

**Facultad de Ingeniería**



# Gestión del riesgo de la contaminación por Cianobacterias en laguna La Brava

Proyecto Final de Graduación en  
Ingeniería Ambiental



Alumno

Leandro Cantoli

Directora del Proyecto Final

Mg. Lic. María del Carmen Naser

## Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a aquellas personas que con su ayuda y experiencia permitieron que pueda llevar a cabo la realización del presente Proyecto Final:

- A mi directora, Marita, que, con su paciencia y su pasión por la enseñanza, logró que podamos cumplir con todas nuestras expectativas previstas.
- A la Ing. Silvia Vargas, por su ayuda indispensable en el laboratorio y su gran compromiso, a pesar de los obstáculos que muchas veces parecían no tener solución.
- A la Dra. María Victoria Martín, del INBIOTEC (Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Biotecnología), que, desde su gran humildad y conocimiento en cianobacterias, nos brindó la información necesaria y le dio el toque final al proyecto.
- Al Lic. Martín Blando, quien logró la autorización para que el laboratorio Farestaie determiné la concentración de microcistinas de forma gratuita.
- A los dueños de Piedra Naranja, Nadia Beilinson y Carlos Kiricos, por su cordial bienvenida cuando fuimos a tomar muestras y luego por aceptar la entrevista.

También quiero darles las gracias a mis profesoras del colegio (Instituto Santa Cecilia), Melisa Paz y Ana Caffiero, que me inspiraron a que yo estudie esta carrera.

Por otra parte, a mi familia y amigos por su compañía y apoyo en momentos claves, pero especialmente a mis padres, que me dieron la oportunidad de poder centrar toda mi atención en el estudio. Les dedico este proyecto final principalmente a mis abuelas, que ya no están presentes físicamente y que me hubiera gustado que me vean en esta instancia.

Por último, a la Facultad de Ingeniería de la Universidad FASTA, que provee la estructura, tanto edilicia como humana, de excelencia, para poder estudiar esta carrera en Mar del Plata.

# Índice General

1.	Introducción.....	11
1.1.	Marco Teórico.....	11
1.1.1.	Cianobacterias.....	11
1.1.2.	Concepto de laguna.....	12
1.1.3.	Servicios Ecosistémicos.....	13
1.1.4.	Eutrofización.....	14
1.1.5.	¿Qué es un fertilizante?.....	15
1.2.	Antecedentes Generales.....	15
1.2.1.	Eutrofización Antropogénica o Cultural.....	15
1.2.2.	Intoxicación por microcistinas en seres humanos.....	15
1.2.3.	Ensayos de Toxicidad o bioensayos.....	16
1.3.	Planteo del Problema.....	17
1.3.1.	Cianotoxicidad.....	17
1.4.	Marco Legal.....	18
1.5.	Objetivos.....	19
1.5.1.	Objetivo General.....	19
1.5.2.	Objetivos Específicos.....	20
2.	Descripción del área de estudio.....	22
2.1.	Localización.....	22
2.2.	Características generales de laguna La Brava.....	23
2.2.1.	Servicios ecosistémicos.....	25
2.2.2.	Hidrología.....	26
2.2.3.	Eutrofia natural y antropogénica.....	26
2.3.	Declaración de laguna La Brava como “Paisaje Protegido de Interés Provincial”.....	27
3.	Marco metodológico.....	29
3.1.	Abordaje Epistemológico.....	29
3.2.	Muestreo y preservación de sedimentos.....	30
3.3.	Análisis físico-químico de los sedimentos.....	31
3.3.1.	Caracterización del suelo.....	31
3.3.2.	Determinación del pH en agua.....	32
3.3.3.	Determinación del porcentaje de Materia Orgánica Total en el suelo.....	33

3.4.	Determinación de <i>Microcistina-LR</i> en el agua .....	36
4.	Materiales y métodos .....	38
4.1.	Localización de los puntos de muestreo .....	38
4.2.	Proceso de secado .....	40
4.3.	Análisis físico-químico de los sedimentos .....	41
4.3.1.	Caracterización del suelo .....	41
4.3.2.	Determinación del pH en agua .....	43
4.3.3.	Determinación del porcentaje de Materia Orgánica Total en el suelo .....	44
4.4.	Determinación de <i>Microcistina-LR</i> en el agua .....	48
5.	Resultados.....	50
5.1.	Caracterización del suelo .....	50
5.1.1.	Muestra 1 .....	50
5.1.2.	Muestra 2 .....	51
5.1.3.	Tabla resumen.....	53
5.2.	Determinación del pH en agua.....	54
5.3.	Determinación del porcentaje de Materia Orgánica Total en el suelo .....	54
5.3.1.	Volumetría .....	54
5.3.2.	Espectrofotometría UV-Visible.....	56
5.3.3.	Conclusiones de los métodos .....	57
5.4.	Determinación de <i>Microcistina-LR</i> en el agua .....	58
6.	Gestión del Riesgo .....	60
6.1.	Caracterización del Riesgo .....	62
6.1.1.	Identificación del peligro .....	62
6.1.2.	Escenario de exposición .....	64
6.1.3.	Receptores, dosis-respuesta y vulnerabilidad .....	65
6.2.	Evaluación del Riesgo.....	66
6.2.1.	Formulación del escenario .....	66
6.2.2.	Estimación de la probabilidad .....	67
6.2.3.	Estimación de la gravedad de las consecuencias.....	67
6.2.4.	Estimación del Riesgo Ambiental .....	72
6.2.5.	Conclusión de la evaluación .....	74
6.3.	Predicción .....	74
6.3.1.	Efectos de las fuentes de luz .....	75

6.3.2.	Temperatura .....	76
6.3.3.	Disponibilidad de nutrientes .....	76
6.3.4.	pH.....	77
6.4.	Prevención .....	78
6.4.1.	Prevención estructural .....	78
6.4.2.	Prevención no estructural .....	78
6.5.	Recuperación/remediación.....	83
7.	Conclusiones y discusión de los resultados.....	86
8.	Perspectivas abiertas .....	90
	Bibliografía.....	92
	Anexo 1 .....	95
	Anexo 2 - Entrevista a los dueños de Piedra Naranja.....	99
	Apéndices .....	110
	Apéndice A: Río de La Plata: Piden evitar el contacto con el agua por la presencia de cianobacterias..	111
	Apéndice B: Aconsejan no consumir peces extraídos de laguna “La Brava” por contaminación de algas .....	114
	Apéndice C: Detectan “cianobacterias tóxicas” en aguas que vuelcan directo al río Uruguay.....	117
	Apéndice D: Advierten la presencia de cianobacterias en las aguas de Buenos Aires, Santa Fe, Entre Ríos y Córdoba.....	120
	Apéndice E: Alerta por algas tóxicas en ríos y lagos de Buenos Aires, Santa Fe, Entre Ríos y Córdoba..	122

## Índice de Imágenes

Imagen 1. Vista satelital de la laguna La Brava .....	23
Imagen 2. Laguna La Brava (1) .....	24
Imagen 3. Laguna La Brava (2) .....	24
Imagen 4. Zona residencial, Villa Laguna La Brava .....	24
Imagen 5. Flora de los alrededores de la laguna.....	25
Imagen 6. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo .....	38
Imagen 7. Muestreando agua (1).....	39
Imagen 8. Muestreando agua (2).....	39
Imagen 9. Muestras húmedas.....	40
Imagen 10. Estufa Montpellier ESC05A.....	40
Imagen 11. Muestras secas.....	41
Imagen 12. Medición de pH.....	43
Imagen 13. Solución de dicromato de potasio, indicador y titulante.....	44
Imagen 14. Muestra 1, 2 y el blanco .....	45
Imagen 15. Color azul con el indicador previo a la titulación.....	45
Imagen 16. Color de viraje final a verde luego de la titulación .....	46
Imagen 17. Espectrofotómetro UV-Visible Biotraza 722.....	47
Imagen 18. Muestras .....	56
Imagen 19. Color del suelo seco de ambas muestras .....	57
Imagen 20-25. Aislamiento de cianobacterias .....	86

## Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del Partido de Balcarce .....	22
Figura 2. Pasos para caracterizar el riesgo .....	60
Figura 3. Molécula MC-LR .....	63
Figura 4. Fórmulas para estimar la gravedad de las consecuencias por entorno .....	68
Figura 5. Árbol de Decisión para Agua Recreativa .....	81
Figura 6. Espectro de absorción del ácido crómico reducido .....	96
Figura 7. Curva de calibración .....	98

## Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de los suelos según el nivel de pH.....	33
Tabla 2. Clasificación de los suelos según el porcentaje de materia orgánica .....	36
Tabla 3. Puntos de muestreo .....	38
Tabla 4. Resumen de resultados de la caracterización del suelo .....	53
<i>Tabla 5. Resultados de la determinación de Microcistina-LR .....</i>	<i>58</i>
Tabla 6. Formulación del escenario .....	67
Tabla 7. Valores en función de la probabilidad del peligro .....	67
Tabla 8. Puntuación total en función del valor de gravedad de las consecuencias .....	68
Tabla 9. Valores para cada criterio en el entorno natural .....	69
Tabla 10. Gravedad de las consecuencias en el entorno natural .....	69
Tabla 11. Valores para cada criterio en el entorno humano .....	70
Tabla 12. Gravedad de las consecuencias en el entorno humano .....	70
Tabla 13. Valores para cada criterio en el entorno socioeconómico .....	71
Tabla 14. Gravedad de las consecuencias en el entorno socioeconómico .....	71
Tabla 15. Producto entre probabilidad y consecuencias.....	72
Tabla 16. Riesgo en función del color .....	72
Tabla 17. Riesgo en el entorno natural .....	73
Tabla 18. Riesgo en el entorno humano .....	73
Tabla 19. Riesgo en el entorno socioeconómico.....	74
Tabla 20. Medidas recomendadas según niveles de riesgo .....	83
Tabla 21. Medidas aplicadas para la mitigación de floraciones de cianobacterias .....	84
Tabla 22. Clasificación de los ambientes acuáticos en función de su eutrofización.....	90
Tabla 23. Fórmulas para estimar el estado trófico.....	91
Tabla 24. Escala de valores del estado trófico .....	91
Tabla 25. Valores de absorbancia a diferentes longitudes de onda .....	96
Tabla 26. Estándares de trabajo y sus absorbancias .....	98

## Índice de Anexos

Anexo 1.....	95
Anexo 2 - Entrevista a los dueños de Piedra Naranja.....	99

## Resumen

Debido principalmente al cambio climático y a la eutrofización del cuerpo de agua a causa del uso de fertilizantes en las zonas agrícolas aledañas a la laguna La Brava, en los últimos años se han notado con mayor frecuencia floraciones de cianobacterias durante la época de verano. Muchas de estas especies sintetizan toxinas que provocan daños a la biodiversidad que conforma el ecosistema y a los seres humanos, así como a las actividades económicas y turísticas, por ejemplo, la pesca deportiva.

El principal objetivo del presente proyecto final es proponer una gestión del riesgo de la contaminación por cianobacterias en la laguna La Brava, localizada en el Partido de Balcarce.

Para ello, se realizaron en primer lugar muestreos de agua y sedimentos en dos sitios ubicados en las orillas de la laguna. Estas matrices nos permitieron analizar la concentración de toxinas en el agua, caracterizar los suelos y su materia orgánica, así como llevar a cabo el cultivo de cianobacterias en medio BG-11, especialmente recomendado para las mismas.

El cultivo en medio BG-11 permitió evidenciar la presencia de cianobacterias en el agua, a pesar de que la concentración de toxinas fue nula. Del análisis de materia orgánica surge la confirmación del alto grado de eutrofización que posee la laguna.

Por otra parte, la gestión del riesgo consta de una caracterización de la zona en estudio, su evaluación, predicción, prevención y recuperación o remediación.

Los resultados de los estudios y de la gestión del riesgo prueban la importancia y la urgencia de formular estrategias de prevención y minimización de los mismos, especialmente sobre el entorno natural y humano, durante las épocas de afloramientos de cianobacterias.

# Capítulo 1

# 1. Introducción

## 1.1. Marco Teórico

### 1.1.1. Cianobacterias

Las cianobacterias conforman una de las primeras formas de vida en nuestro planeta. Según la clasificación de Wittaker de 1969, los seres vivos se dividen en cinco reinos: Animalia, Plantae, Protista, Procarionte y Fungi. Las cianobacterias forman parte del reino Procarionte y se han reconocido más de 2000 especies de cianobacterias, dispuestas en 15 géneros.

Las cianobacterias son bacterias fotosintéticas, es decir, que liberan oxígeno como subproducto de su metabolismo. Además, son las únicas capaces de fijar nitrógeno molecular, cumpliendo un importante rol en los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno, oxígeno y carbono.

Las cianobacterias se encuentran entre los organismos con requerimientos nutritivos más simples, pues solo necesitan nitrógeno y dióxido de carbono, siempre presentes en la atmósfera, unos pocos minerales y agua. Son consideradas como fotoautótrofas anaeróbicas debido a que solo dependen de carbono inorgánico, agua, nitrógeno, fósforo y luz como fuente de nutrición (López & Andrus, 2011).

Los microorganismos pertenecientes al reino Procarionte se caracterizan por ser células sin núcleo, aparato de Golgi, mitocondria, retículo endoplásmico, ni plastos. El ADN se encuentra dentro de la célula y no está rodeado por una membrana nuclear. El tamaño celular, en el caso de las cianobacterias, es variable, entre 0,2 hasta 2  $\mu\text{m}$ .

El citoplasma de las cianobacterias presenta varias estructuras reconocibles como los carboxisomas, almidón cianoficeano, gránulos de glucógeno, gránulos de cianoficina, gránulos de polifosfato, vesículas gasíferas y tilacoides. Dentro del citoplasma, existe un área reconocida como el cromatoplasma. La envoltura está constituida, como en todas las bacterias gramnegativas, por una

membrana plasmática y una membrana externa, situándose entre ambas una pared de mureína (López et al., 2011).

El cromatoplasma es una región que se encuentra en la periferia del citoplasma, donde se alojan los pigmentos que definen el color de cada especie. La mayoría contiene pigmentos de color azul-verdoso.

Otra característica que permite diferenciar las diversas especies de cianobacterias es la pared celular ya que no todas la poseen.

Las cianobacterias prosperan en determinadas condiciones ambientales, tales como elevadas temperaturas, aguas calmas y alta irradiación solar. Son capaces de producir grandes florecimientos verde-azulados en cuerpos de agua dulces y no marinos ni estuariales (De Marco, comunicación personal, 7 de enero de 2022).

### 1.1.2. Concepto de laguna

Según la Real Academia Española (RAE), la laguna es un “depósito natural de agua, generalmente dulce y de menores dimensiones que el lago”.

Por otra parte, la Sociedad Geográfica de Colombia realizó un estudio sobre la definición de algunos términos geográficos en el año 1953, donde se diferenció el concepto de lago y de laguna. Se realizó un análisis de definiciones provenientes de diversas instituciones y autores, a partir del cual se llega a la conclusión de que una laguna es un “depósito de agua que abastece y es abastecido y cuyas características son iguales a las de los lagos, pero su profundidad inferior a 10 metros”.

Las lagunas suelen contar con una mayor producción primaria debido fundamentalmente al mayor contacto de los sedimentos con la superficie del agua como consecuencia de su escasa profundidad. Otra característica propia suele ser la alternancia de ciclos secos y húmedos. Además, una laguna es una extensión de agua estancada y al ser poco profunda permite que el sol penetre hasta su

fondo, impidiendo la formación de distintos estratos térmicos, como sí sucede en los lagos, en los que se distingue una zona afótica (sin luz) de otra fótica (Vicente Ávila, 2017).

Las plantas con raíces pueden desarrollarse en una laguna de una costa a la opuesta, al contrario de los lagos en los cuales, al ser más grandes y hondos, solo pueden crecer en sus márgenes y en caletas poco profundas (Vicente Ávila, 2017).

### 1.1.3. Servicios Ecosistémicos

Se entiende como servicios ecosistémicos a aquellos beneficios que el ser humano obtiene de la naturaleza.

Se pueden clasificar según el tipo de servicio, como los de provisión (alimento, agua, etc.), servicios relacionados con la regulación (del clima, inundaciones, etc.), cultural (educacional, recreacional, etc.). Estos traen aparejados otros servicios como los de seguridad (frente a desastres, por ejemplo), materiales básicos para el bienestar humano, salud y buenas relaciones sociales.

Según la generación, propagación y captura se clasifican en:

- In situ: la producción y su apesamiento se llevan a cabo en el mismo sitio. Por ejemplo, la provisión de peces para pesca recreativa.
- Omnidireccionales: si el servicio ecosistémico en cuestión se propaga en todas las direcciones posibles, como el secuestro de carbono.
- Direccionales: cuando se generan en un sitio, se propagan hacia una única dirección y se capturan en otro lugar distante o no al lugar de generación. Se puede nombrar, por ejemplo, el servicio ecosistémico de amortiguación de inundaciones.

#### 1.1.4. Eutrofización

La eutrofización se define como el enriquecimiento de nutrientes en un cuerpo de agua, especialmente con nitrógeno y fósforo, que genera el florecimiento de algas verdes y brotes cianobacterianos. Se la considera un problema de contaminación ya que causa un deterioro de los ambientes acuáticos y problemas serios en cuanto a los usos del agua, principalmente por el ser humano.

Las causas de la eutrofización son muy variadas, entre ellas:

- Cambio climático, debido a que el aumento de temperatura en los cuerpos de agua favorece la aparición de brotes cianobacterianos y algas verdes. Las algas alcanzan una proliferación máxima a los 20°C, mientras que las cianobacterias a temperaturas mayores de 25°C hasta 30°C, por esta razón suelen suceder en verano.
- Agricultura y urbanización, conocida como eutrofización cultural o antropogénica, causada por prácticas humanas. En el caso de la agricultura, la utilización de fertilizantes en los campos aledaños a un cuerpo de agua puede provocar el enriquecimiento de nutrientes debido a que los compuestos con nitrógeno y fósforo lo alcanzan mediante la escorrentía superficial.

La consecuencia principal de la eutrofización es la generación de una capa flotante en la superficie del agua, que acarrea la disminución de la penetración de luz solar, afectando la fotosíntesis y la disponibilidad de oxígeno disuelto en las profundidades del ecosistema acuático afectado. Por otra parte, los florecimientos de cianobacterias causan impacto social, ya que por sus efectos limitan la utilización de acuíferos y hasta el aprovechamiento de tierras aledañas, así como la recreación y la pesca.

### 1.1.5. ¿Qué es un fertilizante?

Cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos cinco por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios (nitrógeno, fósforo y potasio) puede ser llamado fertilizante (FAO, 2002). Aquellos fabricados industrialmente son conocidos como fertilizantes minerales.

## 1.2. Antecedentes Generales

### 1.2.1. Eutrofización Antropogénica o Cultural

Los problemas derivados de la eutrofización de cuerpos de agua comenzaron en el siglo XIX, cuando se construyeron los sistemas de drenaje de las grandes ciudades de Europa. Llegado el siglo XX, se seguía considerando al océano como un gran basurero sin fondo para nuestros desechos. En las décadas del '50 y '60 se empezaron a hacer estudios para combatir la eutrofización antropogénica.

Cabe citar a modo de ejemplo que la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Autónoma Metropolitana, la Universidad Autónoma de Baja California y la Universidad del Mar, ubicadas en México, realizan investigaciones para medir los parámetros relacionados con la eutrofización, como la transparencia del agua, el pH y las concentraciones de nutrientes, de microalgas y de oxígeno. Se han generado modelos para calcular la máxima capacidad de asimilación de materia orgánica de un cuerpo de agua, así como los índices químicos y ecológicos para conocer el estado de eutrofización de un sistema y así poder tomar medidas (Chapa Balcorta & Guerrero Arenas, 2010).

### 1.2.2. Intoxicación por microcistinas en seres humanos

Las microcistinas son las hepatotoxinas más comúnmente producidas por las cianobacterias, para las cuales no se ha registrado ningún caso de intoxicación aguda en seres humanos previamente sanos que haya inducido su muerte, pero sí se ha descrito el acontecimiento del fallecimiento de varios

pacientes sometidos a diálisis renal por la exposición al agua contaminada con microcistinas en 1996 en Brasil (García, 2009). Este cuadro grave que consiste en disfunción hepática asociada al consumo de agua contaminada por cianotoxinas en pacientes con falla renal ha sido denominado “Síndrome de Caruaru” (Andrinolo & Sedan, 2017).

Anterior al descubrimiento del Síndrome de Caruaru, en Ohio (Estados Unidos) en 1931, se reportó el primer caso de gastroenteritis. En 1985, se reconocieron dos mil casos de gastroenteritis en Brasil. En 1995, en Australia se registraron 852 casos de gastroenteritis, alergias, fiebre y/o úlceras dérmicas durante un período de 7 días. Todos los pacientes tenían el antecedente de haber participado en el uso recreacional de un lago que sufrió un proceso de eutrofización y brote bacteriano.

En cuanto a la intoxicación del tipo crónica, se ha comprobado que el consumo a largo plazo de agua potable con pequeñas concentraciones de cianotoxinas hepatotóxicas disueltas puede ser una importante causa de cirrosis, cáncer y falla hepática (Andrinolo et al., 2017).

### 1.2.3. Ensayos de Toxicidad o bioensayos

Mediante la exposición de microcistina a ratones de laboratorio mediante inyecciones intravenosas e intraperitoneales, el 100 % de los especímenes presentaron un aumento de enzimas hepáticas. Muchos especímenes presentaron falla hepática, shock y hemorragia intraperitoneal (López et al., 2011).

Otro estudio en cerdos que ingirieron agua contaminada con *Microcystis aeruginosa*, administrada todos los días vía oral durante 44 días, demostró la aparición de lesión hepática en los especímenes (López et al., 2011).

Por otro lado, la exposición a largo plazo de microcistinas en ratones por vía oral, fomenta la aparición de focos y nódulos preneoplásicos en el hígado (López et al., 2011).

En cuanto a la toxicidad crónica, mediante bioensayos con ratones y cultivos de leucocitos humanos se demostró una alta carcinogenicidad mediante la exposición a una cianotoxina hepatotóxica conocida como cilindrospermopsina, producto de una cianobacteria común en la región norte de Australia, llamada *Cylindrospermopsis raciborskii* (López et al., 2011).

### 1.3. Planteo del Problema

#### 1.3.1. Cianotoxicidad

Muchas especies de cianobacterias tienen la capacidad de producir sustancias tóxicas que alteran notablemente las características organolépticas del agua y provocan graves daños a la salud humana e incluso, ocasionan la muerte (Luna, Díaz, & Tito, 2010).

De manera general, las cianotoxinas se clasifican en cuatro grupos: neurotoxinas, hepatotoxinas, citotoxinas irritantes y toxinas gastrointestinales.

Las cianotoxinas causantes de la mayoría de los episodios de cianotoxicidad son las microcistinas (hepatotoxinas), para las cuales se conoce su resistencia a los tratamientos convencionales de aguas potables, como la cloración; las microcistinas pueden llegar a causar graves problemas sanitarios y ambientales, incluso a muy bajas concentraciones. Su presencia se asocia fundamentalmente a especies de *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenom*, *Nodularia* y *Planktothrix* (Luna et al., 2010).

Se ha comprobado que las hepatotoxinas o microcistinas provocan brotes agudos de gastroenteritis, congestión pulmonar, irritaciones cutáneas, alergias, lesiones hepáticas, e incluso, elevación en la incidencia de tumores y metástasis, de ahí el valor de la detección del riesgo.

La intoxicación con cianotoxinas puede darse mediante diversas vías de ingreso como el contacto a través de los baños recreativos, ingesta de agua, inhalación de aire humidificado con agua con cianotoxinas y consumo de animales expuestos a cianotoxinas.

#### 1.3.1.1. Valores Guía para cianobacterias en agua para consumo humano

El límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para establecer si agua potable es inapta para el consumo humano debido a la contaminación por cianobacterias es de 1 µg/L de Microcystin-LR (García, 2009).

#### 1.3.1.2. Cianotoxinas dermatotóxicas e irritantes

No existen concentraciones seguras de cianobacterias para el uso recreacional del agua debido a que la sensibilidad varía individualmente o puede estar determinada por algún proceso alérgico.

La intoxicación aguda con cianotoxinas dermatotóxicas e irritantes ha sido causa de molestias menores como gastroenteritis y alergias.

Lo único que se conoce es un cuadro clínico desagradable conocido como “comezón del nadador” a causa del baño en aguas densamente pobladas por la especie *Aphanizomenon* (López et al., 2011).

### 1.4. Marco Legal

El derecho a un medio ambiente sano comenzó a ser reconocido por el Derecho Internacional a partir del año 1972, cuando la Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano expresó que *“el hombre tiene el derecho fundamental a la libertad, la igualdad y el disfrute de condiciones de vida adecuadas en un medio de calidad tal que le permita llevar una vida digna y gozar de bienestar y tiene la solemne obligación de proteger y mejorar el medio para las generaciones presentes y futuras”*.

En Argentina, la reforma constitucional del año 1994 incorporó el Artículo 41 a la Constitución Nacional, el cual plantea que *“todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado,*

*apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo”.*

La Ley General del Ambiente (Ley N°25675) establece los presupuestos mínimos para una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable y detalla los objetivos que deberá cumplir la política ambiental. A su vez determina que, para su interpretación y aplicación, deberán tenerse en cuenta los principios de congruencia, prevención, precautorio, de progresividad, de responsabilidad, de subsidiariedad, de sustentabilidad, de solidaridad, de cooperación y de equidad intergeneracional (Ministerio Público Fiscal, 2018).

Es necesario destacar que el derecho a un medio ambiente sano se vincula estrechamente con otros derechos fundamentales. Al respecto, la protección del medio ambiente resulta ser una garantía de los derechos económicos, sociales y culturales, pero también de derechos civiles y políticos, pues sin un ambiente sano y saludable no se pueden ejercer plenamente otros derechos como los de expresión e información, de igualdad y no discriminación, y el derecho a elegir y ser elegido (Ministerio Público Fiscal, 2018).

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo General

Llevar a cabo la formulación de una correcta gestión del riesgo para la contaminación por cianobacterias en laguna La Brava, ubicada en Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

### 1.5.2. Objetivos Específicos

- ✓ Conocer y comprender de forma integral y completa el funcionamiento del ecosistema afectado, así como las características morfológicas de la laguna, su hidrología y los servicios ecosistémicos que nos brinda.
- ✓ Realizar muestreos con el fin de caracterizar el ambiente mediante diversos análisis de suelos y agua. Para ello, caracterizar el suelo (humedad, porosidad, índice de poros, densidad natural y densidad seca), medir su pH y determinar el carbono orgánico total de las muestras, así como la concentración de microcistinas en el agua.
  - ✓ Caracterizar el riesgo y realizar su correspondiente evaluación.
  - ✓ Determinar aquellas características que nos permitirán predecir la posible proliferación de cianobacterias.
  - ✓ Formular correctas medidas de prevención estructural y no estructural, así como los sistemas de alerta correspondientes.
  - ✓ Describir los posibles sistemas de remediación posibles frente a una floración de cianobacterias.

# Capítulo 2



La laguna La Brava se encuentra ubicada dentro del Partido de Balcarce, exactamente en las coordenadas 37°52'52" S y 57°58'38" W, de la cual se puede obtener una vista satelital (Imagen 1).



*Imagen 1. Vista satelital de la laguna La Brava (Fuente: Google Earth, 2022)*

## 2.2. Características generales de laguna La Brava

Consiste en una laguna de 500 ha con una profundidad de entre 3 a 8 m como máximo con un fondo de barro y tosca, posee forma de riñón y se encuentra dispuesta en dirección noroeste-sudeste. En su margen oeste está acompañada por la Sierra Brava, formando un paisaje especial similar a los de la Patagonia argentina (Imagen 2) su vez, posee como afluente al Arroyo Tajamar.



*Imagen 2. Laguna La Brava (1)*



*Imagen 3. Laguna La Brava (2)*



*Imagen 4. Zona residencial, Villa Laguna La Brava*

En cuanto a su **flora (Imagen 5) y fauna, en sus aguas** se pueden encontrar pejerreyes y dientudos, tarariras, mojarra y bagres. Sus costas están pobladas por carpinchos y nutrias y la laguna es habitada por un sin número de aves, se encuentran cisnes, patos salvajes, gallaretas, flamencos, gaviotas y garzas; en sus bosques y sierras se observan chimangos, teros, aguiluchos, diversas especies de pájaros carpinteros y colibríes; así como tordos, cotorras, horneros, y otras varias especies difíciles de encontrar en otros parajes. En las sierras de la zona suelen avistarse ciervos, cabras, ñandúes y guanacos.



*Imagen 5. Flora de los alrededores de la laguna*

En la laguna y su entorno se pueden practicar diversas actividades: pesca, deportes náuticos, senderismo, parapente, observación de aves, observación del cielo nocturno.

### 2.2.1. Servicios ecosistémicos

Los humedales proporcionados por laguna La Brava otorgan importantes servicios ecosistémicos como el ciclado de nutrientes, la regulación del clima a nivel local y regional, la regulación de flujos hidrológicos, soporte ecosistémico esencial, oportunidades educativas y recreativas, riqueza paisajística y recursos económicos, entre otros. A menudo, actúan como sumidero de actividades humanas. Se trata de ecosistemas cuya funcionalidad aporta, sin duda, bienes y servicios de interés tanto

ambiental como económico y social. De hecho, los humedales son el tipo de ecosistema más valioso desde el punto de vista de los servicios ecosistémicos que ofrecen. Sin embargo, presentan un equilibrio muy frágil y, además, muestran una elevada sensibilidad y vulnerabilidad, ya que los impactos a los que son sometidos no son siempre evidentes ni reversibles. En particular, los humedales ligados a la dinámica hídrica subterránea, como es el caso de la laguna La Brava, muestran además una debilidad añadida al estar ligados a la evolución de los niveles piezométricos, dependientes a su vez de la correcta gestión de la explotación de los acuíferos.

### 2.2.2. Hidrología

Su hidrología es altamente dependiente de las precipitaciones *in situ*. Entonces, como consecuencia de los ciclos de sequía-inundación característicos de la región pampeana, estos cuerpos de agua experimentan profundos cambios en superficie, profundidad y salinidad.

### 2.2.3. Eutrofia natural y antropogénica

Las lagunas pampeanas disponen de abundante materia orgánica y elevadas concentraciones de nutrientes que determinan un nivel de eutrofia avanzado desde su origen. La expansión de la actividad agropecuaria de sus cuencas de drenaje, la tecnificación, urbanización y el aumento de desechos de diferente origen (efluentes cloacales o industriales, etc.), entre otros, han generado un impacto negativo sobre la calidad de sus aguas, en perjuicio de sus usos actuales o potenciales. La aceleración de los procesos de eutrofización atenta contra la conservación de este tipo de ambientes. Considerando que la laguna La Brava nos brinda múltiples servicios ecosistémicos y que proporciona el marco para el desarrollo de actividades turísticas, de pesca, recreativas, culturales, educativas, entre otras; se puede concluir que

constituye un sistema vulnerable, el cual requiere de un plan de manejo que regule el uso del recurso hídrico.

En los años 2001 y 2002 se produjeron algunos episodios de mortandad de peces, originados por elevados niveles de amonio, nitritos y nitratos que indicaron la presencia de un proceso de eutrofización por excesivo aporte de fertilizantes que llegan a la laguna por escurrimiento superficial desde las zonas agrícolas aledañas, lo cual provocó una floración de cianobacterias, causante del hecho descrito (Noticias 0223, 25 de abril de 2018).

### 2.3. Declaración de laguna La Brava como “Paisaje Protegido de Interés Provincial”

Bajo la Ley Provincial N°15095, el 18 de diciembre de 2018 se declara a la laguna La Brava como “Paisaje Protegido de Interés Provincial” con el objetivo de conservar y preservar la integridad de los elementos bióticos y abióticos que conforman el paisaje, así como la amplia variedad de servicios ecosistémicos que brinda.

El concepto de “Paisaje Protegido”, según la Ley Provincial N°12704, cumple con la finalidad de proteger ambientes naturales conformados por especies exóticas y nativas de flora y fauna, aunque en ellas haya existido una importante intervención del hombre, siempre que, alberguen un importante valor escénico, científico, sociocultural y ecológico. Estos ambientes deberán poseer una extensión y funcionalidad que sean representativos de sitios donde se asegure la interacción del hombre con el ambiente, valorizando las características mencionadas. Se trata de espacios que aún tienen mucho de natural, pero donde existe una antropización positiva.

## Capítulo 3

## 3. Marco metodológico

### 3.1. Abordaje Epistemológico

Las dos principales corrientes epistemológicas al llevar a cabo un trabajo de investigación son el positivismo y el constructivismo.

El positivismo plantea una realidad que existe fuera de nosotros, conducida por leyes naturales y mecanismos inmutables (Labra, 2013). Esto significa que el conocimiento es independiente del tiempo y del contexto, en una realidad que justamente se caracteriza por ser invariable y acontextual. El investigador se posiciona como un ser distante y neutral frente a la realidad.

A nivel metodológico se puede encontrar una concepción experimental/manipulable, de las interrogantes y/o hipótesis enunciadas (Labra, 2013). Se puede concluir que el positivismo es un enfoque orientado hacia la experiencia científica.

Por otra parte, el constructivismo se interesa en cómo se construye la realidad. Plantea que la misma es construida socialmente, es decir, depende de la forma y el contenido que las personas le otorguen, por lo que la realidad en este caso se caracteriza por ser cambiante y contextual. Para esta postura, el conocimiento es una representación pertinente de la realidad y la comprensión de cómo se construye el mundo.

Desde el punto de vista metodológico, se da una mirada subjetivista de la realidad, donde el constructivismo rompe con lo convencional u ordinario, reflejando el ordenamiento y la realización de un mundo constituido por nuestra experiencia.

Ambas posturas epistemológicas no son opuestas, y su elección depende de una serie de factores del trabajo de investigación, como los objetivos, el tema, el investigador y su experiencia.

En resumen, en el positivismo nos encontramos frente a una metodología cuantitativa, mientras que en el constructivismo se da una metodología cualitativa. Debido a esto, podemos concluir que el

presente trabajo, si bien, no se plantea como un proyecto de investigación, sino como un proyecto de final de carrera, puede ser encuadrado en medio de ambas posturas ya que se lleva a cabo el análisis y la comprensión subjetiva de la información recopilada y de la realidad observada (perteneciente a una mirada constructivista), pero también presenta una fase experimental que nos permitirá caracterizar el ambiente foco de nuestro estudio (mirada positivista) y así alcanzar los objetivos propuestos.

### 3.2. Muestreo y preservación de sedimentos

El sedimento es una mezcla de materia orgánica, partículas minerales y aire en proporciones variables. Desempeña un papel crucial en la dinámica de estos sistemas límnicos, tanto a nivel hidrológico como biológico, ya que es la sede de numerosos procesos biogeoquímicos que determinan el ciclo global de los elementos.

En la laguna La Brava, el sedimento perteneciente a sus orillas es la principal fuente de nutrientes biodisponibles, principalmente nitrógeno y fósforo, provenientes del proceso de eutrofización previamente descrito.

Debido a que el sedimento es un componente clave en el ecosistema a estudiar, resulta importante su caracterización mediante la determinación de materia orgánica.

El objetivo al realizar el muestreo de sedimentos es poder determinar el nivel de eutrofización que posee la laguna, por esta razón, las muestras fueron tomadas en las orillas del cuerpo de agua y superficialmente, además de que los nutrientes que se encuentren en superficie serán aquellos próximos a estar biodisponibles para la biota acuática, con la potencial capacidad de producir afloramientos de cianobacterias.

Las muestras, desde el primer momento que son recolectadas, están sujetas a cambios químicos, físicos y biológicos. A los efectos de conservar las propiedades del suelo invariables, el manipuleo, la preservación y el almacenamiento de las muestras fueron dispuestos de manera de evitar la

contaminación y se buscó minimizar cualquier cambio en la composición por medio del retraso en la actividad tanto química como biológica. No existe un método de preservación universal, es por esto, que teniendo en cuenta el objetivo del muestreo, se consideró pertinente utilizar envases de vidrio debidamente lavados para permitir la conservación de las propiedades naturales de las muestras. Posteriormente, fueron transportadas y almacenadas a bajas temperaturas (entre 4 y 5 °C) para minimizar los cambios biológicos que pudieran ocurrir. Por ello, se almacenaron en un refrigerador y a oscuras.

### 3.3. Análisis físico-químico de los sedimentos

#### 3.3.1. Caracterización del suelo

Se llevó a cabo la caracterización del suelo mediante la medición de los siguientes parámetros: humedad, índice de poros, porosidad, densidad natural y densidad seca.

La humedad del suelo se define como la *“humedad contenida en la porción de suelo por encima del nivel freático, incluido el vapor de agua presente en los poros del suelo”*<sup>1</sup>. Se lo considera como una medida del contenido de agua en la muestra, donde se determina qué proporción de la muestra total se encuentra constituida por agua y/o vapor de agua. Es pertinente aclarar que no es un indicador suficiente para expresar su respectivo estado de disponibilidad para las plantas u otros seres vivos. Además, al ser tomadas las muestras en las orillas de la laguna se puede suponer que el suelo alcanzó su capacidad máxima de absorción, es decir, todos sus huecos se encuentran completos de agua.

El índice de poros, o también conocido como índice de huecos, se lo define como la *“relación entre el volumen de huecos en una muestra dada de medio poroso y el volumen de partículas sólidas”*<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Glosario Hidrológico Internacional.

<sup>2</sup> Glosario Hidrológico Internacional.

La porosidad es la *“relación entre el volumen de intersticios en una muestra dada de un medio poroso y el volumen total del medio poroso, incluido los huecos”*<sup>3</sup>. Se refiere a la cantidad de espacio abierto dentro de un volumen de sedimento. Este parámetro, en conjunto con el conocimiento del tamaño medio de las partículas que componen la muestra, permiten estimar la velocidad de percolación de un fluido en ella. Se lo considera una característica importante porque de él depende el comportamiento del sedimento frente a las fases líquida y gaseosa y, por tanto, vital para la actividad biológica que pueda soportar.

La densidad se define tradicionalmente como la masa de una sustancia por unidad de volumen. En una muestra de suelo es indicativa del grado de compactación de un sedimento. Es una relación entre la masa del material seco y el volumen real ocupado por las partículas. Depende de la naturaleza de los minerales que integran el sedimento y la cantidad y tipo de materia orgánica (Naser, 2014).

La densidad seca hace referencia a la *“masa de una muestra de suelo secada en horno por unidad de volumen de suelo”*<sup>4</sup>.

### 3.3.2. Determinación del pH en agua

La acidez del suelo está condicionada por la presencia de protones ( $H^+$ ) o iones hidronio ( $H_3O^+$ ) presentes en el suelo. Para su medición no existe un procedimiento universal aceptado, por lo que se llevará a cabo una disolución del sedimento en el laboratorio, donde se sumergirá un peachímetro, para su posterior lectura.

Este parámetro regula un gran número de procesos, ya que muchas reacciones químicas dependen del pH y éste puede usarse para predecir la velocidad y el equilibrio de dichas reacciones.

---

<sup>3</sup> Glosario Hidrológico Internacional.

<sup>4</sup> Glosario Hidrológico Internacional.

Además, también afecta la disponibilidad de diferentes nutrientes y contaminantes debido a que influye en su movilidad.

El pH de los suelos puede variar de 2 (suelos con sulfuros que se oxidan a ácido sulfúrico) hasta 10 (suelos que contienen sales alcalinas como carbonato de sodio). Entre estos dos extremos se encuentran la mayoría de los suelos y sedimentos, con pH comprendidos entre 5 y 9 (Naser, 2014).

El pH del suelo influye en la asimilabilidad de los diferentes nutrientes, la acidificación del mismo reduce su biodisponibilidad. La incidencia del uso de fertilizantes sobre el pH del suelo depende principalmente del perfil acidificante de la composición química del fertilizante, de su carácter descalcificante o calcificante y de la capacidad tamponadora o poder amortiguador del suelo (Ginés & Mariscal Sancho, 2002).

El suelo se clasifica, según la siguiente tabla, en diferentes tipos en función del nivel de pH en que se encuentre:

<b>NIVELES DE ACIDEZ DE LOS SUELOS</b>	
Extremamente ácido	<4,5
Fuertemente ácido	4,5 -5,5
Medianamente ácido	5,6-6
Ligeramente ácido	6,1-6,1
Neutro	6,6-7,3
Medianamente básico	7,4-7,8
Básico	7,9-8,4
Ligeramente alcalino	7,9-8,4
Alcalino	9,1-10
Fuertemente alcalino	>10 <sup>1</sup>

*Tabla 1. Clasificación de los suelos según el nivel de pH (Rivera, Sánchez & Domínguez, 2018)*

### 3.3.3. Determinación del porcentaje de Materia Orgánica Total en el suelo

La materia orgánica del suelo o de sedimentos proviene de las raíces, residuos de plantas y de la actividad biológica de los organismos vivos que contiene. La descomposición de estos restos, de organismos que mueren en el suelo y residuos metabólicos dan origen a lo que se denomina humus, el cual se encuentra compuesto por un conjunto de macromoléculas en estado coloidal como proteínas,

azúcares, ácidos orgánicos, minerales, etc.; en constante estado de degradación y síntesis. A su vez, la descomposición del humus produce una serie de productos coloidales que, en unión con los minerales arcillosos, originan los complejos órgano minerales, cuya aglutinación determina la textura y estructura de un suelo.

Por otra parte, la materia orgánica tiene un gran impacto sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, tales como la velocidad de infiltración del agua en el sedimento, estructura del sedimento, microorganismos en el suelo, capacidad de fijación, entre otras. Además, es clave en la fertilidad de los suelos por ser fuente de elementos nutritivos como el nitrógeno y fósforo.

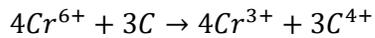
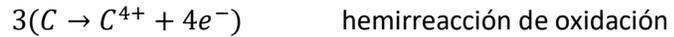
Recordemos que, en el presente caso de estudio, se considera la eutrofización es ocasionada por la utilización de fertilizantes en campos aledaños a la laguna, combinado con las altas temperaturas registradas en los últimos veranos. Los dueños se ven obligados a adicionar fertilizantes por la materia orgánica que se va perdiendo con el paso del tiempo y la secuencia de cultivos, la cual es importante porque actúa como almacén de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo y está constituida principalmente por residuos vegetales, por lo que contiene todo lo necesario para un correcto desarrollo de los cultivos.

Para determinar el porcentaje de materia orgánica total en el suelo, se utilizaron dos métodos distintos con el objetivo de realizar la comparación de los resultados obtenidos y otorgarles mayor confiabilidad.

Uno de los más utilizados en estudios edafológicos es el método de Walkley y Black mediante volumetría para evaluar la materia orgánica del suelo, debido a que actúa sobre las formas más activas del carbono orgánico. El procedimiento que se emplea es una digestión por vía húmeda, en el cual la materia orgánica del suelo se digesta con dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) y ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).

Este método actúa sobre las formas más activas del carbono orgánico que posee el suelo y no produce una oxidación completa de dichos compuestos, por lo que se deben hacer ajustes a los resultados obtenidos cuando se los desea expresar en términos de contenido de materia orgánica.

Las reacciones básicas de la volumetría son:



El cromo proveniente del dicromato de potasio funciona como agente oxidante (se reduce), y el carbono como agente reductor (se oxida).

La reacción global es la siguiente:



El dicromato de potasio que no ha reaccionado se valoró con el sulfato ferroso de amonio, usualmente conocido como sal de Mohr ( $Fe(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$ ). El dicromato es un agente oxidante, que en este caso transforma el ion ferroso a férrico:



El segundo método utilizado es la determinación del porcentaje de materia orgánica total a través de un Espectrofotómetro UV-visible Biotraza 722 o también conocido como método colorimétrico, con la elaboración de su correspondiente curva de calibración, el cual es una variante del método de Walkley y Black, ya que la muestra se trata también con un volumen suficiente de una solución de dicromato de potasio que actúa como agente oxidante en un medio fuertemente ácido (Alcántar, Etchevers, & Aguilar, 1992).

El suelo se clasifica, según la siguiente tabla, en diferentes tipos en función del porcentaje de materia orgánica que posea:

#### **Materia orgánica**

Clase	(Porcentaje)
Extremadamente pobre	0.00-0.60
Pobre	0.61-1.20
Medianamente pobre	1.21-1.80
Mediano	1.81-2.40
Medianamente rico	2.41-3.00
Rico	3.01-4.20
Extremadamente rico	Mayor de 4.20

*Tabla 2. Clasificación de los suelos según el porcentaje de materia orgánica (Fuente: agri-nova.com)*

#### **3.4. Determinación de *Microcistina-LR* en el agua**

Las microcistinas, como ya se ha explicado, son la hepatotoxina proveniente de las cianobacterias que causa la mayoría de los episodios de cianotoxicidad, de allí la importancia de llevar a cabo este análisis, con el objetivo de comprobar si el agua cumple con el límite establecido de microcistinas por la OMS.

# Capítulo 4

## 4. Materiales y métodos

### 4.1. Localización de los puntos de muestreo

El muestreo de los sedimentos y agua se llevó a cabo el día 3 de marzo de 2022, se determinaron dos puntos de muestreo (Tabla 3). El sitio de muestreo 2 corresponde al sedimento de un muelle de un complejo turístico sustentable de la laguna La Brava, conocido como “Piedra Naranja”.

Puntos de muestreo	Latitud	Longitud	Horario
1	S 37° 51' 56,9"	O 57° 58' 53,9"	10:00 a. m.
2	S 37° 52' 10,3"	O 57° 59' 19,5"	10:30 a. m.

Tabla 3. Puntos de muestreo

Se pueden ubicar los puntos de muestreo en un mapa satelital (Imagen 6).

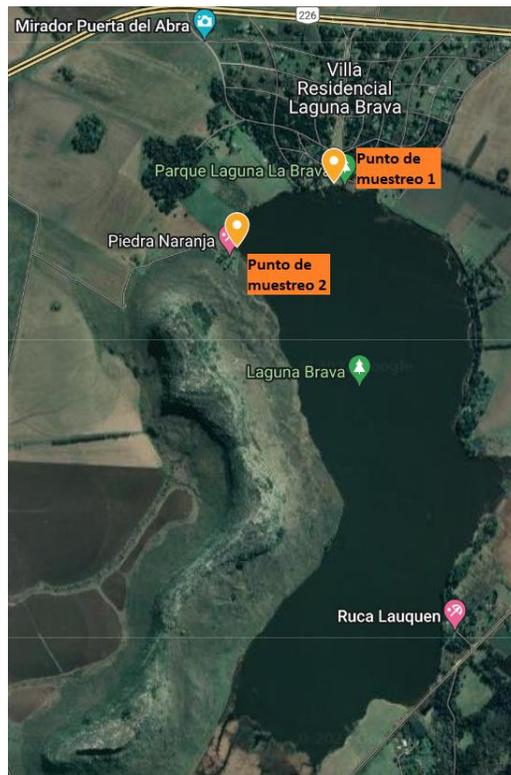


Imagen 6. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo (Fuente: Google Maps, 2022)

De los puntos de muestreo se obtuvieron las muestras de agua (Imagen 7 y 8) y de sedimentos a analizar (Imagen 9).



*Imagen 7. Muestreando agua (1)*



*Imagen 8. Muestreando agua (2)*



*Imagen 9. Muestras húmedas*

#### 4.2. Proceso de secado

Las muestras obtenidas se secaron en estufa a temperatura constante de 105°C por 24 horas (Naser, 2014), adquiriendo una coloración gris. Las muestras se secaron en una estufa Montpellier ESC05A (Imagen 10).



*Imagen 10. Estufa Montpellier ESC05A*

Las muestras secas (Imagen 11) obtenidas se utilizaron posteriormente para los cálculos de la caracterización del suelo y la determinación del pH y de la materia orgánica.



*Imagen 11. Muestras secas*

### 4.3. Análisis físico-químico de los sedimentos

#### 4.3.1. Caracterización del suelo

Para llevar a cabo la caracterización de las muestras de sedimentos se pesaron previamente los vasos de precipitados vacíos con el objetivo de colocar luego en la estufa las muestras dentro de un material termorresistente y conocer el peso resultante de las muestras en estado húmedo y seco mediante la diferencia entre el peso total (vaso de precipitado con la muestra) y el perteneciente al vaso de precipitado. A través del conocimiento de los pesos de las muestras de sedimento en estado húmedo y seco, se pueden llevar a cabo los cálculos pertinentes.

La humedad es definida como la relación entre la masa del agua contenida en la muestra ( $W_w$ ) y la masa total ( $W_t$ ) de muestra de suelo.

$$W = \frac{W_w}{W_t} \quad (4.1)$$

La masa del agua ( $W_w$ ) se calcula como la diferencia entre la masa total del suelo ( $W_t$ ) y la masa del suelo seco ( $W_s$ ).

$$W_w = W_t - W_s \quad (4.2)$$

Para el cálculo del índice de poros, porosidad, densidad natural y densidad seca se considera que el suelo se encuentra saturado, es decir, todos los huecos se encuentran ocupados por agua con una densidad  $\delta_{H_2O} = 1 \text{ g/cm}^3$  y por bibliografía, que  $\delta_{suelo} = 2,7 \text{ g/cm}^3$ .

Al índice de poros ( $e$ ) se lo define como el volumen de huecos ( $V_h$ ) relativo al volumen de sólido ( $V_s$ ).

$$e = \frac{V_h}{V_s} \quad (4.3)$$

Como el sedimento se considera saturado ( $\delta_{H_2O} = 1 \text{ g/cm}^3$ ) se tiene que:

$$V_h = V_w \quad (\text{volumen de huecos} = \text{volumen de agua}) \quad (4.4)$$

Dicho volumen se obtiene:

$$V_h = V_w \quad V_w = \frac{W_w}{\delta_w} \quad (\text{masa de agua/densidad del agua}) \quad (4.5)$$

La porosidad ( $\eta$ ) se determinó teniendo en cuenta los valores medidos en los parámetros anteriores. Se la define como el volumen de huecos ( $V_h$ ) relativo al volumen total ( $V_t$ ).

$$\eta = \frac{V_h}{V_t} \quad (4.6)$$

El volumen total se obtuvo como la suma del volumen de agua y el volumen del sólido:

$$V_t = V_w + V_s \quad (4.7)$$

Con la masa de sedimento utilizada y el volumen de la muestra (calculada con la densidad) se determina la densidad natural ( $\gamma$ ), así como la densidad seca ( $\gamma_s$ ).

La densidad natural se define como peso total ( $W_t$ ) relativo al volumen total ( $V_t$ ) ocupado por esa masa de sedimento.

$$\gamma = \frac{W_t}{V_t} \quad (4.8)$$

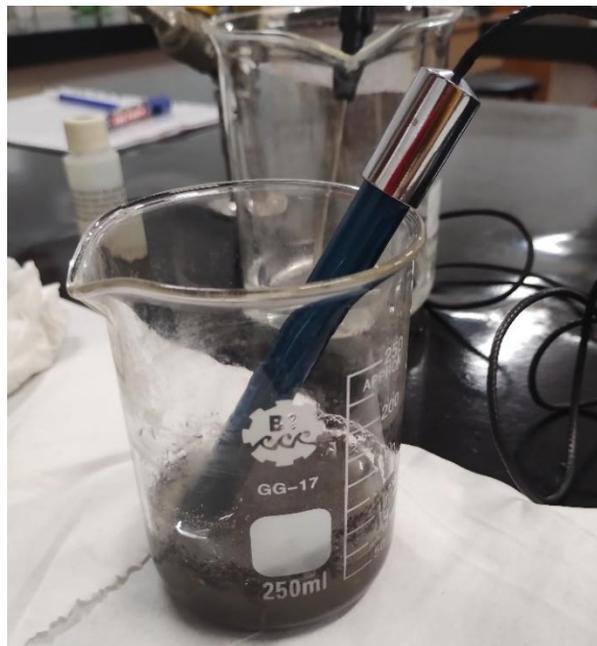
La densidad seca se define como peso de sólido ( $W_s$ ) relativo al volumen total ( $V_t$ ).

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_t} \quad (4.9)$$

#### 4.3.2. Determinación del pH en agua

Para su realización se utiliza un peachímetro HI 8424 el cual se calibró con soluciones buffer de pH 4 y pH 7.

Luego de la calibración, se deben pesar 20 g de sedimento y añadir 50 mL de agua destilada. Se agitan durante 5 minutos con agitador magnético y se deja reposar por 30 minutos. Se introduce el electrodo en la solución preparada para realizar la lectura correspondiente (Imagen 12), agitando antes de la lectura con varilla de vidrio.



*Imagen 12. Medición de pH*

### 4.3.3. Determinación del porcentaje de Materia Orgánica Total en el suelo

#### 4.3.3.1. Volumetría

Se preparó una solución de  $K_2Cr_2O_7$  1 N, para ello se pesaron 2,452 g de dicromato de potasio sólido seco y se diluyó a un volumen total de 50 mL con agua destilada. Se utiliza como indicador la difenilamina, para lo cual se prepara una solución disolviendo 0,05 g de difenilamina en 2 mL de agua destilada y se añade lentamente 10 mL de  $H_2SO_4$  concentrado al 96 %. Por último, se prepara el titulante, el cual es una solución estándar de sal de Mohr 0,5 N, mediante el pesaje y disolución de 19,61 g de  $[Fe(NH_4)_2(SO_4).6H_2O]$  con agua destilada, se añaden 2 mL de  $H_2SO_4$  concentrado al 96 %, se deja enfriar y se afora con agua destilada en un matraz volumétrico de 100 mL.



*Imagen 13. Solución de dicromato de potasio, indicador y titulante*

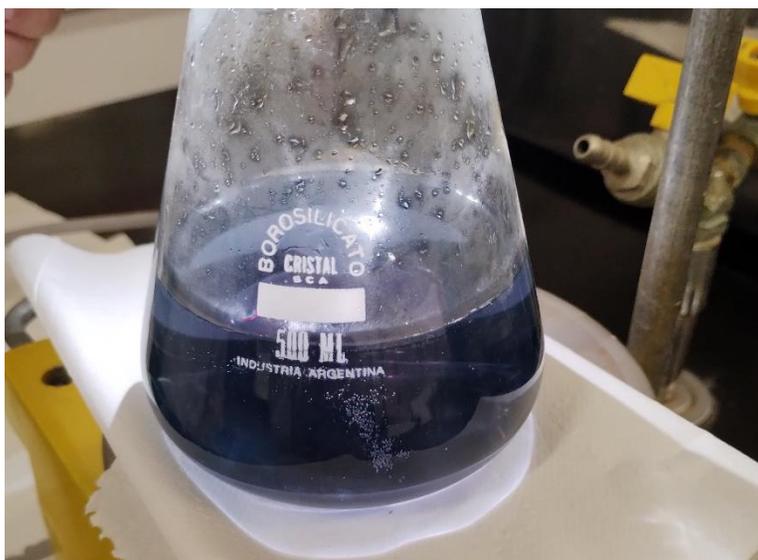
Posteriormente, para cada muestra de suelo ya seco, se pesan 0,5 g de muestra en balanza analítica y se traslada a un matraz Erlenmeyer de 500 mL. Se toman 10 mL de la solución de  $K_2Cr_2O_7$  1 N usando una pipeta volumétrica, se dispensa al Erlenmeyer y se homogeniza. Se toman 20 mL de  $H_2SO_4$  concentrado al 96 % con pipeta volumétrica, se transfiere al Erlenmeyer de 500 mL donde se encuentra la mezcla del suelo con el dicromato y se homogeniza de forma vigorosa, se dejar reposar durante 30 minutos bajo campana extractora de gases. Se prepara un blanco con 10 mL de dicromato y 20 mL de

ácido sulfúrico, procediendo de la misma forma indicada anteriormente. Pasado los 30 minutos, se añaden 200 mL de agua destilada al Erlenmeyer.



*Imagen 14. Muestra 1, 2 y el blanco*

En una bureta se vierte la solución de sal de Mohr, luego se agregan 10 gotas de la solución de difenilamina a cada Erlenmeyer que funcionará como indicador virando de azul a verde. Por último, se procede a la titulación gota a gota, para tomar finalmente el volumen de la solución de sal de Mohr utilizado y realizar los respectivos cálculos, mostrados en el siguiente capítulo.



*Imagen 15. Color azul con el indicador previo a la titulación*



*Imagen 16. Color de viraje final a verde luego de la titulación*

El valor de Carbono Orgánico se calcula mediante la siguiente ecuación (Soil Science Society of America Book Series, 1996).

$$C_{\text{orgánico}} = \frac{(\text{meq Cr}_2\text{O}_7^{2-} - \text{meq Sal de Mohr})}{\text{g Suelo}} \times 0,003 \times 100 \times 1,3 \quad (4.10)$$

Donde:  $\frac{12 \times 10^{-3} \text{ g}}{4 \text{ meq C}} = 0,003 \frac{\text{ g}}{\text{ meq C}}$

Se asume que el 77 % de la materia orgánica es oxidada ( $100/77 \cong 1,3$ ).

Para calcular el porcentaje de materia orgánica total se utiliza un factor de corrección igual a 1,71, asumiendo que la materia orgánica está compuesta aproximadamente en un 58% de carbono orgánico.

$$\% \text{ MO} = \% C_{\text{orgánico}} \times 1,71 \quad (4.11)$$

#### 4.3.3.2. Espectrofotometría UV-visible

Para su realización se utilizó un Espectrofotómetro UV-Visible analógico, modelo Biotraza 722.



*Imagen 17. Espectrofotómetro UV-Visible Biotraza 722*

Se preparó una solución de  $K_2Cr_2O_7$  1 N de la misma manera que para la volumetría y una solución estándar de sacarosa 2,1753 mg C/mL, para ellos se pesaron 0,2583 g de sacarosa y se aforó con agua destilada en un matraz volumétrico de 50 mL.

Para cada muestra de suelo seco, se pesa 1 g y se transfiere a un matraz volumétrico de 50 mL. Luego, se le adicionan 5 mL de  $K_2Cr_2O_7$  1 N y 10 mL de  $H_2SO_4$  concentrado al 96 %, y se afora a 50 mL con agua destilada 30 minutos después. Mientras se esperan esos 30 minutos, se lleva a cabo la determinación de la longitud de onda de trabajo y se prepara la curva de calibración a partir de estándares externos de concentración conocida de carbono (Anexo I). Por último, se filtra la muestra en papel Whatman 40, se agrega el filtrado a la celda y se procede a su lectura.

Se calcula concentración de carbono orgánico mediante la expresión:

$$C_{orgánico}(g/kg) = \frac{\text{Lectura de Absorbancia} - \text{Intercepto de la curva de calibración}}{\text{pendiente de la curva} \times \text{masa de muestra}} \quad (4.12)$$

Para realizar la curva de calibración del método se grafica la absorbancia contra los miligramos de carbono (mg C) y no la concentración, esto con el fin de que los datos que proporcione la curva sean en unidades de medida de mg C/g O g C/kg.

#### 4.4. Determinación de *Microcistina-LR* en el agua

En los mismos puntos de muestreo que se observan en la sección 4.1. se recolectaron 5 muestras, las cuales fueron analizadas por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

La cromatografía es un método físico que consiste en la separación de los componentes de una mezcla debido a la distinta distribución de los mismos entre una fase estacionaria y una móvil. Permite determinar cualitativa y cuantitativamente los compuestos orgánicos en una muestra en concentraciones menores que la ppm (mg/L). El resultado se presenta a través de un gráfico conocido como cromatograma que representa la respuesta del detector en función del tiempo de elución. Los componentes de la mezcla atraviesan la fase estacionaria a distintas velocidades, separándose en bandas que pueden analizarse cualitativa y/o cuantitativamente. Después, los componentes pasan por un detector que genera una señal de acuerdo al tipo de compuesto y/o la concentración. La anchura de los picos es directamente proporcional a la concentración de analitos en la fase móvil. El análisis cualitativo está basado en los tiempos y volúmenes de retención mientras que el análisis cuantitativo se basa en las alturas y áreas de los picos.

El HPLC se caracteriza porque su fase móvil es un líquido que fluye a través de la fase estacionaria gracias al uso de altas presiones. La gran presión permite forzar el paso del disolvente por una columna con partículas muy finas, logrando separaciones de gran resolución.

Se realizó previo a la medición de las muestras una curva de calibración a partir de 5 estándares de concentración de 1, 5, 10, 50 y 100 ppb de *Microcistina-LR*.

# Capítulo 5

## 5. Resultados

### 5.1. Caracterización del suelo

#### 5.1.1. Muestra 1

##### 5.1.1.1. Humedad

La masa de la muestra húmeda pesó 129,2827 g ( $W_t$ ), luego del secado pesó 59,4027 g ( $W_s$ ). La masa del agua es:

$$W_w = 129,2827\text{ g} - 59,4027\text{ g} = 69,88\text{ g} \quad (5.1)$$

Concluimos que la humedad es:

$$W \% = \frac{69,88\text{ g}}{129,2827\text{ g}} \times 100 \% = 54 \% \quad (5.2)$$

##### 5.1.1.2. Índice de poros

Hay que calcular el volumen de huecos y el volumen de sólido. Como ya se expresó anteriormente, se supone que el suelo se encuentra saturado ( $\delta_{H_2O} = 1\text{ g/cm}^3$ ), por lo que:

$$V_h = V_w = 69,88\text{ g} \times \frac{1\text{ cm}^3}{\text{g}} = 69,88\text{ cm}^3 \quad (5.3)$$

Se consideró previamente que  $\delta_{suelo} = 2,7\text{ g/cm}^3$ , por lo que el volumen de sólido queda:

$$V_s = 59,4027\text{ g} \times \frac{1\text{ cm}^3}{2,7\text{ g}} = 22\text{ cm}^3 \quad (5.4)$$

Con lo calculado, obtenemos finalmente el índice de poros:

$$e = \frac{69,88\text{ cm}^3}{22\text{ cm}^3} = 3,176 \quad (5.5)$$

### 5.1.1.3. Porosidad

El volumen total se define como la suma del volumen de agua y el volumen de sólido, obteniendo:

$$V_t = 69,88 \text{ cm}^3 + 22 \text{ cm}^3 = 91,88 \text{ cm}^3 \quad (5.6)$$

Con ello se obtiene una porosidad:

$$\eta \% = \frac{69,88 \text{ cm}^3}{91,88 \text{ cm}^3} \times 100 \% = 76,05 \% \quad (5.7)$$

### 5.1.1.4. Densidad natural

Se define como el peso total relativo al volumen total, obteniendo:

$$\gamma = \frac{129,2827 \text{ g}}{91,88 \text{ cm}^3} = 1,4 \text{ g/cm}^3 \quad (5.8)$$

### 5.1.1.5. Densidad seca

Se define como el peso de sólido relativo al volumen total, obteniendo:

$$\gamma_s = \frac{59,4027 \text{ g}}{91,88 \text{ cm}^3} = 0,646 \text{ g/cm}^3 \quad (5.9)$$

## 5.1.2. Muestra 2

### 5.1.2.1. Humedad

La masa de la muestra húmeda medida fue de 200,1141 g ( $W_t$ ), luego del secado su masa se redujo a 71,7 g ( $W_s$ ). La masa del agua se calcula como:

$$W_w = 200,1141 \text{ g} - 71,7 \text{ g} = 128,4141 \text{ g} \quad (5.10)$$

Concluimos que la humedad es:

$$W \% = \frac{128,4141 \text{ g}}{200,1141 \text{ g}} \times 100 \% = 64,17 \% \quad (5.11)$$

#### 5.1.2.2. Índice de poros

Se necesita calcular el volumen de huecos y el volumen de sólido. Como se indicó anteriormente, se supone que el suelo se encuentra saturado ( $\delta_{H_2O} = 1 \text{ g/cm}^3$ ), por lo que:

$$V_h = V_w = 128,4141 \text{ g} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{\text{g}} = 128,4141 \text{ cm}^3 \quad (5.12)$$

Se consideró previamente que  $\delta_{suelo} = 2,7 \text{ g/cm}^3$ , por lo que el volumen de sólido queda:

$$V_s = 71,7 \text{ g} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{2,7 \text{ g}} = 26,55 \text{ cm}^3 \quad (5.13)$$

Con lo calculado, obtenemos finalmente el índice de poros:

$$e = \frac{128,4141 \text{ cm}^3}{26,55 \text{ cm}^3} = 4,837 \quad (5.14)$$

#### 5.1.2.3. Porosidad

El volumen total se define como la suma del volumen de agua y el volumen de sólido, obteniendo:

$$V_t = 128,4141 \text{ cm}^3 + 26,55 \text{ cm}^3 = 154,9641 \text{ cm}^3 \quad (5.15)$$

Con ello se obtiene una porosidad:

$$\eta \% = \frac{128,4141 \text{ cm}^3}{154,9641 \text{ cm}^3} \times 100 \% = 82,87 \% \quad (5.16)$$

#### 5.1.2.4. Densidad natural

Se define como el peso total relativo al volumen total:

$$\gamma = \frac{200,1141 \text{ g}}{154,9641 \text{ cm}^3} = 1,29 \text{ g/cm}^3 \quad (5.17)$$

#### 5.1.2.5. Densidad seca

Se define como el peso de sólido relativo al volumen total:

$$\gamma_s = \frac{71,7 \text{ g}}{154,9641 \text{ cm}^3} = 0,463 \text{ g/cm}^3 \quad (5.18)$$

#### 5.1.3. Tabla resumen

Los resultados obtenidos se pueden resumir en la siguiente tabla:

Muestras	Humedad (%)	Índice de poros	Porosidad (%)	Densidad natural (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
1	54	3,176	76,05	1,4	0,646
2	64,17	4,837	82,87	1,29	0,463

Tabla 4. Resumen de resultados de la caracterización del suelo

La humedad puede afectar los procesos de biorremediación debido a que, en general, aunque todos los microorganismos necesitan agua para subsistir, debe existir un balance, ya que, si el contenido de agua es muy bajo, la actividad microbiana se detiene, y si es muy alto, disminuye el intercambio gaseoso a través del suelo (Naser, 2014).

Tanto el índice de poros como la porosidad pueden usarse indistintamente, ya que ambos parámetros evalúan el volumen relativo de huecos, aunque sus valores no coinciden. En hidrología, se suele utilizar la porosidad, por ser más sencillo referirse a una determinada cantidad de volumen almacenado en un volumen de medio.

## 5.2. Determinación del pH en agua

Se obtuvo para la muestra 1 un pH de 7,10; mientras que para la muestra 2 un pH de 6,66.

En función de la clasificación de los suelos en función del pH (Tabla 1) se clasifican ambos como neutros. Un pH neutro e incluso cercano a la acidez, proporciona las mejores condiciones de asimilabilidad de nutrientes como nitrógeno y fósforo (Ginés & Mariscal Sancho, 2002).

## 5.3. Determinación del porcentaje de Materia Orgánica Total en el suelo

### 5.3.1. Volumetría

Los volúmenes de titulante utilizados para el blanco y las 2 muestras recolectadas son:

- Volumen del blanco;  $V_b = 22,6 \text{ mL}$
- Volumen para la muestra 1,  $V_1 = 18,5 \text{ mL}$
- Volumen para la muestra 2,  $V_2 = 11,3 \text{ mL}$

#### 5.3.1.1. Muestra 1

$$\text{meq } K_2Cr_2O_7 = 1 \frac{\text{meq}}{\text{mL}} \times 10 \text{ mL} = 10 \text{ meq} \quad (5.19)$$

Los miliequivalentes utilizados para las 3 mediciones son de la misma magnitud ya que a todas las soluciones se les adicionó el mismo volumen de dicromato de potasio (10 mL).

Para calcular los miliequivalentes de sal de Mohr, se debe determinar previamente un factor del sulfato ferroso amónico ( $F_s$ ):

$$F_s = \frac{V_d \times N_d \times F_d}{V_b \times N_s} \quad (5.20)$$

Donde:

$V_d$  = volumen de dicromato de potasio empleado (10 mL)

$N_d$  = normalidad del dicromato de potasio empleado (1 N)

$F_d = 1$ . Corresponde al factor del dicromato de potasio

$N_s$  = normalidad de la sal de Mohr empleada (0,5 N)

De esta forma obtenemos:

$$F_s = \frac{10 \text{ mL} \times 1 \text{ N} \times 1}{22,6 \text{ mL} \times 0,5 \text{ N}} = 0,885 \quad (5.21)$$

El factor de la Sal de Mohr obtenido será el mismo para ambas muestras.

Los miliequivalentes de sal de Mohr se obtendrán del producto entre el volumen utilizado para la titulación de la muestra, su normalidad y el factor obtenido previamente.

$$\text{meq sal de Mohr} = 18,5 \text{ mL} \times 0,5 \text{ N} \times 0,885 = 8,18584 \text{ meq} \quad (5.22)$$

De esta muestra, se pesaron 0,5002 g de suelo seco.

Se calcula el porcentaje de carbono orgánico y de materia orgánica.

$$\% C_{org} = \frac{10 \text{ meq} - 8,18584 \text{ meq}}{0,5002 \text{ g}} \times 0,003 \frac{\text{g}}{\text{meq}} \times 100 \times 1,3 = 1,414478 \% \quad (5.23)$$

$$\% MO = 1,414478 \% \times 1,71 = 2,42 \% \quad (5.24)$$

### 5.3.1.2. Muestra 2

Para titular esta muestra se utilizaron 11,3 mL de titulante, se pesan 0,4999 g de suelo seco. Con estos datos, obtenemos:

$$\text{meq sal de Mohr} = 11,3 \text{ mL} \times 0,5 \text{ N} \times 0,885 = 5 \text{ meq} \quad (5.25)$$

$$\% C_{org} = \frac{10 \text{ meq} - 5 \text{ meq}}{0,4999 \text{ g}} \times 0,003 \frac{\text{g}}{\text{meq}} \times 100 \times 1,3 = 3,9 \% \quad (5.26)$$

$$\% MO = 3,9 \% \times 1,71 = 6,67 \% \quad (5.27)$$

### 5.3.2. Espectrofotometría UV-Visible

La longitud de onda obtenida, para la cual la absorbancia del ácido crómico reducido es la máxima, fue de 600 nm, y luego a esa longitud de onda se realizó la curva de calibración a partir de la preparación de 8 estándares de trabajo (ver Anexo 1).

Curva de calibración obtenida:  $y = 0,0488 x + 0,1464$

Donde “y” representa a la absorbancia, y “x” los miligramos de carbono.

Para la muestra 1 (matraz izquierdo de la imagen 14) se obtuvo una absorbancia de 0,759; mientras que para la 2 (matraz derecho de la imagen 18) es 1,482.



*Imagen 18. Muestras*

Con los resultados de absorbancia obtenidos, no se pudo medir la concentración debido a que los valores de absorbancia de las muestras exceden a los de la curva de calibración. No se pudo extender la curva de calibración o repetir el método por falta de reactivos.

### 5.3.3. Conclusiones de los métodos

Ambos métodos nos permiten identificar y evidenciar el alto grado de eutrofización y de enriquecimiento de materia orgánica que llega a la laguna.

En la volumetría, mediante la utilización de la Tabla 2 para clasificar el suelo en función de la materia orgánica, obtenemos que el suelo extraído del sitio de muestreo 1 es “medianamente rico”, mientras que el 2 es “extremadamente rico”.

En la espectrofometría UV-Visible, también es evidente que el sitio de muestreo 2 está mucho más enriquecido, debido a que posee un gran valor de absorbancia, la cual es directamente proporcional a los miligramos de carbono.



*Imagen 19. Color del suelo seco de ambas muestras*

En la imagen 19 se puede observar que a mayor materia orgánica más negro u oscuro será el suelo.

#### 5.4. Determinación de *Microcistina-LR* en el agua

Se realiza la curva de calibración, al analizar las muestras la concentración de microcistinas fue nula, se observa en la siguiente tabla:

#	Name	Type	Std. Conc	RT	Area	IS Area	Response	Primary Flags	Conc.	%Dev
1	1 Bco microcistina							MM-		
2	2 1 ppb microcist	Standard	1.000	5.88	634.831		634.831	MM	1.0	1.0
3	3 5 ppb microcist	Standard	5.000	5.87	3311.664		3311.664	MM	5.0	-0.6
4	4 10 ppb microcist	Standard	10.000	5.87	6677.680		6677.680	MM	10.0	-0.5
5	5 50 ppb microcist	Standard	50.000	5.87	33740.328		33740.328	MM	50.0	0.0
6	6 100 ppb microcist	Standard	100.000	5.87	67568.031		67568.031	MM	100.1	0.1
7	7 1 microcistina							MM-		
8	8 2 microcistina									
9	9 3 microcistina							MM-		
10	10 4 microcistina									
11	11 5 microcistina							MM-		

Tabla 5. Resultados de la determinación de *Microcistina-LR*

# Capítulo 6

## 6. Gestión del Riesgo

Formular una correcta gestión del riesgo permitirá llevar una propuesta a las autoridades y tomadores de decisiones, lo que se conoce como un plan de gestión de riesgos, el cual es un conjunto coherente y ordenado de estrategias, programas y proyectos, que se formula para orientar las actividades de reducción de riesgos, los preparativos para la atención de emergencias y la recuperación en caso de desastre. Al garantizar condiciones apropiadas de seguridad y disminuir las posibles pérdidas, se mejora la calidad de vida de la población.

Todo proceso de gestión del riesgo cuenta con distintos ítems que se respetan en el presente proyecto final:

1. **Caracterización del riesgo:** nos ayuda a tener un mayor conocimiento del mismo, para luego poder llevar a cabo una correcta gestión del riesgo desde la evaluación hasta la posible remediación. El riesgo se caracterizará (Figura 2) mediante la identificación del peligro, conociendo de manera integral y completa el escenario de exposición, y teniendo en cuenta quiénes serán los expuestos al peligro y qué tan vulnerables son a él. El escenario de exposición será, a su vez, caracterizado en función de la fuente y emisión del peligro, descripción fisicoquímica del sitio, transporte y dispersión.



Figura 2. Pasos para caracterizar el riesgo

2. Evaluación: para llevarla a cabo se debe conocer el proceso a analizar y el objeto bajo riesgo, lo cual se deduce del paso anterior. Esto nos permitirá evaluar la peligrosidad, y el daño o vulnerabilidad. El riesgo depende de la probabilidad de ocurrencia del daño por exposición a un peligro y de la vulnerabilidad de la población expuesta, se obtiene como el producto entre la probabilidad de que ocurra el suceso potencialmente peligroso y el daño, vulnerabilidad o gravedad de las consecuencias.

3. Predicción: está esencialmente referida a la peligrosidad, la idea de la predicción es poder alertar ante un futuro peligro, con el objetivo de tomar todas las medidas de seguridad y prepararnos para afrontarlo con la menor cantidad de pérdidas posibles. Para ello, se debe conocer el sistema y el mecanismo perturbador. En esta etapa, se suelen aplicar modelos matemáticos o solo modelos conceptuales con el objetivo de responder a qué, cuándo y dónde.

4. Prevención: puede realizarse a través de medidas estructurales (prevención estructural) como diques o construcciones antisísmicas, o también por medidas no estructurales (prevención no estructural) como una correcta comunicación del riesgo, ordenamiento territorial y educación. Dentro de la prevención no estructural, se pueden ubicar los sistemas de alerta temprana que mediante el monitoreo continuo de diversos parámetros y su procesamiento permite llevar a cabo pronósticos sobre la acción de un suceso potencialmente peligroso y sus posibles efectos. El objetivo es facultar a las personas de una determinada sociedad que enfrentan una amenaza a que actúen con suficiente tiempo y de modo adecuado con el fin de reducir lesiones personales, pérdidas de vidas y daños a los bienes y el ambiente. Para que su funcionamiento sea exitoso también debe existir una correcta organización ciudadana y una eficaz comunicación de la alarma.

5. Recuperación: comprende lo que es rehabilitación, reconstrucción y/o remediación. Implica cualquier esfuerzo por volver a la situación previa al evento o lo más próximo a ella que sea posible.

## 6.1. Caracterización del Riesgo

### 6.1.1. Identificación del peligro

Mediante la recopilación bibliográfica realizada previamente, se han logrado identificar los siguientes peligros:

- ✓ Mortandad de peces debido a un crecimiento acelerado de la concentración de cianobacterias, y, por lo tanto, de microcistinas. A su vez, esto implica un daño muy grave en el ecosistema acuático en su totalidad.
- ✓ Intoxicación por consumo de pescado proveniente de ambientes límnicos con una concentración de microcistinas mayor a la recomendada por la OMS.
- ✓ Baño recreacional en ambientes límnicos con cianobacterias.
- ✓ Crisis financiera a los sectores de la pesca y la industria del turismo que dependen de la laguna, ya que también provoca un impacto visual.
- ✓ Ingesta de agua con microcistinas.
- ✓ Inhalación de aire humificado con agua con cianotoxinas.

Luego de identificar los peligros principales, el riesgo a analizar será el derivado del peligro de *“Intoxicación por consumo de pescado proveniente de ambientes límnicos con una concentración de microcistinas mayor a la recomendada por la OMS”*.

La elección de este peligro se fundamenta en base al reportado con más casos de intoxicación detectado en laguna La Brava a lo largo de los últimos años.

Las microcistinas son toxinas de naturaleza peptídica e hidrosoluble, son una de las principales responsables de eventos de intoxicación y es donde radica la peligrosidad y el principal riesgo para la salud humana y animal que conllevan los florecimientos cianobacterianos.

Las microcistinas son heptapéptidos cíclicos y comparten un aminoácido característico de estas moléculas denominado ADDA (ácido 3-amino-9-metoxi-2,6,8-trimetil-10-fenildeca-4,6-dienoico) de carácter hidrofóbico y responsable en gran medida de las características tóxicas de la molécula. Existen una gran cantidad de congéneres de microcistinas, que se diferencian en partes variables de la molécula como son ciertos aminoácidos ubicados en determinadas posiciones; mientras que mantienen constantes otras regiones de la misma.

La isoforma de estas toxinas más estudiada es la Microcistina LR (MC-LR) que se diferencia de las demás por tener Leucina (L) en la posición X y Arginina (R) en la posición Y, siendo X e Y las posiciones variables de la molécula (Figura 3).

Los principales productores de estas toxinas son cianobacterias presentes en cuerpos de agua dulce, de los géneros *Microcystis*, *Planktothrix*, *Anabaena*, *Nostoc* y *Snowella*.

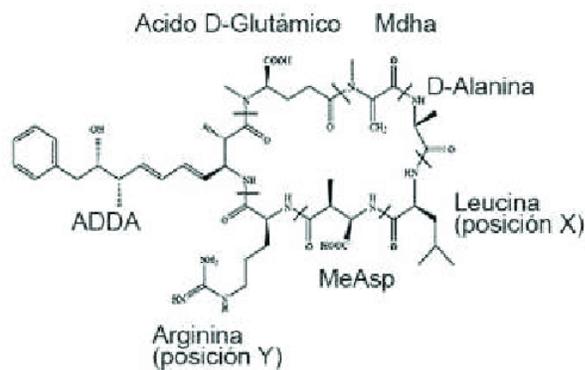


Figura 3. Molécula MC-LR

El peligro identificado es de origen antropogénico, dado por un suceso contaminante, relacionado con la utilización de compuestos que contienen nitrógeno y fósforo, que luego provoca la eutrofización que genera el florecimiento de cianobacterias, productoras de microcistinas que los peces incorporarán a

sus organismos. A su vez, esto se ve potenciado en verano donde la temperatura del agua es mayor, junto con la intensidad de la luz y el aumento de los niveles de dióxido de carbono, producto del cambio climático.

## 6.1.2. Escenario de exposición

### 6.1.2.1. Fuente

La fuente del peligro a evaluar son los peces que estuvieron en contacto con altas concentraciones de microcistinas, ya que tienen la capacidad de bioacumularlas.

A su vez, la causa de la proliferación o floraciones de cianobacterias está dada por un uso excesivo de fertilizantes en los campos aledaños, junto con la escorrentía superficial y las altas temperaturas. En caso de que haya correctas medidas de prevención, concientización y minimización del riesgo, esta causa que es la raíz del problema, podría disminuir y con ello la probabilidad de que el consumo de peces de la laguna produzca efectos dañinos en la salud humana.

### 6.1.2.2. Emisión

La emisión es de forma indirecta y puntual, ya que los peces que provocan intoxicaciones debido a microcistinas provienen de la misma laguna.

Más allá de esto, la emisión será mayor cuanto mayor sea la pesca que lleven a cabo tanto la población local como los turistas.

### 6.1.2.3. Descripción fisicoquímica del sitio

La descripción del área de estudio se encuentra descripta en el capítulo 2 del presente proyecto final.

#### 6.1.2.4. *Transporte y dispersión*

El transporte y dispersión de las cianobacterias y, por lo tanto, de las microcistinas en el ambiente se da en los cuerpos de agua estáticos, como lagos, lagunas y eventualmente orillas de ríos. Luego, estas son absorbidas por los peces a través de las branquias o del epitelio intestinal, por lo que se produce un transporte rápido a través del flujo sanguíneo, distribuyéndose a varios órganos y tejidos, por ello se encuentra mayor distribución de microcistinas en órganos más irrigados como el hígado, riñón, intestino y branquias.

En nuestro riesgo a caracterizar, el transporte y la dispersión del contaminante en el medio socioeconómico estará dado principalmente por toda la pesca y posterior consumo o venta de los pescados. A su vez, el radio de alcance del peligro será mayor cuando el turista provenga de ciudades más alejadas, o el pescado se venda o transporte a otros lugares.

#### 6.1.3. **Receptores, dosis-respuesta y vulnerabilidad**

Los receptores son la población de Balcarce, así como también los pescadores de las ciudades cercanas como Mar del Plata que se dirigen a este sitio para llevar a cabo la pesca tanto para consumo como por recreación. Tanto los pescadores como cualquier consumidor de pescado proveniente de la laguna con alta concentración de microcistinas se considera como un receptor del peligro descrito.

Otros receptores para tener en cuenta son las mascotas, fundamentalmente perros, se han documentado múltiples muertes por la presencia de cianobacterias tóxicas (Cantoral Uriza, Asencio Martínez, & Aboal Sanjurjo, 2017).

En cuanto a la dosis-respuesta, cuando la concentración excede a la recomendada por la OMS, ocurren los primeros indicadores, el más común es la gastroenteritis.

Se consideran más susceptibles al daño aquellas poblaciones de menor nivel socioeconómico y, aún más, si una de sus fuentes de alimentación son los peces provenientes de la laguna.

## 6.2. Evaluación del Riesgo

Una vez identificado y caracterizado el riesgo, junto con la información bibliográfica recopilada, se puede llevar a cabo la evaluación del riesgo que permitirá conocer su relevancia y posteriormente diseñar las estrategias de prevención y minimización adecuadas.

La evaluación del riesgo se lleva a cabo siguiendo los siguientes pasos:

1º Se formula el escenario de riesgo, para el cual se estima la probabilidad de ocurrencia y gravedad de las consecuencias.

2º Se indica la probabilidad de ocurrencia para el escenario formulado en el anterior paso, asignándole una puntuación de 1 a 5 en función de la frecuencia de ocurrencia.

3º Se estima la gravedad de las consecuencias ocasionadas para el escenario formulado en el entorno natural, humano y socioeconómico. A cada entorno también se le asigna una puntuación de 1 a 5 en función de la gravedad que provoque el evento sobre cada entorno.

4º Como se ha dicho, el riesgo es el producto de la probabilidad y la gravedad de las consecuencias, por lo que se obtendrá mediante la combinación de ambos en una matriz de doble entrada para cada entorno.

### 6.2.1. Formulación del escenario

El escenario de riesgo, donde se plantea la probabilidad de que ocurra y la gravedad de las consecuencias, se sintetiza en la siguiente tabla:

Zona	Sustancia	Escenario de riesgo	Causa	Consecuencias
Laguna La Brava	Microcistinas	Consumo de peces	Eutrofización antropogénica	Intoxicación, posible muerte

Tabla 6. Formulación del escenario

### 6.2.2. Estimación de la probabilidad

Se le asigna a nuestro escenario un valor según su probabilidad de ocurrencia, en función de los siguientes criterios:

Valor	Probabilidad	
5	Muy probable	> una vez al mes
4	Altamente probable	> una vez al año y < una vez al mes
3	Probable	> una vez cada 10 años y < una vez al año
2	Posible	> una vez cada 50 años y < una vez cada 10 años
1	Improbable	> una vez cada 50 años

Tabla 7. Valores en función de la probabilidad del peligro

El peligro podemos indicar que no ocurre más de una vez al mes debido a que se produce solo en el verano, pero sí ocurre más de una vez al año, es decir, es altamente probable, por lo que el valor a asignarle es de 4.

### 6.2.3. Estimación de la gravedad de las consecuencias

Se realiza de forma diferenciada para el entorno natural, humano y socioeconómico. Se utilizan para cada uno las siguientes fórmulas:

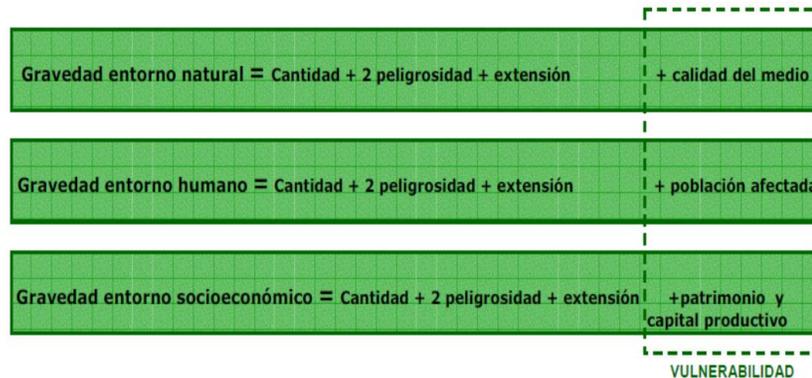


Figura 4. Fórmulas para estimar la gravedad de las consecuencias por entorno

Los criterios tienen los siguientes significados:

- ✓ Cantidad: cantidad de sustancia emitida al entorno.
- ✓ Peligrosidad: se evalúa en función de la peligrosidad intrínseca de la sustancia (toxicidad, posibilidad de acumulación, etc.).
- ✓ Extensión: se refiere al espacio de influencia del impacto en el entorno.
- ✓ Calidad del medio: se considera el impacto y su posibilidad de reversibilidad.
- ✓ Población afectada: número estimado de personas afectadas.
- ✓ Patrimonio y capital productivo: se refiere a la valoración del patrimonio económico y social (infraestructura, activada agraria, espacios naturales protegidos, zonas residenciales y de servicios).

Para cada uno de los escenarios, se le asigna una puntuación total de 1 a 5 en función de la gravedad de las consecuencias, siguiendo la siguiente tabla:

Valor	Valoración	Valor asignado
<b>Crítico</b>	20 - 18	5
<b>Grave</b>	17 - 15	4
<b>Moderado</b>	14 - 11	3
<b>Leve</b>	10 - 8	2
<b>No relevante</b>	7 - 5	1

Tabla 8. Puntuación total en función del valor de gravedad de las consecuencias

### 6.2.3.1. Entorno natural

Se utiliza la siguiente tabla de valores en función de la clasificación de cada criterio:

Valor	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Calidad del medio
4	Muy alta	Muy peligrosa	Muy extenso	Muy elevada
3	Alta	Peligrosa	Extenso	Elevada
2	Poca	Poco peligrosa	Poco extenso	Media
1	Muy poca	No peligrosa	Puntual	Baja

*Tabla 9. Valores para cada criterio en el entorno natural*

Para nuestro caso, consideraremos para cada criterio lo siguiente:

- Cantidad: una concentración de microcistinas que supere el límite establecido por la OMS de 1 µg/L de Microcystin-LR, pero que tampoco sea muy alta, es decir, una cantidad alta.
- Peligrosidad: los principales afectados en el entorno natural son los peces porque tienen la capacidad de absorber las microcistinas y distribuirlas a varios órganos y tejidos, acumulándolas y pudiendo ser transferidas a lo largo de la cadena alimentaria, generando también biomagnificación. Por esta razón, es muy peligrosa la presencia de microcistinas en los ambientes límnicos.
- Extensión: se verá afectada el área delimitada por la laguna, es decir, el impacto tendrá una extensión puntual.
- Calidad del medio: los daños originados son altos, por la bioacumulación y biomagnificación en el ecosistema acuático. Se considerará una calidad del medio elevada.

De esta manera, obtenemos:

Entorno natural						
Escenario de riesgo	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Calidad del medio	Gravedad	Puntuación total
Consumo de peces con microcistinas	3	4	1	3	15	4

*Tabla 10. Gravedad de las consecuencias en el entorno natural*

### 6.2.3.2. Entorno humano

Se utiliza la siguiente tabla de valores en función de la clasificación de cada criterio:

Valor	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Población afectada
4	Muy alta	Muerte o efectos irreversibles	Muy extenso	Más de 100
3	Alta	Daños graves	Extenso	Entre 25 y 100
2	Poca	Daños leves	Poco extenso	Entre 5 y 25
1	Muy poca	Daños muy leves	Puntual	< 5 personas

*Tabla 11. Valores para cada criterio en el entorno humano*

Consideraremos para cada criterio lo siguiente:

- Cantidad: alta, mayor al límite de la OMS.
- Peligrosidad: sabemos por todos los antecedentes previamente mencionados que una concentración superior a la recomendada por la OMS puede ocasionar la muerte.
- Extensión: debido a que estamos considerando el consumo de pescado proveniente de la laguna contaminada con microcistinas, el espacio de influencia del impacto será muy extenso.
- Población afectada: se encentra en función de la cantidad de personas que consuman el pescado proveniente de la laguna, por lo que se puede prever que serán más de 100 personas.

De esta manera, obtenemos:

Entorno humano						
Escenario de riesgo	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Población afectada	Gravedad	Puntuación total
Consumo de peces con microcistinas	3	4	4	4	19	5

*Tabla 12. Gravedad de las consecuencias en el entorno humano*

### 6.2.3.3. Entorno socioeconómico

Se utiliza la siguiente tabla de valores en función de la clasificación de cada criterio:

Valor	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Patrimonio y capital productivo
4	Muy alta	Muy peligrosa	Muy extenso	Muy elevada
3	Alta	Peligrosa	Extenso	Elevada
2	Poca	Poco peligrosa	Poco extenso	Media
1	Muy poca	No peligrosa	Puntual	Baja

Tabla 13. Valores para cada criterio en el entorno socioeconómico

Para cada criterio consideraremos:

- Cantidad: alta, mayor al límite de la OMS.
- Peligrosidad: las microcistinas son muy tóxicas y causan efectos irreversibles, por

lo que se las considera peligrosas para el entorno socioeconómico, ya que provocan gastos en el sistema de salud por las intoxicaciones y, a su vez, su presencia afecta a la economía regional por la prohibición de la pesca.

- Extensión: muy extenso, por lo mismo que en el entorno humano.
- Patrimonio y capital productivo: su impacto en el patrimonio y capital productivo

es bajo.

De esta manera, obtenemos:

Entorno socioeconómico						
Escenario de riesgo	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Patrimonio y capital productivo	Gravedad	Puntuación total
Consumo de peces con microcistinas	3	3	4	1	14	3

Tabla 14. Gravedad de las consecuencias en el entorno socioeconómico

#### 6.2.4. Estimación del Riesgo Ambiental

El riesgo ambiental depende de la probabilidad de ocurrencia del daño y de la gravedad de las consecuencias, por lo que el mismo se obtiene mediante el producto entre la probabilidad y las consecuencias para cada entorno analizado.

Se elaboran tres tablas de doble entrada (una para cada entorno) en la que gráficamente se tiene en cuenta la probabilidad y las consecuencias. La ubicación del escenario en la tabla permitirá emitir un juicio sobre la evaluación del riesgo ambiental y plantear una mejora de la gestión para la reducción del riesgo.

La tabla de doble entrada será del siguiente formato:

		Consecuencias				
		1	2	3	4	5
Probabilidad	1					
	2					
	3					
	4					
	5					

*Tabla 15. Producto entre probabilidad y consecuencias*

Se obtendrá un nivel de riesgo en función del color en el que resulte cada entorno:

	<b>Riesgo muy alto: 21 a 25</b>
	<b>Riesgo alto: 16 a 20</b>
	<b>Riesgo medio: 11 a 15</b>
	<b>Riesgo moderado: 6 a 10</b>
	<b>Riesgo bajo: 1 a 5</b>

*Tabla 16. Riesgo en función del color*

Se considera que urge actuar en el caso de que el riesgo sea muy alto o alto.

En la evaluación realizada, la probabilidad es la misma para los tres entornos, recordemos que su valor asignado es 4.

#### 6.2.4.1. Entorno natural

La puntuación total obtenida en función de la gravedad de las consecuencias es 4.

		Consecuencias				
		1	2	3	4	5
Probabilidad	1					
	2					
	3					
	4				X	
	5					

Tabla 17. Riesgo en el entorno natural

Se obtiene un riesgo alto en el entorno natural.

#### 6.2.4.2. Entorno humano

La puntuación total calculada en función de la gravedad de las consecuencias es 5.

		Consecuencias				
		1	2	3	4	5
Probabilidad	1					
	2					
	3					
	4					X
	5					

Tabla 18. Riesgo en el entorno humano

Se obtiene un riesgo alto en el entorno humano.

### 6.2.4.3. Entorno socioeconómico

Obtuvimos una puntuación total de 3 en función de la gravedad de las consecuencias.

		Consecuencias				
		1	2	3	4	5
Probabilidad	1					
	2					
	3					
	4			X		
	5					

Tabla 19. Riesgo en el entorno socioeconómico

Se obtiene un riesgo medio en el entorno socioeconómico.

### 6.2.5. Conclusión de la evaluación

Se concluye que es prioritario el diseño de estrategias de prevención y minimización de riesgos sobre el entorno natural y humano, durante las épocas de afloramientos de cianobacterias.

## 6.3. Predicción

Bajo determinadas condiciones ambientales, las cianobacterias y las algas eucariotas del fitoplancton pueden aumentar repentinamente su tasa de crecimiento y dar origen a floraciones (Rosso & Gianuzzi, 2017). La eutrofización permite y estimula las floraciones.

Conocer las condiciones bajo las cuales se generan estas floraciones o también llamados “bloom”, nos permitirá poder predecir su aparición y con ello también poder prevenir en la siguiente etapa de la gestión del riesgo.

Las condiciones ambientales más importantes que favorecen el desarrollo de floraciones son la intensidad de la luz, la temperatura, las características hídricas del cuerpo de agua, la estabilidad de la

columna de agua, el pH, los macro y micronutrientes y, por último, los factores antropogénicos, sin descartar otros factores ambientales y biológicos. Estos factores varían en escalas de tiempo diferentes, como ser diarios, estacionales o durante largos períodos de tiempo (Rosso et al., 2017).

A pesar del creciente aumento en los estudios sobre este fenómeno, se desconoce con precisión cuál o cuáles son los factores que desencadena la biosíntesis de toxinas durante una floración.

Para el desarrollo de una floración basta con que estén presentes algunas condiciones favorables que dependen en gran medida de las características naturales del ecosistema.

Los sedimentos actúan como contenedores de nutrientes importantes como es el fosfato. Sin embargo, si las condiciones cambian, los sedimentos pueden también servir como fuentes, al liberar los nutrientes al agua donde pueden estimular el crecimiento de algas y cianobacterias (Rosso et al., 2017).

### 6.3.1. Efectos de las fuentes de luz

La luz presenta un efecto directo sobre el metabolismo de las algas, de modo que al aumentar la energía luminosa se incrementa la actividad fotosintética y la demanda de nutrientes. Se produce entonces, un incremento de la biomasa de las células algales y de la tasa de proliferación. La alta intensidad de la luz ocurre principalmente en primavera y verano, que, asociado generalmente al aumento de la temperatura y la duración del día solar, contribuyen al desarrollo masivo de las algas (Rosso et al., 2017).

Hay algunas especies de cianobacterias que son más sensibles a alta intensidad de luz durante largos períodos de tiempo, mientras que otras son más tolerantes a altas intensidades de luz, como *Microcystis spp* que además sintetizan sustancias fotoprotectoras de la luz ultravioleta como aminoácidos y carotenoides que permiten desviar el exceso de energía (Rosso et al., 2017).

### 6.3.2. Temperatura

La temperatura del agua por encima de los 20°C es una de las condiciones más favorables para el desarrollo de las cianobacterias, ya que incrementa la tasa de crecimiento y proliferación. En medios de cultivo, el máximo de crecimiento se produce generalmente en el rango de temperatura entre 25 y 30°C (Rosso et al., 2017).

Estos efectos se podrían ver potenciados en el contexto del cambio climático global, que al presentarse situaciones extremas de luz y temperatura se consigue la supervivencia y permanencia de las microalgas en los cuerpos de agua (Rosso et al., 2017).

### 6.3.3. Disponibilidad de nutrientes

Las cianobacterias requieren de aproximadamente 20 elementos químicos para la formación de la nueva biomasa, algunos de ellos necesarios en grandes cantidades (H, C, O y N) y otros en cantidades pequeñas (P, S, K, Na, Ca, Mg y Cl). Un conjunto de nutrientes que intervienen en el metabolismo (como por ejemplo la estructura de enzimas) son requeridos en concentraciones traza (Si, Fe, Mn, Mo, Cu, Co, Zn, etc.) (Rosso et al., 2017).

El nitrógeno es un elemento esencial en la composición de aminoácidos, de bases nitrogenadas y de las reservas celulares que se restringen a proteínas ricas en nitrógeno. El fósforo es un componente esencial del metabolismo celular que forma enlaces de alta energía, se libera en reacciones enzimáticas y es un elemento en la estructura de moléculas de ácidos nucleicos y las membranas celulares. Las cianobacterias poseen una gran capacidad de almacenamiento de fósforo, elemento limitante de la producción en sistemas acuáticos continentales (Rosso et al., 2017).

Se ha establecido que además de las cantidades de nitrógeno y fósforo presentes en el ambiente, existen distintas consideraciones referidas a la relación Nitrógeno/Fósforo (N/P) dependiendo del autor.

Relaciones bajas con  $N/P < 10$  indican limitación potencial por nitrógeno, mientras que las relaciones altas de  $N/P > 20$  indican limitación potencial por fósforo (Rosso et al., 2017).

Según Redfield<sup>5</sup>, existe una proporción dada por la relación de elementos mayoritarios, carbono, nitrógeno, fósforo que cuando los nutrientes no son limitantes, la relación molar de los elementos C/N/P en la mayoría de fitoplancton es 106/16/1. Por lo tanto, cuando el suministro de nutrientes desde el ambiente se desvía de esta proporción se produce la deficiencia y posterior limitación del crecimiento celular.

Para Mc Queen y Lean<sup>6</sup> la relación es de 5/1 de N/P, y por debajo de ella no es probable el desarrollo de floraciones masivos de cianobacterias.

Otro posible cociente es de 10-16/1 de N/P que en relación con las algas eucarióticas es de 16-23/1 N/P y muestra que para las primeras las condiciones respecto de los nutrientes son menos exigentes y por ende más favorables<sup>7</sup>.

#### 6.3.4. pH

El pH puede funcionar como otro parámetro que permita predecir los posibles afloramientos de cianobacterias debido a que el aumento en las tasas fotosintéticas provoca que disminuya el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) disuelto en el agua, por lo que el pH aumenta debido a que disminuye el ácido carbónico disuelto. Este aumento de pH genera bicarbonato ( $HCO_3^-$ ), lo que puede provocar la limitación del crecimiento de las cianobacterias ya que solo pueden asimilar  $CO_2$ .

---

<sup>5</sup> Redfield AC. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist*. 1958; 46: 205-222

<sup>6</sup> Vezie C, Rapala J, Vaitomaa J, Seitsonen J, Sivonen K. Effect of nitrogen and phosphorus on growth of toxic and nontoxic *Microcystis* strains and on intracellular microcystin concentrations. *Microbial Ecology*. 2002; 43: 443-454

<sup>7</sup> Aubriot L. Flexibilidad de la cinética de incorporación de fosfato por fitoplancton a las fluctuaciones en el suministro del nutriente. Tesis de Doctorado. PEDECIBA Biología, Opción Ecología. Montevideo, Universidad de la República: 2008; p. 130

Otros factores que también pueden elevar el pH pueden estar dados por las características naturales del sistema, como la presencia de aguas duras.

## 6.4. Prevención

### 6.4.1. Prevención estructural

Si bien la prevención estructural es también efectiva, debemos tener en cuenta que puede causar falsa sensación de seguridad, debido a que puede provocar que las personas no se perciban como vulnerables frente a un determinado peligro.

Las medidas preventivas del tipo estructural para las floraciones de cianobacterias están enfocadas en el control de las entradas puntuales de nutrientes al cuerpo de agua y en la reducción de los mismos, entre las que se pueden nombrar la desviación de aportes directos, mejoramiento del sistema de saneamiento, precipitación del fósforo hacia el sedimento para evitar la disponibilidad de este nutriente, remoción de plantas acuáticas previo a su descomposición con el fin de evitar mayor liberación de nutrientes, evitar cambios en la trama trófica que favorecen las floraciones o modificar la trama trófica para favorecer la eliminación de las cianobacterias o evitar su desaparición, entre otras (Bonilla, 2009).

### 6.4.2. Prevención no estructural

#### 6.4.2.1. *Programas y protocolos de inspección*

Para evaluar los riesgos existentes es necesario la inspección de un sitio y considerar posibles sitios que se pueden ir adicionando, esto debe llevarse a cabo de forma regular a fin de promover medidas correctivas si fuera necesario. El protocolo de inspección de un área recreativa, en términos de riesgos es el siguiente:

1. Determinar qué se va a inspeccionar y con qué frecuencia.
2. Establecer un patrón regular de inspección de las condiciones y controles.
3. Desarrollar una serie de listas de control adecuadas para una fácil aplicación. Las listas deberían reflejar estándares de normas locales y nacionales, cuando las mismas existiesen.
4. Establecer un método para la presentación de informes cuando haya algún equipo de campo defectuoso y hacer un seguimiento de los problemas.
5. El desarrollo de un sistema de información que permita un fácil acceso a las estadísticas sobre "cuándo", "dónde", "por qué" y "cómo", preguntas que necesitan respuestas.
6. Motivar e informar a los participantes del proceso de inspección a través de servicios de entrenamiento.
7. Usar expertos externos para revisar críticamente el alcance, la idoneidad y los métodos usados en el programa de inspección.

La frecuencia de la inspección puede variar según el tamaño de la superficie de las aguas recreativas, el número de características, el uso, la velocidad del cambio de los peligros encontrados y las acciones de remediación en el lugar o en un lugar específico, y el alcance de los incidentes pasados o daños.

Una forma de centralizar la información y tener controlado un gran embalse, lago o río es utilizar un equipo sencillo que permita determinar clorofila "*in situ*" (nos da una idea de la biomasa algal) y luego el envío de los datos a una central que recopile la información.

Las frecuencias en que deben realizar las inspecciones deberían tener en cuenta los períodos de máxima utilización (por ejemplo, la inspección en el momento de tomar medidas correctivas antes de los períodos de mayor uso) y los períodos de mayor riesgo. Los criterios para las inspecciones y las investigaciones pueden variar de país en país (Andrinolo & Ruiz, 2017).

#### 6.4.2.2. Manejo de la información

En las zonas afectadas, es conveniente establecer con anticipación quiénes deben estar informados sobre los eventos relacionados con cianobacterias. En principio los actores fundamentales deben ser los encargados del manejo del riesgo, directores de plantas potabilizadoras, autoridades de salud, directores de hospitales y clínicas, centros de diálisis y médicos en general.

Además de la información contingente, se debe informar y capacitar al personal de salud sobre el diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones, promoviendo la vigilancia de los grupos de personas que podrían estar en riesgo y los procedimientos para la presentación de informes para las autoridades de salud pública.

La información de salud también debe ser puesta a disposición del público en general y para los usuarios de aguas recreativas en particular. La misma puede ser difundida a través de diversos medios, incluidas las escuelas, los avisos en el sitio (cuerpo de agua), los medios de comunicación y folletos específicos (Andrinolo et al., 2017).

Como medida de precaución se recomienda lo siguiente, que debería ser incluido en la información pública:

- Evitar las áreas con concentraciones de algas visibles y/o espumas de algas en el agua como en la orilla.
- Tener en cuenta que el contacto de tipo directo y la ingesta por vía oral de cantidades apreciables de agua, se asocian a un elevado riesgo en salud.
- En la playa, hay que evitar sentarse a sotavento de cualquier material de secado de algas en la orilla, que podrían constituir un aerosol y ser inhalados.
- Si se realiza la práctica de algún deporte como es vela, windsurf o se va a realizar cualquier otra actividad que pueda suponer inmersión en el agua en la presencia de floraciones algales, se recomienda usar ropa que sea ajustada en las aberturas. El uso de trajes de neopreno

para deportes acuáticos puede resultar un mayor riesgo de erupciones, ya que el material de algas en el agua atrapadas en el interior del traje de neopreno se pondrá en contacto con la piel durante largos períodos de tiempo.

- Una vez que la persona salió del agua, se recomienda una ducha o lavarse bien hasta eliminar cualquier material de algas que pudiera quedar adherido.
- Se recomienda lavar y secar toda la ropa y el equipo después de cualquier contacto con las floraciones de algas y la espuma.
- Si los efectos de salud son posteriores al contacto con el agua y dependiendo de los tipos de exposición, se sugiere consultar con un médico. En algunos países, la información sobre floraciones de algas nocivas se distribuye rápidamente a los usuarios del sistema ya sea por teléfono, contestador automático de teléfono, fax, correo electrónico, etc.

#### 6.4.2.3. Sistema de Alerta Temprana

Se puede elaborar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) en función de la finalidad de uso del agua afectada, en el presente proyecto final hacemos alusión a aguas del tipo recreativa, para lo cual se puede elaborar el siguiente Árbol de Decisión:

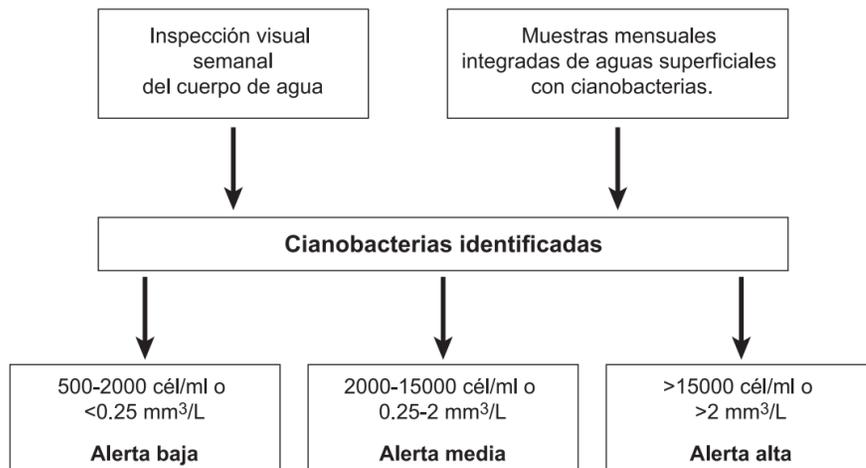


Figura 5. Árbol de Decisión para Agua Recreativa (Andrinolo & Ruiz, 2017)

- Alerta Baja: estas condiciones se presentan con un recuento de fitoplancton entre 500-2000 cél/mL, las cuales normalmente no serían visibles. Aunque existe la posibilidad de un desarrollo rápido de floración, si las condiciones siguen siendo favorables. En el extremo superior de este rango de algunos géneros de algas azul-verdes pueden afectar el sabor y olor del agua.

- Alerta Media: se presenta cuando el recuento de fitoplancton varía entre 2000-15000 cél/mL: Estos números indican que las algas verde azules se pueden multiplicar y el agua puede tener color verdoso y sabor a moho u orgánicos y presencia de olor. Las espumas pueden estar presentes en concentraciones de más de 5000 cél/mL. La Unidad de Salud Pública local debe ser notificada por el oficial encargado de suministros de agua para uso doméstico si los recuentos de células son superiores a 2000 cél/mL y si el agua es usada para consumo humano.

- Alerta Alta: se presenta cuando el recuento de fitoplancton es mayor a 15000 cél/mL: La toxicidad es asumida y el agua se presume no apta para el contacto humano o uso doméstico. El agua es generalmente de color verde con un fuerte olor y sabor a humedad y olor orgánico. Las espumas pueden estar presentes y se movilizan de acuerdo a la dirección del viento (Andrinolo et al., 2017).

Otro esquema es el que sugiere la OMS (Organización Mundial de la Salud) donde establece los niveles y estándares de riesgo a nivel recreativo, usando distintos colores para establecer los riesgos, teniendo en cuenta lo siguiente:

1. Relativamente poco riesgo de efectos nocivos: recuento de fitoplancton 20.000 cél.mL<sup>-1</sup>, 10µg.L<sup>-1</sup> de clorofila-a (Microcystina (MC): 4µg.L<sup>-1</sup>) (Verde)
2. Probabilidad moderada de efectos nocivos: 100.000 cél.mL<sup>-1</sup>, 50µg.L<sup>-1</sup> de clorofila-a (MC: 20 µg.L<sup>-1</sup>) (Amarillo)
3. Alta probabilidad de efectos nocivos: Espumas (Rojo).

A este último esquema se lo conoce justamente como “código semáforo”.

Para esclarecer lo detallado anteriormente se especifican a continuación algunas medidas para el manejo de aguas recreativas en el cuadro siguiente:

Nivel guía o Situación	Riesgo para la Salud	Medidas recomendadas
III- Presencia de acumulaciones de algas en sitios de baño (espumas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intoxicación aguda potencial</li> <li>• Potenciales enfermedades de largo plazo (con algunas especies de cianobacterias).</li> <li>• Efectos adversos de corto plazo (ej: irritación de la piel, problemas gastrointestinales)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acción inmediata para prevenir el contacto con las acumulaciones de algas.</li> <li>• Monitoreo diario de cianobacterias</li> <li>• Investigar sobre la presencia de toxinas</li> <li>• Posible prohibición de actividades de contacto directo.</li> <li>• Información a autoridades de Salud Pública.</li> <li>• Seguimiento de la Salud Pública.</li> <li>• Informar a las plantas potabilizadoras</li> </ul>
II- de Cianobacteria: 100000 cél.ml <sup>-1</sup> Clorofila a: 50µg.L <sup>-1</sup> (con dominancia cianobacterias)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectos adversos de corto plazo (ej: irritación de la piel, problemas gastrointestinales). Probablemente en bajas frecuencias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observar cuidadosamente la formación de acúmulos de algas.</li> <li>• Restringir el uso de las aguas para baño.</li> <li>• Investigar el peligro (identificación y cuantificación de toxinas).</li> <li>• Colocar avisos de riesgo en las playas.</li> <li>• Informar a las autoridades de Salud Pública.</li> <li>• Informar a las Plantas potabilizadoras</li> </ul>
I- Cianobacteria: 20000 cél/ml Clorofila-a: 10µg.L <sup>-1</sup> (con dominancia de cianobacterias)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar avisos sobre el riesgo</li> <li>• Informar a las autoridades de Salud Pública.</li> </ul>

Tabla 20. Medidas recomendadas según niveles de riesgo (Andrinolo & Ruiz, 2017)

## 6.5. Recuperación/remediación

Se espera a que no se llegue a esta última etapa de gestión del riesgo, ya que, además de los efectos que provoca este evento, llevar a cabo la remediación implica un gran gasto económico y se debe realizar con precaución ya que puede llegar a ser peor que la recuperación natural del ecosistema, es decir, sin intervención humana, esto es así porque la liberación de las toxinas se produce cuando ocurre la lisis de las células de las cianobacterias, por lo que la remediación puede promover una gran liberación de toxinas.

En los casos de que las floraciones ya estén establecidas, se pueden implementar distintas medidas de remoción, las cuales pueden ser a través de métodos químicos, mecánicos y/o mediante la remoción de las cianotoxinas extracelulares, como se observa en la siguiente tabla:

Objetivo	Medidas	Objetivo particular
Remoción de las cianobacterias por métodos químicos	Aplicación de herbicidas en etapa temprana o inicial de la floración	Evitar el crecimiento exponencial de la floración. Solo recomendable en floraciones incipientes, previo a la mayor producción de toxinas
	Aplicación de floculantes o coagulantes, como sulfato de aluminio o de cobre	Formar partículas de mayor tamaño para retenerlas en filtros o extraerlas por métodos mecánicos
Remoción de las cianobacterias por métodos mecánicos	Filtración lenta en filtros de arena	Retener las células enteras antes que liberen toxinas. La filtración lenta también la elimina toxinas
	Aspiración del agua por bombeo y traslado (tanques, camiones) a terrenos para secado	Remover las floraciones que se acumulan en superficie o en áreas de exposición de población o de animales (playas, reservas de agua potable, abrevaderos)
	Aislamiento de la zona afectada, mediante la instalación de barreras de contención	Impedir el avance de floraciones hacia zonas de uso en recreación o potabilización. Aplicable a floraciones que se acumulan
Remoción de las cianotoxinas extracelulares	Con métodos de adsorción: carbono activado en polvo o granulado (mayor eficiencia)	Atrapar las moléculas tóxicas (y otras que causan olor o sabor) en las partículas de carbono
	Por métodos de desinfección con ozono, peróxido de hidrógeno en baja concentración, o cloro	Degradar las moléculas de cianotoxinas. Debe controlarse la formación de trihalometanos como residuo de tratamientos con cloro
	Remoción por filtración lenta en filtros de arena	Favorecer la biodegradación de las toxinas en los filtros, con desarrollo de una comunidad microbiana que degrada las toxinas y otros metabolitos disueltos en el agua
	Fotodegradación molecular por radiación UV	Romper las moléculas de las cianotoxinas

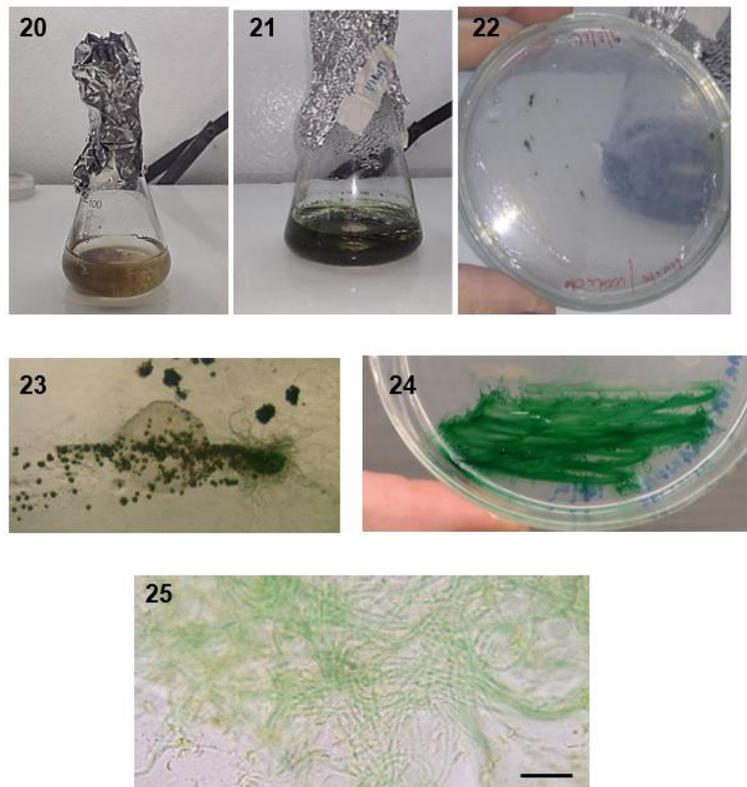
Tabla 21. Medidas aplicadas para la mitigación de floraciones de cianobacterias (Bonilla, 2009)

# Capítulo 7

## 7. Conclusiones y discusión de los resultados

Se concluye que se lograron cumplir con los objetivos propuestos en el presente proyecto final, se ha podido describir el problema en su totalidad y caracterizar el sitio bajo estudio, así como comprobar el alto grado de eutrofización antropogénica que se registró en el segundo sitio de muestreo localizado en unos de los muelles del centro turístico de Piedra Naranja.

Por otra parte, obtener un resultado nulo de concentración de microcistinas en las aguas muestreadas no evidencia la ausencia de cianobacterias en la totalidad del cuerpo de agua, tampoco indica que no puedan desarrollarse en esas condiciones. Por el contrario, se logró llevar a cabo un cultivo de cianobacterias, mediante el aislamiento de las mismas (Imagen 20-25) desde una muestra de agua obtenida del primer sitio de muestreo (Tabla 3 e Imagen 6) en el día 3 de marzo de 2022.



*Imagen 20-25. Aislamiento de cianobacterias*

- 20) *“Las muestras obtenidas fueron cultivadas en medio BG11<sup>8</sup> - referencia - líquido y sólido.*
- 21) *Luego dos repiques al cabo de cuatro semanas se observó el crecimiento de organismos fotosintéticos (crecimiento verde).*
- 22-23) *Los cultivos de la imagen 21 se sub- cultivaron en medio BG11 sólido para comenzar a aislar a las cianobacterias de otros organismos como bacterias, hongos y algas. La imagen 23 corresponde a un acercamiento con lupa de la 22.*
- 24) *Fracción de cianobacterias aislada parcialmente.*
- 25) *Foto con microscopía óptica de cianobacterias aisladas. Género: Oscillatoriales. Barra de escala 10 micrómetros.”<sup>9</sup>*

En cuanto a la gestión del riesgo, la evaluación evidenció la urgencia que requiere la formulación de estrategias de prevención y minimización de riesgos sobre el entorno natural y humano, durante las épocas de afloramientos de cianobacterias. Otra realidad a destacar es que llevar a cabo la remediación de microcistinas luego de que supere la concentración impuesta por la OMS suele ser muy costoso e inviable, por lo que la única forma de reducir el riesgo es prevenir que esto suceda mediante el aumento de la percepción del riesgo que provoca el uso excesivo de fertilizantes y las correctas medidas de gestión del riesgo, incluida la concientización de todos los pescadores y las actividades económicas de la laguna en cuanto a las características visuales que presenta al estar contaminada con cianobacterias. Además, una vez desarrollada la floración, en muchas ocasiones, es una mejor alternativa que el cuerpo de agua se biorremedie naturalmente, ya que la liberación de las toxinas se produce con la rotura o lisis de la célula, por lo que si se desea remediar debe realizarse con extremo cuidado para que la concentración de toxinas no se incremente. Por esta razón, se hace mayor hincapié en la predicción y en la prevención,

---

<sup>8</sup> Especialmente recomendado para el cultivo de cianobacterias, debido a su alta concentración de Nitrato de Sodio, además presenta sales de Calcio, Magnesio, Cobre, Manganeseo, Zinc, Molibdeno, Borato y EDTA. (Leal et al., 2012)

<sup>9</sup> Martín, María Victoria. (2022). Investigadora especialista en cianobacterias del INBIOTEC (Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Biotecnología), Mar del Plata.

especialmente no estructural, y a un correcto sistema de alarma para reducir la cantidad de potenciales casos de cianotoxicidad.

El presente proyecto final invita a todas las autoridades correspondientes a llevar a cabo acciones preventivas, un plan de monitoreo y campañas de concientización para informar acerca del potencial peligro al que se encuentra expuesta la población. Mediante el plan de monitoreo, se pretende que se utilice el sistema de alerta propuesto por la OMS a través del “código semáforo”, se podría proponer el uso de banderines de colores (rojo, amarillo y verde) para comunicarle a los visitantes y pescadores acerca del estado toxicológico de la laguna y al peligro al que se someten en caso de no respetar las medidas.

# Capítulo 8

## 8. Perspectivas abiertas

El presente proyecto final se puede complementar con el análisis de otros parámetros que permitan caracterizar mejor el ambiente bajo estudio, con el fin de obtener nueva información y conclusiones, o comprobar suposiciones realizadas. Por ejemplo, se puede llevar a cabo la clasificación de la laguna en función de su nivel o grado de eutrofización (Tabla 22).

Ambientes acuáticos	Características	Ejemplos
Oligotrófico	Agua clara, baja concentración de nutrientes, poco desarrollo planctónico, baja productividad, pocas plantas acuáticas, elevada concentración de oxígeno disuelto, poca perturbación.	Lagos de los Andes Patagónicos
Mesotrófico	Moderado enriquecimiento de nutrientes y crecimiento planctónico, escasa acumulación de sedimentos en la mayor parte del fondo.	Lagos y embalses de la Planicie Patagónica
Eutrófico	Elevado enriquecimiento de nutrientes, alta productividad en relación a las condiciones naturales, baja transparencia, extensas áreas cubiertas con plantas acuáticas, gran acumulación de sedimentos en el fondo, bajos niveles de oxígeno disuelto en el fondo, interferencias en los usos múltiples del agua.	Laguna del Monte (Buenos Aires), zona costera del Río de la Plata.
Hipereutrófico	Cuerpos de agua significativamente afectados por las elevadas concentraciones de materia orgánica y nutrientes, floraciones de algas, mortandad de peces, con limitaciones en sus usos.	Río Salado, lagunas de la región pampeanas.

Tabla 22. Clasificación de los ambientes acuáticos en función de su eutrofización (Rosso & Gianuzzi, 2017)

Para ello, Carlson<sup>10</sup> (1977) propuso lo que se conoce como Índice del Estado Trófico (IET o TSI), el cual es uno de los más utilizados, sus valores varían entre 0 y 100, y permite clasificar a los ambientes en función de su eutrofización. Se puede calcular de tres maneras: a través de la transparencia mediante el uso de un disco de Secchi (DS), o a partir de la concentración de clorofila *a* (Clorf *a*) o mediante la determinación del fósforo total ( $P_t$ ).

Las fórmulas que figuran en la siguiente tabla corresponden a la propuesta de Carlson (1977) y a la modificación realizada por Aizaki *et al.*<sup>11</sup> (1981).

<sup>10</sup> Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369

<sup>11</sup> Aizaki, M. O. Otsuki, M. Fukushima, M. Hosomi and Muraoka. (1981). Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters. *Verh. Internat. Verein Limnol.* 21:675-681.

Parámetro de eutrofización	Carlson (1977; 1980)	Aizaki <i>et al.</i> (1981)
Claridad del agua ( $D_s$ )(m)	$TSI_{D_s} = 60 - 14.41Ln(D_s)$	$TSI_{D_s} = 10 \times (2.46 + \frac{3.76-1.57Ln(D_s)}{Ln2.5})$
Fosforo total ( $P_t$ ) (mg/l)	$TSI_{P_t} = 14.42Ln(P_t) + 4.15$	$TSI_{P_t} = 10 \times (2.46 + \frac{6.68-1.15Ln(P_t)}{Ln2.5})$
Clorofila a (Clorf a) (mg/m <sup>3</sup> )	$TSI_{Clorf a} = 9.81Ln(Clorf a) + 30.6$	$TSI_{Clorf a} = 10 \times (2.46 + \frac{Ln(Clorf a)}{Ln2.5})$

Tabla 23. Fórmulas para estimar el estado trófico

En función del valor obtenido del IET o TSI, se podrá determinar el estado de eutrofia de la laguna mediante el uso de la siguiente tabla:

Estado de eutrofia	TSI	$D_s$ (m)	$P_t$ (mg/m <sup>3</sup> )	Clorf a (mg/m <sup>3</sup> )
Oligotrófico (TSI < 30)	0	64	0.75	0.04
	10	32	1.5	0.12
	20	16	3	0.34
	30	8	6	0.94
Mesotrófico (30 < TSI < 60)	40	4	12	2.6
	50	2	24	6.4
	60	1	48	20
Eutrófico (60 < TSI < 90)	70	0.5	96	56
	80	0.25	192	154
	90	0.12	384	427
Hipereutrófico (90 < TSI < 100)	100	0.06	768	1183
Relación de los parámetros de eutrofización.		$\frac{TSI_{D_s}}{2}$	$2 \times TSI_{P_t}$	$\sqrt{7.8TSI_{Clorf a}}$

Tabla 24. Escala de valores del estado trófico

Se puede realizar la medición del índice de forma periódica durante la estación de verano, como una forma de monitoreo que permita realizar un seguimiento continuo del grado de eutrofización de la laguna.

Por otro lado, se invita a que se continúen realizando jornadas de diálogo con la comunidad local, y talleres de discusión sobre las principales características y problemáticas asociadas a la conservación y el uso sustentable de la laguna. También se pueden diseñar carteleras y documentos que informen sintéticamente a la población acerca de qué son las cianobacterias y su prevención de riesgos por contacto con ellas, así como un código semáforo que muestre imágenes sobre el aspecto del agua en distintos niveles de contaminación y las precauciones de uso en cada uno.

## Bibliografía

- Alcántar, G., Etchevers, B. J. D., & Aguilar, S. A. (1992). Los Análisis Físicos y Químicos, su aplicación en agronomía. *Editorial Trillas, DF México*.
- Andrinolo, D., & Sedan, D. (2017). Cianobacterias y Cianotoxinas. Efectos en la salud humana. Casos informados y primeros acercamientos al estudio epidemiológico. *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud* (67-78). Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Andrinolo, D., & Ruiz, M. (2017). Manejo y control de cianobacterias en lagos, reservorios y ríos. Alertas. *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud* (111-124). Argentina: Buenos Aires.
- Bonilla, S. (2009). Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión. *Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe*.
- Cantoral Uriza, E. A., Asencio Martínez, A. D., & Aboal Sanjurjo, M. (2017). Cianotoxinas: efectos ambientales y sanitarios. Medidas de prevención. *Hidrobiológica*, 27(2), 241-251.
- Chapa Balcorta, C., & Guerrero Arenas, R. (2010). Eutrofización: Abundancia que mata. *Revista Como ves*, 134, 22-25.
- Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires. Fundamentos de la Ley 15.095.
- De Marco, S. Comunicación personal. 7 de enero de 2022.
- Dirección de Turismo de Balcarce. Laguna La Brava – Balcarce. Extraído de <https://www.buenosaires.travel/laguna-la-brava-balcarce/> (consultado diciembre 2021).
- FAO. (2002). *Los Fertilizantes y Su USO una Guía de Bolsillo para los Oficiales de Extensión*. Food & Agriculture Org.
- Foth H.D. (1997). Fundamento de la ciencia del suelo. 7ª Edición. Editorial CECSA. México.

- Franco, D. P. M., Manzano, J. Q., & Cuevas, A. L. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*, 78(1), 25-33.
- García, S. I. (2009). Cianobacterias y cianotoxinas, impactos sobre la salud humana. *Obtenido de [www.ataonline.org:http://www.ataonline.org.ar/bibliotecavirtual/documentos/utiles/Cianobacterias\\_y\\_Cianotoxinas.pdf](http://www.ataonline.org:http://www.ataonline.org.ar/bibliotecavirtual/documentos/utiles/Cianobacterias_y_Cianotoxinas.pdf)*.
- Ginés, I., & Mariscal Sancho, I. D. L. (2002). Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo.
- Guamán, C. A. (2018). Validación del método para determinar materia orgánica en el suelo por la técnica de Walkley And Black. *Ecuador: Universidad de Cuenca*.
- Labra, O. (2013). Positivismo y Constructivismo: Un análisis para la investigación social. *Rumbos TS. Un espacio crítico para la reflexión en Ciencias Sociales*, (7), 12-21.
- Leal, M., Ortiz, N., Mora, R., Ruiz, G., & Perona, E. (2012). Caracterización de la Cianobacteria *Pseudanabaena galeata* a diferentes condiciones de cultivo. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 35(3).
- López Ritas, J., & López Mérida, J. (1990). El diagnóstico de suelos y plantas (métodos de campo y laboratorio). *Ediciones Mundi-Prensa, Madrid*.
- López, M. P. (2009). Los sedimentos y su incidencia en la eutrofización de los embalses. Caso del Río Lozoya. *Ingeniería del agua*, 16(4), 273-283.
- López, W. G. A., & Andrus, R. F. (2011). LA CONTAMINACIÓN POR CIANOBACTERIAS DEL LAGO DE ATITLÁN.
- Luna, L. M. G., Díaz, B. Á., & Tito, J. C. R. (2010). Riesgo de contaminación con cianobacterias en tres embalses de agua de Santiago de Cuba. *Medisan*, 14(2), 175-183.
- Moreno Otero, H. (1953). Estudio sobre la Definición de algunos términos geográficos: Lago y Laguna. *Sociedad Geográfica de Colombia*.

- Naser, M. (2014). Caracterización de sedimentos del cauce del Arroyo Sarandí en el tramo rectificado a cielo abierto y en su desembocadura en el Río de la Plata. *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Avellaneda*.
- Ortiz, V. B., & Ortiz, C. A. (1990). Edafología. *Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Suelos*, 148-150.
- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de iniciación científica, 4*, 101-105.
- Romero, M. C. Ley 12.704: Paisajes y Espacios Verdes Protegidos en la Provincia de Buenos Aires. Cátedra I Derecho Agrario, Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de la UNLP. La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Rosso, L., & Gianuzzi, L. (2017). Factores ambientales y antropogénicos que afectan la formación de floraciones de cianobacterias y cianotoxinas. *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud (79-93)*. Argentina: Buenos Aires.
- Senado y Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires. Sanción de la Ley 15.095. La Plata, 18 de diciembre de 2018.
- Tomas, M., Farenga, M., Bernasconi, M. V., Martínez, G., Massone, H., Cabria, F., ... & Salgado, P. (2005). Atlas digital del Partido de Balcarce Provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Revista Cartográfica, (80-81)*, 91-102.
- Vicente Ávila, F. J. (2017). Las lagunas del Derecho.
0223. (26 de abril, 2018). *Aconsejan no consumir peces de la laguna "Brava."* 0223.com.ar; 0223. <https://www.0223.com.ar/nota/2018-4-25-22-50-0-aconsejan-no-consumir-peces-de-la-laguna-brava>

## Anexo 1

Determinación de la longitud de onda de trabajo:

Se debe verificar a partir de la solución patrón, el cual será la longitud de onda de trabajo, para ello se realiza una gráfica con la lectura de absorbancia vs. longitud de onda y, obtener el máximo de absorbancia, una vez obtenido este valor se tiene la longitud de onda de trabajo;

Obtención del espectro de absorbancia:

a) Preparar una disolución de solución patrón para ello, con una pipeta graduada, tomar 1 mL de la disolución y verterlo en un vaso de precipitado de 100 mL. Añadir poco a poco, y agitar cuidadosamente, agua destilada.

b) Con la disolución preparada se obtendrá el espectro de absorción como sigue:

1. Encender el equipo y dejar que se estabilice durante 10-15 minutos, verificar las indicaciones provistas por el manual.
2. Colocar a 0 en transmitancia.
3. Introducir el blanco (agua destilada)
4. Colocar a 100 en transmitancia.
5. Introducir la dilución y anotar el valor de la absorbancia.
6. Medir en el rango de longitud de absorbancia, con intervalos de 5 entre 560 nm y 620 nm

Se realiza una determinación en el rango de trabajo del espectro, dentro de los datos bibliográficos se obtiene un rango de trabajo entre [580 – 620] nm para el ácido crómico reducido de una solución de sacarosa, obteniéndose el espectro que se indica en la figura 6.

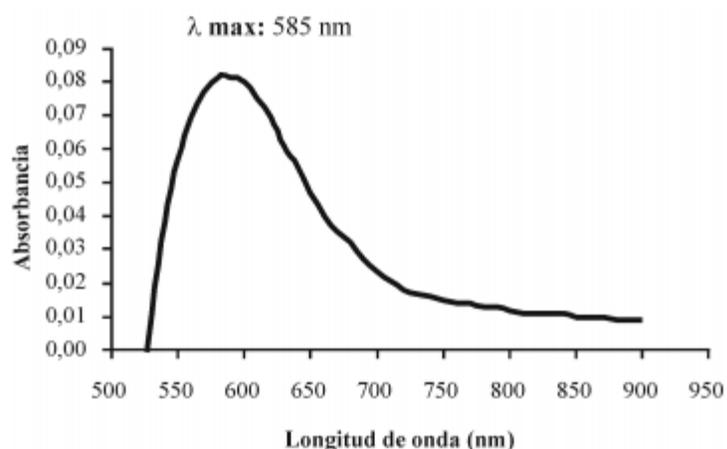


Figura 6. Espectro de absorción del ácido crómico reducido

Se obtuvieron los siguientes valores de absorbancia variando la longitud de onda de 10 en 10, desde 560 a 620 nm.

Longitud de onda (nm)	Absorbancia
560	0,489
570	0,567
580	0,604
590	0,627
600	0,0641
610	0,608
620	0,563

Tabla 25. Valores de absorbancia a diferentes longitudes de onda

Se obtiene que la absorbancia más alta se da a los 600 nm de longitud de onda.

Cálculo para la preparación de la solución estándar de sacarosa 2.1753 mg C/mL:

La solución estándar cuya concentración es de 2.1753 se prepara a partir de sacarosa en un volumen de 50 mL.

Para calcular los mg de carbono que tiene una concentración de 2.1753 mg C/mL se multiplica por 50 mL, el cual es el volumen que pertenece al matraz aforado en la cual se prepara la solución, esto permite obtener la masa de carbono que hay en la solución, este procedimiento se realizó para toda las concentraciones de los estándares para obtener la cantidad de carbono en miligramos (mg), esto con el

objetivo de graficar la absorbancia con la masa de carbón calculada y no con la concentración, así se obtiene los resultados en unidades de medida de mg C/g lo cual equivale a g/kg C.

$$m_{sacarosa} = \frac{2,1753 \text{ mgC}}{\text{mL}} \times \frac{342,2824 \text{ g Sac}}{1 \text{ mmol Sac}} \times \frac{1 \text{ mmol Sac}}{144115,2 \text{ mgC}} \times 50 \text{ mL}$$

$$m_{sacarosa} = 0,2583 \text{ g Sac}$$

$$m_{carbono} = \frac{2,1753 \text{ mgC}}{\text{mL}} \times 50 \text{ mL} = 108,7650 \text{ mg C}$$

Preparación de la curva de calibración a partir de estándares externos de concentración conocida de carbono:

Se calcula la masa de C de la solución de sacarosa, obteniendo una concentración de la solución stock de 108.76 mg de C.

1. Se preparan ocho estándares de trabajo, en los que se añaden alícuotas de la solución estándar de sacarosa y se transfirieren a matraces volumétricos de 50 mL.

2. Se adicionan 5 mL de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  1 N con una pipeta volumétrica de 5 mL, se homogeniza lentamente durante 10 segundos.

3. Se adicionan 10 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  96% con una pipeta volumétrica de 10 mL, se homogeniza lentamente durante 20 segundos y se deja reposar por 30 minutos.

4. Después de transcurrido los 30 minutos, se aforan los matraces volumétricos de 50 mL homogenizando continuamente, se observará la secuencia de colores que van de amarillo (estándar 1) hasta verde (estándar 8).

5. Una vez finalizado el paso anterior, se procede a leer la absorbancia de la preparación a una longitud de onda previamente determinada.

Para realizar la curva de calibración del método se debe graficar la absorbancia contra los miligramos de carbono, esto con el fin de que los datos que proporcione la curva sean en unidades de medida de miligramos de carbono en un gramo de suelo (mg C/g)

Estándares	mg C/mL	mg C	Alicuota a tomar (mL)	Absorbancia
1	0	0	0	0,011
2	0,02175	1,0877	0,5	0,132
3	0,04351	2,1753	1	0,263
4	0,087	4,3506	2	0,483
5	0,13052	6,5259	3	0,645
6	0,174	8,7012	4	0,638
7	0,21753	10,8765	5	0,637
8	0,26104	13,0518	6	0,6443

Tabla 26. Estándares de trabajo y sus absorbancias



Imagen 20. Colorimetría de los estándares

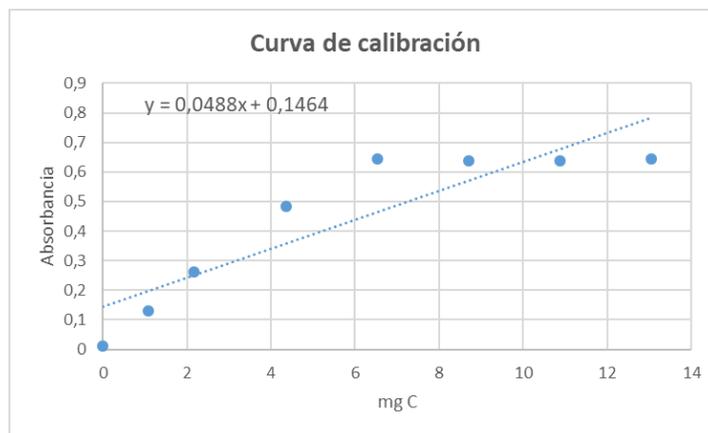


Figura 7. Curva de calibración

## Anexo 2 - Entrevista a los dueños de Piedra Naranja

Se realizó una entrevista virtual vía Zoom el día viernes 2 de septiembre de 2022 a los dueños de Piedra Naranja, llamados Nadia Beilinson y Carlos Kiricos, el cual es un centro turístico sustentable localizado en una de las orillas de la laguna (se puede observar su localización en la Imagen 2). Luego de la entrevista, se realizó la transcripción de la misma, la cual se puede leer a continuación.

Leandro: *“La presente entrevista se encuentra enmarcada en el desarrollo de mi proyecto final de ingeniería ambiental donde realizo una gestión del riesgo de la contaminación de cianobacterias en la laguna. Para empezar, me gustaría conocer más acerca de la historia de Piedra Naranja.”*

Nadia: *“Nosotros [Nadia y Carlos] empezamos con el emprendimiento en el 2005-2006, lo que hicimos fue una propuesta de pasar de lo que era una explotación agropecuaria tradicional a una explotación de lo que es turismo sustentable. Todo el complejo funciona con energía solar, tenemos plantas de tratamiento de las aguas grises, termotanques solares, plantas de biogás, la huerta orgánica, el compost; siempre hacemos acá la charla con grupos de escuelas o familias mostrando como todo el círculo que se hace desde uno lo que puede tomar de la huerta, los desperdicios orgánicos que una parte van al biogás y otra parte al compost, y después como esa tierra nuevamente vuelve a la huerta, y que de esa manera como uno contribuye a disminuir la huella de carbono, así que hablamos siempre todos estos temas, y también estamos muy contentos porque nuestra emisión de dióxido de carbono es mínima. Después todas las actividades que ofrecemos son de bajo impacto, no hacemos ninguna actividad con motor, son caminatas en la sierra, actividad escalada, rapel, tirolesa, parapente, kayak, bicicleta; y siempre también en la sierra hacer uso de un único sendero para causar el menor impacto posible en la flora y fauna del lugar. Lo que vimos todos estos años es como se recuperó el pastizal pampeano, como también gran parte de la vegetación autóctona se recuperó, y con eso la cantidad de pájaros que se pueden observar, hay gente que viene también a hacer avistaje de aves. Logramos también que se preserve al área*

*de la orilla de la laguna que es donde mayor biodiversidad hay, y que por ese sector que no se circule con vehículos, que se cuide, es como que toda esa parte la tenemos muy bien cuidada también. El tema de las cianobacterias sí, a lo largo de los años hemos visto que hay momentos en los que proliferan, por lo general nosotros lo que vimos al volar en parapente son las manchas, que muchas veces coincide cuando hay grandes sequías y que a lo que más afecta es al pejerrey, el bagre y el dientudo sigue habiendo, pero bueno, el pejerrey que es introducido es como lo más sensible y en seguida se ve afectado, y es como lo que causa mucha impresión. También se siente ese olor fuerte característico, y a nosotros siempre nos pasa que cuando nadamos en la laguna y vemos esa mancha verde nos da un poco de cosa.”*

*Marita: “¿Al pejerrey se le pega en la piel, o muere directamente el pez? ¿Ustedes aprecian cómo se afecta a la pesca del pejerrey?”*

*Nadia: “Nosotros no pescamos, sí lo que vemos es que el pez aparece muerto, pero no se lo ve verde, se lo ve muerto. Lo que nos habían explicado unos biólogos que estuvieron es que por la falta de oxígeno es por lo que muere. Lo que dicen los que comen pejerrey es que el olor y el sabor son diferentes, y recomiendan no consumirlo en esas condiciones, cuando hay muchas cianobacterias.”*

*Leandro: “¿Ustedes ven que las personas son conscientes, los pescadores, sobre todo, acerca del consumo de los pescados en estas condiciones?”*

*Nadia: “Sí, es como que ya pasa con el olor que provoca un cierto rechazo, ya sentís que no es lo mismo. Eventos de intoxicación de la gente que haya comido estos pescados no hemos escuchado nunca, pero, de hecho, no lo consumen. Nosotros veíamos en momentos de muchas cianobacterias que igual en otros campos que hay vacas como que la vaca seguía tomando agua, o cuando teníamos caballos, que ya no tenemos más, nosotros no les dábamos agua aparte, tomaban agua únicamente de la laguna, y no dejan de hacerlo, entonces no sabemos bien eso cómo funciona, es como que particularmente se ve afectada la población del pejerrey y se siente el olor muy fuerte, y el color como si hubieran tirado latas de pintura. Después, por ejemplo, acá cuando se meten y nadan tampoco hemos visto nada de*

*descompostura en gente metiéndose cuando hay cianobacterias, pero bueno, no sé, desconozco por ahí el después. Nosotros viviendo acá lo que sí notamos es eso, lo del olor, el color, que uno por ahí ya para meterte a nadar esquivas donde está la mancha, o te metes más en el medio de la laguna tirándote del kayak.”*

*Marita: “¿Se meten con traje o lo hacen sin nada?”*

*Nadia: “No, sin nada, nadamos únicamente con traje de baño.”*

*Leandro: “¿No les generó nunca dermatitis ni nada en la piel?”*

*Nadia: “No, nada, lo que sí el año pasado o el anterior había salido un comunicado del club de pesca sugiriendo a la gente, además de no consumir el pejerrey, que intentaran no bañarse en el lugar donde veían mayor cantidad de cianobacterias.”*

*Leandro: “¿A ustedes les impacta esto de las cianobacterias en cuanto a la gente que va a recorrer a la laguna, capaz que cuando hay floraciones va menos gente, o no sucede así?”*

*Nadia: “No, no lo hemos notado eso, es más, de hecho, nosotros les contamos qué es, cuando uno ve lo verde. También en otras lagunas del país ya pasó este mismo episodio, como últimamente en el Lago San Roque de Córdoba, donde han ido los medios. Lo que no sabemos es si esta proliferación tiene que ver con algo de los cultivos, nosotros siempre notamos como que hace mucho calor, comienzan esas olas de calor, y hay sequías, y comienzan a notarse más.”*

*Leandro: “Cuando hace mucho calor, ¿saben si se combina con mucha producción agrícola y un mayor uso de fertilizantes? Tal vez tienen contacto con los dueños de grandes hectáreas.”*

*Nadia: “Eso no lo sabemos. Hay un arroyo que le aporta agua a la laguna, el Arroyo El Peligro, no sabemos bien el uso de fertilizantes que realizan los campos de alrededor a ese arroyo, y, mismo el tema del kiwi, pero nosotros no podemos realizar una apreciación para saber si tiene que ver o no. Me acuerdo que en 1997-1998, cuando yo venía a volar en parapente desde capital, la ropa de la mochila cuando llegaba a capital tenía olor a las cianobacterias, que me llamaba la atención eso. Aumentó muchísimo*

*desde esa época también lo que es la producción del kiwi, entonces no sé si relaciona o no, porque esto fue anterior. También no sé si el calentamiento global de alguna manera influye.”*

*Leandro: “Sí, los dos causantes principales son el calentamiento global y la llegada de los fertilizantes por escorrentía superficial a la laguna.”*

*Carlos: “Lo que yo te puedo asegurar, que miro el pronóstico muy sigilosamente desde hace muchísimos años por el tema de que vuelo en parapente hace 30 años, que jamás hubo episodios como en los veranos de ahora de tener varios días por encima de 35 grados, eso no pasaba antes, un día de 36 o 37 grados era un evento muy aislado, pero ahora vos tenés días y semanas que te puede pasar la temperatura por encima de 35 grados y con muy bajo viento, y ahí es donde yo veo que puede ser que prolifere un poquito más las cianobacterias. El calentamiento global para mí evidentemente tiene mucho que ver, porque esos episodios de tanto calor acá en Balcarce no los vivíamos, lo pueden ver en la estadística de temperatura, no había nunca una semana por encima de los 37 grados, eso es desde ahora, desde los últimos 10 o 12 años. La persistencia del calor y el poco viento es lo que aumenta la proliferación, porque las cianobacterias estuvieron siempre. Recuerdo que antes dejaban sembrar papa al lado de la laguna, y la papa lleva un montón de fertilizante, te llueven 100 milímetros y lo tenés adentro de la laguna, eso no lo ves tanto ahora, pero sí lo que veo son estos episodios muy largos de calor que a mí me llaman la atención, que me acuerdo como era el clima anteriormente, y lo podes ver en la estadística de cualquier lugar que haga un seguimiento del clima, que una semana, 5 o 4 días de 37 grados seguidos es anormal, no se veía antes, acá en el verano no se veía.*

*Marita: “¿Tuvieron este verano bastantes floraciones de cianobacterias? Porque nosotros llevamos muestras de agua a dos lugares distintos, en uno dió como que no había, pero en el otro sí hubo floración de las muestras que **habíamos tomado con ustedes en el verano, y eso que la tuvimos en heladera, pensamos que después no íbamos a encontrar y, sin embargo, sí, aparecieron.** ¿Ustedes este verano notaron mucha presencia de floración?”*

Carlos: *"No hubo tanto, no vimos tanto"*

Nadia: *"O sea, hubo, pero no tanto. Se notaron en ese momento que sucedió la ola de calor."*

Carlos: *"Con la ola de calor se potenció un poco, pero después se dieron condiciones favorables y se normalizó."*

Nadia: *"Igual es como muy claro que de repente, según de dónde viene el viento, se queda como localizada en algunos sectores, y vas a otras partes de la laguna y no se ven. Por eso por ahí para la muestra te puede pasar que en un lugar aparezca que no haya y que en otro esté concentrado, pero es como que de repente cambia el viento y mueve toda esa mancha verde para otro lugar de la laguna. En el noventa y pico, bajábamos de la sierra y tomaba agua directamente de la laguna, hoy no me animó a hacerlo, pero lo hacía."*

Carlos: *"Cuando nosotros hacemos actividad física siempre estamos tragando agua, yo navego, y hacemos kite surf, siempre estás tragando agua, pero nunca tuve un episodio de descompostura, nunca, y me meto mucho en el agua. Hay momentos en los que lo ves mucho más fuerte, pero sí, claramente tiene que ver con el calor, vos miras ahora la laguna y está toda entera, hermosa. Si medís, tal vez algo te debe dar de cianobacterias, no sé. Es algo que se ve desde hace muchos años y en todas las lagunas, donde vos vas por lo menos se ve habitualmente, y todos coinciden con lo mismo, con esto de los veranos con más calor exagerado."*

Nadia: *"¿Ustedes con qué lo relacionan, tiene que ver con el clima, con el cultivo o con otras cosas?"*

Leandro: *"Sí, con esas dos causas principales."*

Carlos: *"Sí, es el fertilizante, obviamente, aumenta la proliferación."*

Marita: *"Es lo que vos [Carlos] decías, si fertilizan y llueve después todo por escorrentía lo tenés en la laguna."*

Carlos: *“Sí, puedes usar el mejor fertilizante, pero si lo usas a nivel industrial y en 500 hectáreas de kiwi, por más de que no llegué todo eso que le aplicas, si justo llueve el agua se mueve y corre todo, por lo que algo debe afectar. Debería haber más información y control.”*

Nadia: *“Exacto, se debería controlar el uso responsable.”*

Marita: *“Nosotros pertenecemos a otro municipio encima. En la parte de Mar del Plata se está trabajando mucho, la Secretaría de Ambiente está tratando de, con gente idónea, apuntar para que las cosas se hagan bien. En Balcarce la verdad desconocemos, si el municipio realiza auditorías, si van a tomar muestras, o si controlan.”*

Carlos: *“Sí, hay seguimientos acá. El kiwi está del lado de Mar del Plata, no del lado de Balcarce.”*

Nadia: *“Acá se hacen muestras del agua, pero más desde el consumo. Han venido a tomar muestras acá en el tanque, en la escuela que está en frente, como para ver cómo está el agua de consumo humano.”*

Marita: *“¿Ustedes de dónde toman agua? ¿Toman agua del pozo o de la laguna?”*

Nadia: *“No, es de pozo, hicimos una perforación a 58 metros. A 7 metros ya había agua, pero el mismo pocero dijo que lo pasa es que ahí estás en la napa de la laguna entonces si la laguna se llega a contaminar, se te contamina la misma napa, entonces nos fuimos mucho más profundo, y los estudios dieron que es buenísima, nos dijeron que nos faltaba un poquito de no recuerdo qué mineral para que sea como el agua mineral de Sierra de los Padres.”*

Marita: *“¿No es tan dura como la de Mar del Plata?”*

Nadia: *“No, no genera sarro. Lo que sí del otro lado de la laguna en el pueblito sí tienen muchos más problemas con el agua, ahí sí.”*

Leandro: *“Tal vez no tienen un pozo con las condiciones correctas como ustedes, o no sé cómo será.”*

Carlos: *“En algunos lugares tienen problemas, en otros no. Hay presencia de magnesio o algún mineral de esos, que pone negra el agua, un exceso de algún mineral.”*

Nadia: *“Es como que quedan partículas negras en suspensión.”*

Carlos: *“En algunos lugares, en la mayoría no tienen problemas. Donde sí veo problemas es donde realizan pozos ciegos. Hay una ordenanza, de que habría que poner una planta depuradora, pero va arriba, entonces tenés la evaporación y un montón de cosas diferentes, digamos que un pozo ciego puede ir a la napa y como está en pendiente dentro de la cuenca puede perjudicar a quien está más abajo, por eso la idea de las plantas de tratamiento, que no te generan ese problema en las napas. Algunos de estos problemas pueden encontrarse en la villa, entre ellos, porque no está hecho todo a consciencia, pero no mucho, han avanzado mucho en la villa también, están con una ordenanza que están tratando de ir por ese lado.”*

Leandro: *“También como que hay más información, ¿no? Más talleres, reuniones, etc. Actualmente, trabajamos con una bióloga que hace talleres de concientización con el club de pesca.”*

Carlos: *“A comparación de cuando vinimos, yo veo el lugar mucho más equilibrado. Con un poco de información, creo que la gente aceptaría, se acepta mucho más la información, el tema de la preservación, desde que hay turismo que le sirve a mucha gente es más fácil y tenés más presencia y autoridad para pedir algo. Llevando la información a un productor capaz que es mucho más fácil de que tome una medida que sea favorable.”*

Marita: *“¿Qué tenés al lado? ¿Alguna plantación? A nosotros nos costó mucho llegar a esos lugares, tal vez se llega con botes, pero para el público es difícil.”*

Carlos: *“Una vecina creo que siembra trigo.”*

Nadia: *“Su porción de tierra es como si fuera un triángulo con una caída hacia la laguna, que pasa lo mismo que veníamos hablando de la esorrentía. En un momento habían empezado a controlar el arroyo, se decía que ahí llevaban los ‘mosquitos’ y los lavaban, pero fue hace mucho, cuando se empezó a*

*armar la ONG acá. Hubo reuniones y se hablaba del tema y dijeron que todo eso como que se iba a controlar. Después le hicieron estudios a la laguna, decían que se mantenía bien, pero que se iba a controlar también el tema de los motores, de que fueran 4 tiempos o tipo ecológicos, se habló de poner motores que fueran solamente a batería, pero bueno, después decían que era difícil eso regular con el club de pesca. Pudiendo implementar, como en los lagos del sur, de que los motores sean de 4 tiempos, eso ya iba a causar un menor impacto en lo que es el agua de la laguna.”*

*Marita: “Nosotros la vimos hermosa cuando fuimos ese día que fuimos hasta el establecimiento de ustedes. Ustedes que la navegan supongo que la pueden disfrutar en todo su esplendor, porque el acceso desde el público tenés la bajada donde está el club de pesca y después se complica poder acceder a otros sitios libremente, en uno vimos que se estaba haciendo un barrio privado, luego nos metimos por unas callecitas y vimos que está la laguna casi completa de márgenes privadas, los que tienen plantación llegan hasta la orilla, ¿no es cierto?”*

*Nadia: “Claro, sí. Lo del acceso también se había hablado, y se había visto que si el acceso público se abre de otra manera más grande tienen que poner a alguien que controle qué uso se hace del lugar, porque en seguida te empiezan a bajar lanchas y jet ski, aunque estén prohibidos, por lo que si no hay alguien que lo controle es muy difícil que el uso sea acorde. También habría que poner baños, por lo que surge el problema de quién los limpia.”*

*Carlos: “Estamos teniendo problemas en ‘Difuntos’ que es un lugar privado que la gente está subiendo hace como 15 años. Nosotros somos consumidores de espacios naturales, de reservas privadas, parques nacionales, parques provinciales, nos encanta porque nos gusta estar en esa línea. Cuando uno va a otro lugar aportamos de alguna manera a que se siga cuidando, y ‘Difuntos’ no es una manera de utilizar bien un lugar, hay fuego por todos lados, vas y hay una vaca faenada, 20 tipos intoxicados, una vez una comunidad hippie viviendo arriba durante 4 meses, te pasa un tipo tirando tiros siguiendo un chanco, no hay un sendero, hay basura por todos lados, roban, no hay un patrón de uso que permita usar de forma*

*lógica el lugar, no hay carteles que indiquen qué se puede hacer y qué no. Los lugares naturales si no son muy difíciles de controlar, cuando la gente empieza a utilizarlos y no hay un patrón de uso lo veo complicado y hace rato que andamos dando vueltas con estas cosas, y mismo los chicos que utilizan 'Difuntos' lo ven también, que hay que darle una forma, no hay una regla a respetar, no lo preservamos para las futuras generaciones que vienen. Donde quiere haber un poco de control, se les va de las manos porque no hay cómo contener la presión de la gente."*

*Nadia: "Claro, y lo que decían es que al tener el acceso por el club de pesca, que uno paga un ingreso, pero bueno, se puede acceder, tenés baño, parrillita, podés pescar del muelle, en Ruca Lauquen lo mismo pagando el día, o acá lo mismo pagando la comida, con alguna actividad se puede ingresar a la laguna, no es que está cerrada, sino que hay un acceso que uno accede y paga el camino, el estacionamiento, el baño, el uso de agua, el mantener el lugar bien, entonces el acceso público quedó reducido a ese sector, que es lo que decían que se podía controlar con la policía que está ahí que, de hecho, aunque hay carteles que dicen que no hagan fuego, más de una vez han tenido que ir a apagar fuego y a decirle a la gente que no está permitido, entonces por eso quedó como tan limitado ese espacio público."*

*Marita: "Es importante la mirada de ustedes, porque para el que no lo conoce..."*

*Nadia: "Sí, el tema es eso, que si no ponen a alguien que controle es como muy difícil eso, está la gente que cuida y el que no, que le parece bárbaro bajar con su lancha, con su jet ski y no sé qué."*

*Carlos: "Sí, yo veo que falta mucha educación, en general en Argentina. Por ejemplo, lo comparo siempre con el tráfico, en Argentina no tenés reglas de tráfico claras y al mismo tiempo no tenés reglas claras para utilizar un espacio natural común, no hay reglas, no hay educación, en las reglas de tráfico te podés dar más cuenta de esto, mejor ejemplo imposible, un lugar donde convivimos todos y no hay reglas, o no se las respeta, en el ambiente en los espacios naturales pasa lo mismo. Tengo amigos que trabajan de guardaparques en Parques Nacionales que tienen serios problemas para controlar su lugar, te puedo hablar del Parque Nacional del Lago Puelo, en el Parque Nacional Lanín, que tienen que luchar con la falta*

*de educación de la gente y también con su falta de infraestructura. Tenés 300 mil hectáreas para controlar y son 4 personas con 2 gendarmes, entonces hay cosas que los desbordan. Argentina tiene esos desequilibrios a mi manera de ver, nosotros que tenemos este lugar tratamos de pensar muchísimo la logística de volúmenes de gente, de cómo manejarlo para que no se nos vaya de la mano el tema de seguridad, limpieza, preservación, tenés que tener como un equilibrio digamos. Siempre yo hago la pregunta 'vos tenés 200 hectáreas, ¿cuántas personas pueden estar confortables en 200 hectáreas o en 100 hectáreas?', tiene un volumen físico eso. No es lo mismo un sendero donde pasan 50 personas por día a uno en donde pasan 400 personas por día, los Parques Nacionales deberían plantearse eso. Machu Picchu también, antes era libre, te sentabas donde querías y de repente se dieron cuenta que estaban arruinando todo, porque la gente empezó a hacer lo que se les ocurría, no había un patrón de uso de un lugar con un valor histórico, cultural, natural, etc. Vos vas a 'Difuntos' y subís el sendero principal y hay como 19 o 20 ramificaciones del sendero principal que va para arriba, eso no lo ves en ningún Parque Nacional más o menos bien manejado, son cosas a tener en cuenta cuando uno busca utilizar un espacio natural y no hay una reglamentación o una concepción previa de cómo utilizarlo. Desde lo público, lo ví en 'La Barrosa' también, me he reunido con el intendente, con los secretarios de turismo y deportes, que también me pidieron charlar de cómo lo manejaba a mi manera, porque saben que yo estudié un poco de eso, y estuve en una diplomatura, me importa mucho el tema, para ver cómo formatear algunas cosas y para que no se haga un lugar que no tenga una concepción de uso, y cuesta muchísimo, porque la gente no quiere ningún límite, es muy raro que no quieran ningún límite, inclusive en Parques Nacionales de Ecuador, de Perú como decíamos recién, tenés límites, no podés hacer lo que se te ocurra, los Parques Nacionales tienen que quedar para las generaciones futuras también, no solamente para la nuestra."*

*Nadia: "Y la laguna lo mismo, pedimos siempre por favor que la laguna siempre siga sin contaminarse, porque una vez que se contamine..."*

Carlos: *“Lo de los fertilizantes es por ahí más de lo que uno no sabe la dimensión obviamente, sospechamos que tiene que haber algo, pero no sabemos la dimensión y cómo contrarrestarlo, eso es lo único que nos excede. Desde el punto de vista de la producción, vos ves el contexto económico y las realidades y, bueno, es complejo, anda a decirle al del kiwi que no puede fertilizar, es una de las concentraciones de kiwi en una sola plantación más grande del mundo esa que está acá, anda a decirle al tipo ahora que tienen que modificar cosas.”*

Nadia: *“A veces lo que sí hablamos también es hacer hincapié por ahí en cuanto a la cantidad que tienen que usar, en el envase les dice la cantidad recomendada, pero en el campo se le hecha un poco más ‘por si acaso’, y en realidad gastan más plata y ya empiezan a perjudicar a la tierra, a los animales...”*

Marita: *“Justo ayer hablamos de ese tema en mi clase, que estaba dando plaguicida con los chicos, del famoso argentino ‘y dale... por las dudas’, el tema es educar y que la gente cuide lo que no es nuestro y es de todos.”*

# Apéndices

## Apéndice A:

Río de La Plata: Piden evitar el contacto con el agua por la presencia de cianobacterias

## **Río de La Plata: Piden evitar el contacto con el agua por la presencia de cianobacterias**

El subsecretario de Recursos Hídricos bonaerense, Guillermo Jelinski, recomendó evitar beber y tocar el agua de las costas de Berisso y Ensenada debido a la presencia de cianobacterias, ante lo cual se declaró el "alerta naranja".

"Desde el año pasado estamos monitoreando esto desde la Mesa Interinstitucional y ahora otra vez hay una floración muy grande de cianobacterias, por lo que se declaró el alerta naranja", explicó este viernes el funcionario en declaraciones a radio Provincia.

Jelinski detalló que el aumento del calor y la bajante del río de La Plata generaron estos días "una floración más importante" y destacó que con la "bandera naranja" la gente no debe ingresar al agua.

"En la superficie y en la playa se van a ver manchas verdes: no hay que tocarlas, no hay que tener contacto. Sobre todo, en ojos y boca. Menos que menos tomar esta agua", advirtió el funcionario provincial y recomendó consultar en el centro de salud más cercano en el caso de intoxicación.

Alertó que esa situación puede presentarse entre este viernes y el sábado también en el municipio de Ensenada, por lo que recomendó a la población "estar atenta y tener cuidado".

Las cianobacterias son organismos microscópicos que pueden realizar fotosíntesis y son reconocibles por su coloración azul verdosa. Se nutren de la materia orgánica del agua, por lo que son un indicador de dicho tipo de contaminación.

Su proliferación desmedida en el río de la Plata se debe a una conjugación de factores, como la bajante histórica en toda la cuenca; la elevación de la temperatura estacional y por efecto del cambio climático; y la cantidad de efluentes vertidos, que es la habitual, pero en un caudal de agua reducido, aumentando su concentración.

Dado que liberan toxinas al medio en el que se encuentran, pueden convertirse en una problemática significativa para la salud humana y ambiental.

Fuente: telam.com.ar, consultada el 18/1/2022

<https://www.telam.com.ar/notas/202201/580864-rio-de-la-plata-presencia-de-cianobacterias.html>

Nota correspondiente a la publicación del viernes 14 de enero de 2022

## Apéndice B:

Aconsejan no consumir peces extraídos de laguna “La Brava” por contaminación de algas

## **Aconsejan no consumir peces extraídos de laguna “La Brava” por contaminación de algas**

La Dirección de Gestión Ambiental de Balcarce, en el sur de la provincia de Buenos Aires, recomendó no consumir peces extraídos de la laguna La Brava, ubicada en el kilómetro 40 de la ruta provincial 226, a raíz de la presencia de algas potencialmente tóxicas.

La Brava quedó fuera del alcance del público para que *"no se consuman los peces que se extraigan en ese espejo de agua y no entrar en contacto con las floraciones de cianobacterias tóxicas"*, según informó el director de Gestión Ambiental, ingeniero agrónomo Pedro Platz.

Las autoridades hicieron estudios al agua de la laguna para comprobar la presencia de una floración de cianobacterias con predominio de la especie *Planktothrix agardhii*, productora de cianotoxina.

*"Si bien aún no contamos con un sistema de información de su impacto en la salud de las poblaciones expuestas, sabemos que toda floración de cianobacterias debe ser considerada, en principio, como potencialmente tóxica y, por lo tanto, como un problema de salud pública que requiere acciones para minimizar su efecto negativo en las comunidades en riesgo"*, indicó el funcionario.

La concentración (cs/mL) supera los niveles guía para aguas recreacionales propuestos por la Organización Mundial de la Salud basados en indicadores de biomasa de cianobacterias, considerándose el riesgo alto.

### *La postura del Club de Pesca*

A través de un comunicado, el Club de Pesca Balcarce informó que acompaña *"en la prevención de riesgos por contacto con cianobacterias"* a partir del informe difundido por la Dirección de Gestión Ambiental de la Comuna.

Asimismo, señaló con respecto al consumo de la población de pejerrey que habita en la laguna que *"luego de la última mortandad ocurrida en febrero del 2018, esta comisión trabajó durante estos dos*

*años para recuperar la fauna. Hoy se pudieron observar los primeros resultados de las capturas de esta especie, corroborando a simple vista que el pejerrey se encuentra sano y en buenas condiciones. Esto no garantiza que pueda volver a ocurrir una nueva mortandad a causa de estas cianobacterias si las condiciones del clima durante la etapa de verano favorecen al crecimiento masivo y su floración, liberando sus toxinas que a esta especie le significa la perdida de oxígeno y la muerte por asfixia".*

*Por último, la entidad aclaró que "hasta el momento no se encuentra ningún análisis ni respaldo de ningún profesional ni de ninguna entidad donde se demuestre que el pejerrey que habita hoy en nuestra laguna no esté apto para el consumo humano.*

*De parte de nuestra institución se tratará de gestionar el análisis de esta especie y así tener el respaldo de un profesional para poder comunicar de manera responsable a la población".*

Fuente: infocielo.com, consultada el 21/7/2022

<https://infocielo.com/contaminacion/aconsejan-no-consumir-peces-extraidos-laguna-la-brava-contaminacion-algas-n112794>

Nota correspondiente a la publicación del 5 de diciembre de 2019

## Apéndice C:

Detectan “cianobacterias tóxicas” en  
aguas que vuelcan directo al río Uruguay

## Detectan “cianobacterias tóxicas” en aguas que vuelcan directo al río Uruguay

El Ministerio de Ambiente de la República Oriental del Uruguay dio a conocer un estudio sobre la calidad del agua del río Queguay, que desemboca en el río Uruguay, aguas arriba de las ciudades de Colón y Paysandú. El procedimiento fue dispuesto a partir de un evento de floración de fitoplancton detectado el pasado 14 de enero, lo que motivó la toma de una serie de muestras y mediciones de variables de agua para conocer sus características y posibles consecuencias.

*“Las variables registradas en el agua muestran condiciones propias de una importante proliferación de fitoplancton que se evidencia por el alto porcentaje de saturación de oxígeno (155%) y pH (8,8), a pesar de la alta temperatura del agua (31°C)”, arroja como resultado el informe oficial, que en cuanto a la turbidez del agua indica que “también superó el valor estándar de calidad, alcanzando 88 NTU, determinado por la alta densidad del fitoplancton que le da al agua el color verde que, según comentarios de los lugareños, es excepcional para este río”.*

En una segunda muestra obtenida el 20 de enero, se analizó en forma primaria la composición dominante de los organismos del fitoplancton que determinaban el color y algunas de las condiciones del agua: *“Se identificó como organismo predominante una especie de cianobacteria del género Dolichospermum”.*

*“Estos organismos son potencialmente tóxicos y pueden representar un riesgo sanitario para quienes los ingieran a través de actividades de recreación o consumo de animales”, dejaron planteado. “Si bien se requieren análisis específicos para cuantificar su abundancia y determinar su toxicidad -adverten-, como medida preventiva se recomienda evitar su contacto e ingesta en las zonas afectadas”.*

*“Las condiciones fluviales de bajo caudal y alta temperatura favorecen el desarrollo de eventos de alta densidad de fitoplancton conocido como floración algal o, en este caso específico, floración de cianobacterias”. Con ese panorama, “es esperable que la condición desaparezca cuando llueva y el río*

*fluya*". No obstante, remarcan que *"el riesgo de afectación a la salud de personas y animales debe considerarse mientras perdura el evento"*.

El estudio fue desarrollado a través de la Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental, en coordinación con la Intendencia de Paysandú (Unidad de Gestión Ambiental y Cambio Climático) y el Centro Universitario Regional Norte (Laboratorio de Ecología Fluvial y Laboratorio de Reproducción Animal, con apoyo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas y vecinos del Queguay.

Fuente: elentrerios.com, consultada el 21/7/2022

<https://www.elentrerios.com/actualidad/detectan-lidquocianobacterias-txicasrdquo-en-aguas-que-vuelcan-directo-al-ro-uruguay.htm>

Nota correspondiente a la publicación del 25 de enero de 2022

Apéndice D:

Advierten la presencia de cianobacterias  
en las aguas de Buenos Aires, Santa Fe,  
Entre Ríos y Córdoba

## **Advierten la presencia de cianobacterias en las aguas de Buenos Aires, Santa Fe, Entre Ríos y Córdoba**

El Ministerio de Salud solicitó hoy *“extremar cuidados ante la exposición de cianobacterias en aguas que durante la temporada de verano se usan comúnmente para refrescarse y constituyen una potencial amenaza para la salud ambiental y humana”*.

La cartera sanitaria reportó su presencia en las costas del Río de La Plata, a la altura de Berisso y Ensenada; en el municipio de Tigre; en la laguna bonaerense Gómez, en Junín; en el lago San Roque, en Córdoba; en lagunas de Santa Fe como Juan de Garay, en Santo Tomé, y Setúbal, en la capital; y en el río Uruguay, a la altura de la provincia de Entre Ríos.

De una tonalidad azul verdosa, las cianobacterias son microorganismos que se nutren de la materia orgánica alojada en el agua y realizan fotosíntesis.

Las toxinas que liberan pueden provocar una amplia variedad de infecciones gastrointestinales, respiratorias, neurológicas, de la piel, de los oídos y de los ojos.

Los síntomas más comunes son diarrea, erupciones cutáneas, dolor de oído, tos e irritación ocular.

La exposición a las cianobacterias puede darse tanto por la ingesta de aguas contaminadas, como por la inhalación de los aerosoles que desprenden estas aguas.

También se indicó que *“existe la posibilidad de infección si la persona que ingresa al agua presenta algún corte o herida abierta”*, y que los grupos con mayor riesgo de contagio son los *“niños, niñas, mujeres embarazadas y personas con el sistema inmunológico debilitado o que presenten algún problema de salud previo”*.

Fuente: minutouno.com, consultada el 21/7/2022

<https://www.minutouno.com/sociedad/salud/advierten-la-presencia-cianobacterias-las-aguas-buenos-aires-santa-fe-rios-y-cordoba-n5365830>

Nota correspondiente a la publicación del 4 de febrero de 2022

## Apéndice E:

Alerta por algas tóxicas en ríos y lagos de Buenos Aires, Santa Fe, Entre Ríos y Córdoba

## **Alerta por algas tóxicas en ríos y lagos de Buenos Aires, Santa Fe, Entre Ríos y Córdoba**

Un clásico de cada verano volvió a encender las alarmas del Ministerio de Salud de la Nación, que emitió esta tarde una alerta por la presencia de las llamadas cianobacterias, un grupo de bacterias capaces de hacer fotosíntesis y producir toxinas peligrosas para seres humanos y animales, que están presentes en algas verdeazuladas que se las puede hallar en distintas aguas durante la temporada de verano que se usan comúnmente para refrescarse, como ríos, lagos y el mar.

La cartera sanitaria nacional advirtió que *“actualmente se reportaron presencia de cianobacterias en las costas del Río de La Plata, a la altura de Berisso y Ensenada; en el municipio de Tigre; en la laguna bonaerense Gómez, en Junín; en el lago San Roque de la provincia de Córdoba; en lagunas de Santa Fe como Juan de Garay, en Santo Tomé, y Setubal, en la capital; y en el Río Uruguay a la altura de la provincia de Entre Ríos”*.

Según explicó en un comunicado, estos microorganismos tienen una tonalidad azul verdosa que se nutren de la materia orgánica alojada en el agua y realizan fotosíntesis. Las toxinas que liberan pueden provocar una amplia variedad de infecciones gastrointestinales, respiratorias, neurológicas, de la piel, de los oídos y de los ojos. Los síntomas más comunes son: diarrea, erupciones cutáneas, dolor de oído, tos e irritación ocular.

La exposición a las cianobacterias puede darse tanto por la ingesta de agua contaminada, como por la inhalación de los aerosoles que desprenden estas aguas. Además, también existe la posibilidad de infección si la persona que ingresa al agua presenta algún corte o herida abierto.

También aclaró que los niños y niñas, mujeres embarazadas y personas con el sistema inmunológico debilitado o que presenten algún problema de salud previo, son los grupos de riesgo con mayor probabilidad de contagio. En estos casos, se aconseja consultar al médico antes de nadar en aguas naturales.

Además, el Ministerio de Salud recomienda verificar si la playa se encuentra cerrada, se encuentra bajo advertencia por razones de salud o seguridad, o está debidamente monitoreada y controlada, especialmente después de una lluvia intensa. Las sequías y bajantes hídricas, la contaminación por la actividad antrópica, las altas temperaturas estacionales, junto con los impactos derivados del cambio climático, son factores que coadyuvan a la excesiva floración de este tipo de algas.

Mantenerse fuera del agua en los siguientes casos:

- Si hay carteles que dicen que el área está cerrada. Esto puede deberse a que el agua es insegura para nadar.

- Si presenta un color diferente al habitual, parece más turbia o huele mal. Esto puede ser una advertencia de que hay más cantidad de microorganismos en el agua que lo normal.

- Si se observa en la orilla una masa verde brillante similar a una mancha de pintura o una masa espesa marrón. Esto podría significar que hay una floración de algas nocivas en el agua que pueden provocar enfermedades.

- Luego de una lluvia intensa, ya que se pueden drenar desperdicios en el área que enturbian más el agua.

- Si se ven tuberías que drenen el agua, especialmente después de tormentas intensas o de lluvias que se presentan tras largos periodos de sequía.

- Si se tiene diarrea. Los gérmenes pueden enfermar a otros nadadores si tragan agua contaminada.

- Si se tiene un corte o una herida abierta. En caso de ingresar, utilizar un vendaje a prueba de agua para cubrirlo completamente.

Fuente: infobae.com, consultada el 21/7/2022

<https://www.infobae.com/salud/2022/02/04/alerta-por-algas-toxicas-en-rios-y-lagos-de-buenos-aires-santa-fe-entre-rios-y-cordoba/?outputType=amp-type>

Nota correspondiente a la publicación del 4 de febrero de 2022