-L
Lic. Biología y Cc. del Mar

10. ANEXOS

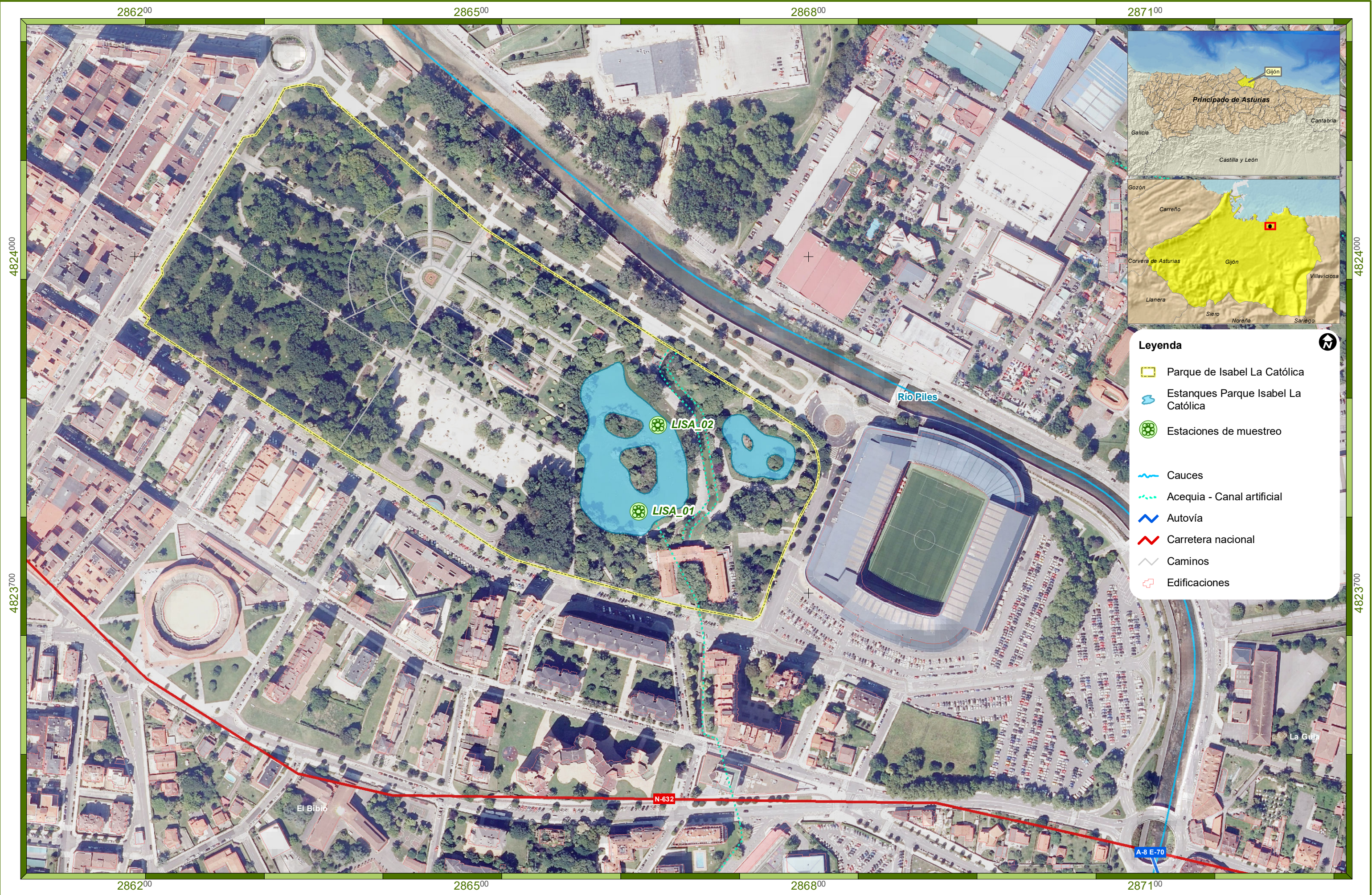
10.1. ANEXO I – PLANO 1: LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES DE MUESTREO

10.2. ANEXO II - DOSSIER FOTOGRÁFICO

10.3. ANEXO III - CERTIFICADOS DE ENSAYO



ANEXO I – PLANO 1: LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES DE MUESTREO



Leyenda

Parque de Isabel La Católica

Estanques Parque Isabel La Católica

Estaciones de muestreo

Cauces

Acequia - Canal artificial

Autovía

Carretera nacional

Caminos

Edificaciones



Ayuntamiento
de Gijón

Estudio Específico:
*Caracterización previa sobre la presencia y abundancia de
cianobacterias en la laguna del Parque de Isabel la Católica.
Análisis y desarrollo de indicadores de alerta temprana*

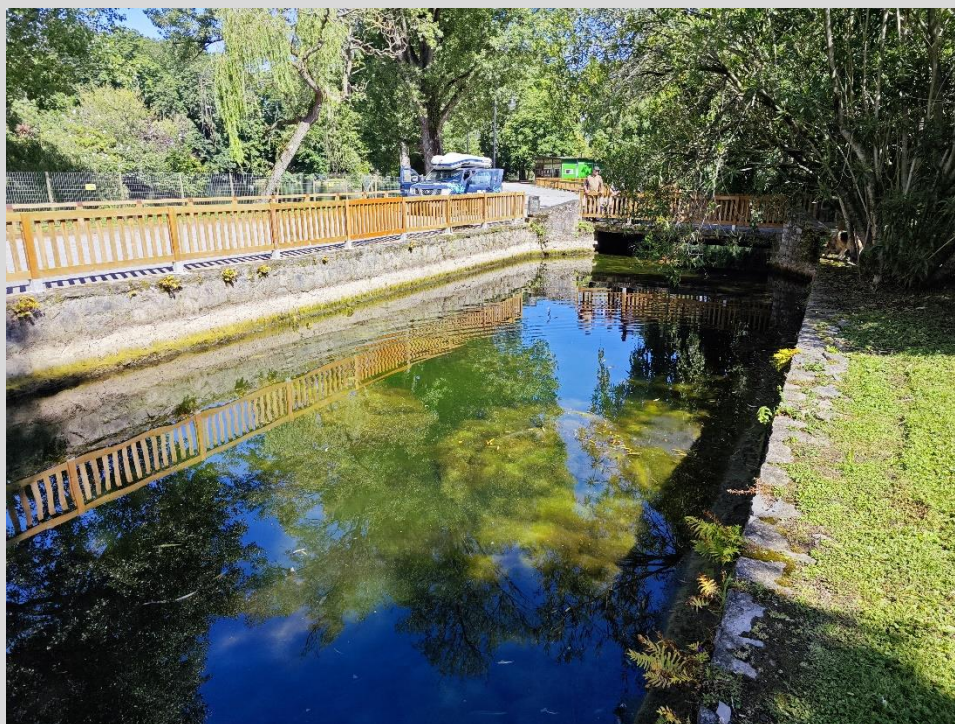
ANEXO II – DOSSIER FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista general de la Laguna Grande del Parque de Isabel La Católica de Gijón durante el muestreo. (12/06/2024).



Fotografía 2. Vista general de la Laguna Pequeña del Parque de Isabel La Católica de Gijón durante el muestreo. (12/06/2024).



Fotografía 3. Vista general del canal entre las lagunas del Parque de Isabel La Católica de Gijón durante el muestreo. (12/06/2024).



Fotografía 4. Técnico de TAXUS llevando a cabo la toma de muestra de agua integrada mediante botella Niskin en la Estación 2 durante la jornada de campo. (12/06/2024).



Fotografía 5. Técnico de TAXUS llevando a cabo la medición de transparencia mediante Disco de Secchi en la Estación 1 durante la jornada de campo. (12/06/2024).



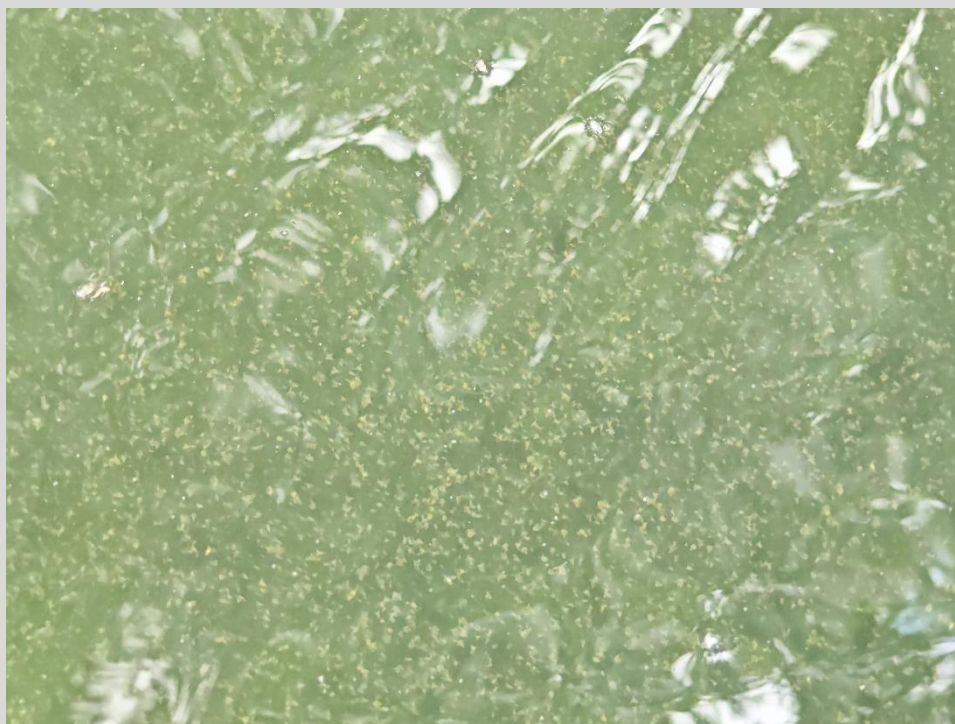
Fotografía 6. Técnico de TAXUS llevando a cabo la medición de la alcalinidad del agua en la Estación 2 durante el muestreo llevado a cabo el 12 de junio de 2024.



Fotografía 7. Detalle de la red de muestreo de fitoplancton empleada en la caracterización de las distintas estaciones muestreadas.



Fotografía 8. Técnico de TAXUS llevando a cabo el muestreo de químicos en la laguna Grande. Detalle de los botes empleados en la toma de muestras en la Estación 2.



Fotografía 9. Detalle de la proliferación de zooplancton en el agua de la Laguna Grande durante la jornada de muestreo. (12/06/2024).



Fotografía 10. Ejemplar de cangrejo rojo (*Procambarus Clarkii*) detectado en el cuenco de la Laguna Grande del Parque de Isabel la Católica. Especie catalogada como exótica invasora.



ANEXO III – CERTIFICADOS DE ENSAYO

DATOS IDENTIFICATIVOS DEL CLIENTE Y LA MUESTRA

Cliente:	AYUNTAMIENTO DE GIJÓN	Dirección:	Pl. Mayor, S/N, Centro
Proyecto:	PRMA_1696_24_AYTOGIJON_PCIAÑOPILES		Gijón 33201 (ASTURIAS)
Matriz:	Agua continental superficial	Técnico de muestreo:	JCE
Tipo Masa de Agua:	Lago/laguna	Nombre Identificativo:	Laguna Parque Isabel la Católica
Procedimiento de ensayo:	*IT-253 basada en diferentes métodos normalizados	Equipo:	YSI EXO2

RESULTADOS

Fecha	Hora	Sitio	Profundidad ¹ m	Temperatura °C	OD %	OD mg/l	Cond Específica uS/cm	SAL ‰	pH	Turbidez NTU	Cord X	Coord Y
			Incertidumbre	±1	±5%	±0,5	±10%	±10%	±0,2	±25%	ETRS 89 HUSO 30	ETRS 89 HUSO 30
12/06/2024	10:18:49	1	0,5	20,0	1,2	<0,5	782	<4,0	7,6	4,1	43,53646	-5,64055
12/06/2024	10:20:19	1	0,9	20,0	11,8	1,1	808	<4,0	7,6	5,9	43,53646	-5,64053
12/06/2024	10:35:11	1	0,1	20,1	8,8	0,8	780	<4,0	7,6	<4	43,53704	-5,64025
12/06/2024	10:35:59	1	0,5	20,0	6,3	0,6	781	<4,0	7,6	<4	43,53704	-5,64021
12/06/2024	10:39:09	1	0,8	20,1	5,9	0,5	783	<4,0	7,6	<4	43,53699	-5,64021

*Métodos normalizados basados en: pH: ISO 10523:2008; Conductividad: UNE-EN 2788:1993;
Turbidez: UNE-EN ISO 7027-1:2016; Oxígeno disuelto: ISO 17289:2014; Temperatura: SM-2550-B

Fecha de emisión: 11/10/2024

cn=16606012N JAVIER
CORDON (C:874065937)
gn=JAVIER +ESB>TAXUS
MEDIO AMBIENTE S.L.
qu=AREA MEDIO
AMBIENTE Y
SOSTENIBILIDAD

El Técnico de Laboratorio:

Javier Cordon Ezquerro

CONTROL DE CAMBIOS

⁽¹⁾ Los parámetros marcados no están amparados por el alcance de la acreditación ENAC.

Los resultados de este informe solo afectan a la muestra sometida a análisis.

Toda la información referida a la presente muestra está a disposición del cliente.

El informe no debe reproducirse parcialmente sin aprobación del laboratorio de ensayo de TAXUS MEDIO AMBIENTE.

DATOS IDENTIFICATIVOS DEL CLIENTE Y LA MUESTRA

Cliente:	CENTRO DE INVESTIGACIÓN ELIAS MASAVEU		Dirección:		Calle Argüelles, 25	
Proyecto:	PRMA_1696_24_AYTOGIJON_CIANOPILES		Oviedo 33003 (ASTURIAS)			
Nombre Masa de Agua:	Laguna Grande		Tipología:	No tipificada	Masa muy modificada:	Sí
Fecha de Muestreo:	12/06/2024		Entrada Laboratorio	12/06/2024		
Técnicos de Campo	AEM/AFR		Taxónomo	BVP		
Muestra Cuantitativa	Código Muestra:	LISA_24_01_FAD1	Muestra Cualitativa ²	Código Muestra:	LISA_24_01_FADA	
	Toma de Muestra:	Técnico: AEM/AFR 10:20		Toma de Muestra:	Técnico: BVP Hora: 10:28	
	Recipiente:	Vidrio Topacio (250ml)		Recipiente:	Plástico Topacio (100ml)	
	Conservación:	Lugol Básico		Conservación:	Lugol Básico	
	Fecha Análisis:	12:05 14:15		Tipo de Arrastre	Vertical	
	Fecha Análisis:			Inicio 8:10 Fin 11:40		
Procedimiento de muestreo y laboratorio:		M-LE-FP-2013				
Procedimiento de cálculo:		PC-31.2				

DATOS DE LA ESTACION

Coordenadas ETRS89	X:	286649	Y:	4823773		
Características Hidromorfológicas						
Parámetro	Resultado	Unidad	Parámetro	Resultado	Unidad	
Color del agua ¹	Verde	-	Estratificación ¹	-	-	
Olor del agua ¹	Excremento de ave	-	Profundidad termoclina ¹	NO	m	
Presencia de blooms	Sí	-	Profundidad del Disco de Secchi ¹	1,10	m	
Profundidad máxima ¹	1,1	m	Profundidad de la Zona Fótica ¹	2,8	m	
Características Físicoquímicas						
Nutrientes		Resultado	Unidad	Otros	Resultado	Unidad
Amonio ¹		-	mg/l	Alcalinidad ¹	285	mg CaCo ₃ /l
Fosfato ¹		-	mg/l	Oxígeno hipolimnético ¹	-	mg/l
Nitrato ¹		0,210	mg/l			
Nitrito ¹		0,180	mg/l			
Fósforo Total ¹		0,31	mg/l			
Nitrógeno Total ¹		2,3	mg/l			

RESULTADOS

Potencial Ecológico						
Métricas	Valor muestra	Unidad	RCE	RCE Normalizado	Combinación Métricas	
IGA ³	-	-	-	-	RCE Composición	-
Cianobacterias ⁴	4,285	%	-	-		
Biovolumen ⁵	0,780	mm ³ /l	-	-	RCE Biomasa	-
Clorofila a ²	18,17	mg/m ³	-	-		

ÍNDICE DE POTENCIAL ECOLÓGICO (IPE)

RCE

-

Fecha de emisión: 10/10/2024

Técnico de Laboratorio:

Firmado digitalmente por 71645111L BEATRIZ VILLAZÁN (C:874089937)
DN: cn=71645111L BEATRIZ VILLAZÁN (C:874089937)
gn=BEATRIZ, o=ES, ou=TAXUS GESTIÓN AMBIENTAL,
ECOLOGÍA Y CALIDAD S.L. ou=AREA MEDIO AMBIENTE Y
SOSTENIBILIDAD
Motivo: Soy el autor de este documento
Ubicación:
Fecha: 2024-10-16 14:50:02.00

Beatriz Villazán Peñalosa

Los parámetros marcados con (1) no están amparados por la acreditación ENAC.

(*) Método de Medición Transparencia del Agua basado en NORMA UNE-EN 16698; Características Disco de Secchi: diámetro 20 cm/ sectores blancos y negros.

(2) Método de Medición Clorofila a Espectrofotometría UV/VIS. La incertidumbre para el parámetro clorofila a es de $\pm 30,0\%$. Los resultados de este informe solo afectan a la muestra sometida a análisis.

(3) El IGA no se aplica para la determinación del estado ecológico cuando la suma de los biovolúmenes de los grupos taxonómicos del índice no representa el 70% del biovolumen total del fitoplancton de la muestra (MAGRAMA, MFIT-2013 v.2).

(4) Se excluyen del cálculo del "Total Biovolumen" los organismos heterótrofos; esta propiedad se obtiene de TAXAGUA (MAGRAMA, MFIT-2013 v.2)

(5) Se excluye el orden Chroococcales excepto los géneros Microcystis y Woronichinia.

Toda la información referida a la presente muestra está a disposición del cliente.

COMPOSICIÓN TAXONÓMICA

[illegible]

DATOS IDENTIFICATIVOS DEL CLIENTE Y LA MUESTRA

Cliente:	CENTRO DE INVESTIGACIÓN ELIAS MASAVEU		Dirección:	Calle Argüelles, 25		
Proyecto:	PRMA_1696_24_AYTOGIJON_CIANOPILES			Oviedo 33003 (ASTURIAS)		
Nombre Masa de Agua:	Laguna Grande		Tipología:	No tipificada	Masa muy modificada:	Sí
Fecha de Muestreo:	12/06/2024		Entrada Laboratorio	12/06/2024		
Técnicos de Campo	AEM/AFR		Taxónomo	BVP		
Muestra Cuantitativa	Código Muestra:	LISA_24_02_FAD1	Muestra Cualitativa ²	Código Muestra:	LISA_24_02_FADA	
	Toma de Muestra:	Técnico: AEM/AFR 10:38		Toma de Muestra:	Técnico: BVP Hora: 10:45	
	Recipiente:	Vidrio Topacio (250ml)		Recipiente:	Plástico Topacio (100ml)	
	Conservación:	Lugol Básico		Conservación:	Lugol Básico	
	Fecha Análisis:	9:20 11:10		Tipo de Arrastre	Vertical	
	Fecha Análisis:			Inicio 7:50 Fin 9:05		
Procedimiento de muestreo y laboratorio:		M-LE-FP-2013				
Procedimiento de cálculo:		PC-31.2				

DATOS DE LA ESTACION

Coordenadas ETRS89	X:	286666	Y:	4823850		
Características Hidromorfológicas						
Parámetro	Resultado	Unidad	Parámetro	Resultado	Unidad	
Color del agua ¹	Verde	-	Estratificación ¹	-	-	
Olor del agua ¹	Excremento de ave	-	Profundidad termoclina ¹	NO	m	
Presencia de blooms	Sí	-	Profundidad del Disco de Secchi ¹	1,10	m	
Profundidad máxima ¹	1,1	m	Profundidad de la Zona Fótica ¹	2,8	m	
Características Físicoquímicas						
Nutrientes		Resultado	Unidad	Otros	Resultado	Unidad
Amonio ¹		-	mg/l	Alcalinidad ¹	220	mg CaCO ₃ /l
Fosfato ¹		-	mg/l	Oxígeno hipolimnético ¹	-	mg/l
Nitrato ¹		0,220	mg/l			
Nitrito ¹		0,190	mg/l			
Fósforo Total ¹		0,24	mg/l			
Nitrógeno Total ¹		2,4	mg/l			

RESULTADOS

Potencial Ecológico						
Métricas	Valor muestra	Unidad	RCE	RCE Normalizado	Combinación Métricas	
IGA ³	-	-	-	-	RCE Composición	-
Cianobacterias ⁴	2,773	%	-	-		
Biovolumen ⁵	0,780	mm ³ /l	-	-	RCE Biomasa	-
Clorofila a ²	12,31	mg/m ³	-	-		

ÍNDICE DE POTENCIAL ECOLÓGICO (IPE)

RCE

-

Fecha de emisión: 10/10/2024

Firmado digitalmente por 71645111L BEATRIZ VILLAZÁN (C-B74085937)
DN: cn=71645111L BEATRIZ VILLAZÁN (C-B74085937)
gn=BEATRIZ c=ES o=TAXUS GESTIÓN AMBIENTAL, ECOLOGÍA Y CALIDAD S.L. ou=AREA MEDIO AMBIENTE Y SOSTENIBILIDAD
Motivo: Soy el autor de este documento
Ubicación:
Fecha: 2024-10-16 14:50+02:00

Técnico de Laboratorio:

Beatriz Villazán Peñalosa

Los parámetros marcados con (1) no están amparados por la acreditación ENAC.

(*) Método de Medición Transparencia del Agua basado en NORMA UNE-EN 16698; Características Disco de Secchi: diámetro 20 cm/ sectores blancos y negros.

(2) Método de Medición Clorofila a Espectrofotometría UV/VIS. La incertidumbre para el parámetro clorofila a es de $\pm 30,0\%$. Los resultados de este informe solo afectan a la muestra sometida a análisis.

(3) El IGA no se aplica para la determinación del estado ecológico cuando la suma de los biovolúmenes de los grupos taxonómicos del índice no representa el 70% del biovolumen total del fitoplancton de la muestra (MAGRAMA, MFIT-2013 v.2).

(4) Se excluyen del cálculo del "Total Biovolumen" los organismos heterótrofos; esta propiedad se obtiene de TAXAGUA (MAGRAMA, MFIT-2013 v.2)

(5) Se excluye el orden Chroococcales excepto los géneros Microcystis y Woronichinia.

Toda la información referida a la presente muestra está a disposición del cliente.

COMPOSICIÓN TAXONÓMICA

[illegible]

COMPOSICIÓN TAXONÓMICA

[illegible]

Certificado de Ensayo N°: 000317604

Referencia de la muestra: 000338945

Cliente/dirección: TAXUS, GESTIÓN AMBIENTAL ECOLOGÍA Y CALIDAD, S.L.. C/ SANTA SUSANA, 5 BAJO. 33007 OVIEDO (P. ASTURIAS)

Proyecto: TAXUS. ANALISIS MEDIOAMBIENTALES 2024 (TAXUS PE-3788)

Códigos: PYE2/24/0038 - OFE2/24/49

Tipo de muestra: Agua continental

Identificación de la muestra: LISA_24_01

Envases y conservación: 2,00 Botella plástico 1 litro

Toma de muestra realizada por: El Cliente

Recepción: 13/06/2024

Inicio de análisis: 20/06/2024

Fin de análisis: 27/06/2024

Parámetro	Unidad	Resultado	Procedimiento	Técnica	Incert. (k=2)
Generales					
Fósforo Total	mg P/l	0.31	IA-ITCAL-11.0-114	ICP-MS	21%
Nitratos	mg N-NO3-/l	0.21	UNE-EN ISO 10304-1:2009	C. Iónica	16%
Nitritos	mg N-NO2-/l	0.18	UNE-EN ISO 10304-1:2009	C. Iónica	16%
Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)	mg N/l	1.9	IA-ITCAL-11.0-09	Electrometría	35%
Nitrógeno Total Suma (NTK, N-NO3-, N-NO2-)	mg N/l	2.3	IA-DI-028	Suma	

Nitrógeno Total Suma: Calculado como suma de NTK, N-NO3- y N-NO2-. Los resultados < Límite de cuantificación acreditado se consideran como "0" para la suma. La Incertidumbre se encuentra a disposición del cliente.



Los parámetros marcados con (*) se encuentran fuera del alcance de la acreditación.

EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE DE LA INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE. LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME SÓLO AFECTAN A LAS MUESTRAS SOMETIDAS A ANÁLISIS.

EL INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIALMENTE SIN APROBACION ESCRITA DEL LABORATORIO DE ENSAYO EUROFINS ENVIRA INGENIEROS ASESORES, S. L.

EUROFINS CONTROL AMBIENTAL Y ECOGESTOR, S.L.U.: EMPRESA COLABORADORA DE LA ADMINISTRACIÓN HIDRÁULICA

Fecha de emisión: 1 de julio de 2024
Director Técnico del Laboratorio de Ensayo: Manuel Gutiérrez Cambior

Certificado de Ensayo N°: 000317605

Referencia de la muestra: 000338946

Cliente/dirección: TAXUS, GESTIÓN AMBIENTAL ECOLOGÍA Y CALIDAD, S.L.. C/ SANTA SUSANA, 5 BAJO. 33007 OVIEDO (P. ASTURIAS)

Proyecto: TAXUS. ANALISIS MEDIOAMBIENTALES 2024 (TAXUS PE-3788)

Códigos: PYE2/24/0038 - OFE2/24/49

Tipo de muestra: Agua continental

Identificación de la muestra: LISA_24_02

Envases y conservación: 2,00 Botella plástico 1 litro

Toma de muestra realizada por: El Cliente

Recepción: 13/06/2024

Inicio de análisis: 20/06/2024

Fin de análisis: 27/06/2024

Parámetro	Unidad	Resultado	Procedimiento	Técnica	Incert. (k=2)
Generales					
Fósforo Total	mg P/l	0.24	IA-ITCAL-11.0-114	ICP-MS	21%
Nitratos	mg N-NO3-/l	0.22	UNE-EN ISO 10304-1:2009	C. Iónica	16%
Nitritos	mg N-NO2-/l	0.19	UNE-EN ISO 10304-1:2009	C. Iónica	16%
Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)	mg N/l	2.0	IA-ITCAL-11.0-09	Electrometría	35%
Nitrógeno Total Suma (NTK, N-NO3-, N-NO2-)	mg N/l	2.4	IA-DI-028	Suma	

Nitrógeno Total Suma: Calculado como suma de NTK, N-NO3- y N-NO2-. Los resultados < Límite de cuantificación acreditado se consideran como "0" para la suma. La Incertidumbre se encuentra a disposición del cliente.



Los parámetros marcados con (*) se encuentran fuera del alcance de la acreditación.

EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE DE LA INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE. LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME SÓLO AFECTAN A LAS MUESTRAS SOMETIDAS A ANÁLISIS.

EL INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIALMENTE SIN APROBACION ESCRITA DEL LABORATORIO DE ENSAYO EUROFINS ENVIRA INGENIEROS ASESORES, S. L.

EUROFINS CONTROL AMBIENTAL Y ECOGESTOR, S.L.U.: EMPRESA COLABORADORA DE LA ADMINISTRACIÓN HIDRÁULICA

Fecha de emisión: 1 de julio de 2024
Director Técnico del Laboratorio de Ensayo: Manuel Gutiérrez Cambior

INFORME DE ENSAYO
Nº DE REFERENCIA: 152138 / 2024
DATOS DEL CLIENTE
TAXUS MEDIO AMBIENTE, S.L.
C/Cabranes (Montecerrao), N°1 33006 OVIEDO NIF B74085937
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Identificación de la muestra (**)
Tipo de muestra
Remitido por
Fecha entrada
Fecha inicio / finalización
Cantidad y Envases
LISA_24_01_MICROCISTINA
Agua Continental Superficial
TAXUS MEDIO AMBIENTE, S.L.
14/06/2024 - 07:30
17/06/2024 - 27/06/2024
500ml, 1V
DATOS DE TOMA DE MUESTRA ()**

Población
Fecha toma
GIJON (ASTURIAS)
12/06/2024 - 09:30
RESULTADOS LABORATORIO

PARAMETRO	METODO	LIM.CUANT	RESULTADO	UNIDADES
Microcistinas	CLMS/029-a	0,20 µg/L	<0,20	µg/L (1)
Microcistina-RR	CLMS/029-a	0,050 µg/L	<0,050	µg/L (1)
Microcistina-LR	CLMS/029-a	0,050 µg/L	<0,050	µg/L (1)
Microcistina-YR	CLMS/029-a	0,050 µg/L	<0,050	µg/L (1)
Microcistina-Desmetil-RR	CLMS/029-a	0,050 µg/L	<0,050	µg/L (1)

Ensayos validados por: Mónica Sanmiguel Martí (Técnico sección Cromatografía)

Emitido en Castellón a 28 de Junio de 2024

Firmado electrónicamente por:
EUROFINS IPROMA S.L.U. - CIF B12227492
Nombre: FERRER TORREGROSA, CARLOS - NIF: 48385444E.
Cargo: Director General

(**) Información aportada por el cliente y no cubierta por la acreditación de ENAC.

(*) Parámetro o Toma de Muestra no acreditada por ENAC

La información sobre la cantidad de muestra y/o conservación de la misma ha sido aportada por el cliente y no está cubierta por la acreditación de ENAC.

El laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente.

Este informe solo afecta a la muestra tal y como se recibió.

Los resultados solo conciernen al o a los objetos presentados a ensayo.

El informe del ensayo no debe ser reproducido parcialmente sin el consentimiento del laboratorio.

Las incertidumbres de medida están calculadas y a disposición del cliente.

(1) Ensayos realizados en IPROMA CASTELLÓN



Responsable: EUROFINS IPROMA, S.L.U. || Finalidades: Realización de los informes de los ensayos realizados || Derechos: Puede ejercer sus derechos de acceso, rectificación, supresión, oposición, portabilidad o limitación del tratamiento en la siguiente dirección: C/LITUANIA, nº6-8 12006, CASTELLÓN || Mas Info: www.eurofins-environment.es/es/politica-privacidad/

CASTELLÓN

Calle Lituania 6-8 -
12006- CASTELLÓN
Tel.: 964 251 072
Fax.: 964 210 476

VALENCIA

Pasaje Dr. Barutal Moret
8, 2ªC 46010 -
VALENCIA
Tel.: 964 251 072
Fax.: 964 210 476

MADRID

Av. de los Pirineos nº9, Nave 17
Av. de los Pirineos nº7 - Nave 8A
28703- S.S. de los Reyes MADRID
Tel.: 964 251 072
Fax.: 964 210 476

ANDALUCÍA

Parque Tecnológico
Citec, C/ Manuel Trillo
21, 41120 - SEVILLA
Tel.: 964 251 072
Fax.: 964 210 476

GALICIA

Camino vello de Santiago
nº24 bajo, 36419 -
PONTEVEDRA
Tel.: 964 251 072
Fax.: 964 210 476

ARAGÓN

C/ Pablo Iglesias nº 34-
36, Local 50018 -
ZARAGOZA
Tel.: 964 251 072
Fax.: 964 210 476

CATALUNYA

Carrer del Garbí, 13,
Local 10, 08150 Parets
del Vallès, - BARCELONA
Tel.: 964 251 072
Fax.: 964 210 476

INFORME DE ENSAYO
Nº DE REFERENCIA: 152139 / 2024
DATOS DEL CLIENTE
TAXUS MEDIO AMBIENTE, S.L.
C/Cabranes (Montecerrao), N°1 33006 OVIEDO NIF B74085937
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Identificación de la muestra (**): **LISA_24_02_MICROCISTINA**
Tipo de muestra: **Agua Continental Superficial**
Remitido por: **TAXUS MEDIO AMBIENTE, S.L.**
Fecha entrada: **14/06/2024 - 07:30**
Fecha inicio / finalización: **17/06/2024 - 27/06/2024**
Cantidad y Envases: **500ml, 1V**
DATOS DE TOMA DE MUESTRA ()**

Población: **GIJON (ASTURIAS)**
Fecha toma: **12/06/2024 - 10:00**
RESULTADOS LABORATORIO

PARAMETRO	METODO	LIM.CUANT	RESULTADO	UNIDADES
Microcistinas	CLMS/029-a	0,20 µg/L	<0,20	µg/L (1)
Microcistina-RR	CLMS/029-a	0,050 µg/L	<0,050	µg/L (1)
Microcistina-LR	CLMS/029-a	0,050 µg/L	<0,050	µg/L (1)
Microcistina-YR	CLMS/029-a	0,050 µg/L	<0,050	µg/L (1)
Microcistina-Desmetil-RR	CLMS/029-a	0,050 µg/L	<0,050	µg/L (1)

Ensayos validados por: Mónica Sanmiguel Martí (Técnico sección Cromatografía)

Emitido en Castellón a 28 de Junio de 2024

Firmado electrónicamente por:
EUROFINS IPROMA S.L.U. - CIF B12227492
Nombre: FERRER TORREGROSA, CARLOS - NIF: 48385444E.
Cargo: Director General

(**) Información aportada por el cliente y no cubierta por la acreditación de ENAC.

(*) Parámetro o Toma de Muestra no acreditada por ENAC

La información sobre la cantidad de muestra y/o conservación de la misma ha sido aportada por el cliente y no está cubierta por la acreditación de ENAC.

El laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente.

Este informe solo afecta a la muestra tal y como se recibió.

Los resultados solo conciernen al o a los objetos presentados a ensayo.

El informe del ensayo no debe ser reproducido parcialmente sin el consentimiento del laboratorio.

Las incertidumbres de medida están calculadas y a disposición del cliente.

(1) Ensayos realizados en IPROMA CASTELLÓN



Responsable: EUROFINS IPROMA, S.L.U. || Finalidades: Realización de los informes de los ensayos realizados || Derechos: Puede ejercer sus derechos de acceso, rectificación, supresión, oposición, portabilidad o limitación del tratamiento en la siguiente dirección: C/LITUANIA, nº6-8 12006, CASTELLÓN || Mas Info: www.eurofins-environment.es/es/politica-privacidad/

CASTELLÓN

Calle Lituania 6-8 -
12006- CASTELLÓN
Tel.: 964 251 072
Fax.: 964 210 476

VALENCIA

Pasaje Dr. Barutal Moret
8, 2ªC 46010 -
VALENCIA
Tel.: 964 251 072
Fax.: 964 210 476

MADRID

Av. de los Pirineos nº9, Nave 17
Av. de los Pirineos nº7 - Nave 8A
28703- S.S. de los Reyes MADRID
Tel.: 964 251 072
Fax.: 964 210 476

ANDALUCÍA

Parque Tecnológico
Citec, C/ Manuel Trillo
21, 41120 - SEVILLA
Tel.: 964 251 072
Fax.: 964 210 476

GALICIA

Camiño vello de Santiago
nº24 bajo, 36419 -
PONTEVEDRA
Tel.: 964 251 072
Fax.: 964 210 476

ARAGÓN

C/ Pablo Iglesias nº 34-
36, Local 50018 -
ZARAGOZA
Tel.: 964 251 072
Fax.: 964 210 476

CATALUNYA

Carrer del Garbí, 13,
Local 10, 08150 Parets
del Vallès, - BARCELONA
Tel.: 964 251 072
Fax.: 964 210 476