



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA SAN JUAN BOSCO  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA AUSTRAL**

**Programa de Posgrado Interinstitucional en Ciencias Hídricas  
(con mención ambiental)**

Trabajo final de la carrera de  
**Especialización en Calidad de Aguas Superficiales**

**Caracterización y evolución temporal de las propiedades  
físicoquímicas y poblaciones Fitoplanctónicas de las lagunas  
de estabilización de Trelew.**

**Matías Nahuel Lupia**

Director de Trabajo Final: Dra. Norma Santinelli  
Co-director de Trabajo Final: Ing. Químico Ricardo Gallastegui

Trelew, octubre de 2022



# Caracterización y evolución temporal de las propiedades fisicoquímicas y poblaciones Fitoplanctónicas de las lagunas de estabilización de Trelew

**Matías Nahuel Lupia**

*Director de Tesina:*

Dra. Norma Santinelli

*Co-Director de Tesina:*

Ing. Quím. Ricardo Gallastegui

*Asesora:*

Dra. Noelia Uyua

*Línea de investigación:*

Ciencias Biológicas/ Control Ambiental

*Universidad por la que cursa la carrera:*

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

*Unidad Académica por la que cursa la carrera:*

Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud – Sede Trelew

Jurado: Dra. Marcela Gatti; Dra. Laura Brandizi; Mg. Ing. Marcelo Ambrosio

Trelew, octubre de 2022



## AGRADECIMIENTOS

*Al instituto de Investigación de Hidrobiología, por brindar el espacio y los materiales necesarios para la elaboración de este trabajo.*

*A la Cooperativa de Servicios Públicos de Trelew por permitirme trabajar en el sistema de lagunas.*

*A la Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud por brindarme la beca para realizar el posgrado.*

*A Norma y Noe por compartir sus conocimientos conmigo y por todo el aguante que me tuvieron durante este tiempo.*

*A Ricardo y su equipo por la ayuda y el trabajo realizado en los análisis fisicoquímicos y por brindar la data necesaria para la elaboración de los mapas.*

*A Rebe que siempre está ahí ayudándome y acompañándome.*

*A mis viejos y mi hermana por su curiosidad y por poner el transporte los días de lluvia y barro.*

*A Franco, Emi y Nino por el aguante, la ayuda y los mates.*

<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>ABSTRACT</b> .....	7
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	8
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	10
II.1 Objetivo General .....	10
II.2 Objetivos Específicos .....	10
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	11
III.1 Área de estudio .....	11
III.2 Caracterización Climática .....	12
III.3 Recolección de datos y muestras .....	14
III.4 Reconocimiento taxonómico .....	15
III.5 Análisis cuantitativo .....	15
III.6 Índice de riqueza de Margalef .....	16
III.7 Índice de diversidad de Shannon .....	16
III.8 Índice de dominancia de Simpson .....	17
III.9 Índice Genérico de Diatomeas .....	17
III.10 Índice para diatomeas e Índice compuesto de Nygaard .....	18
III.11 Análisis Fisicoquímico .....	18
<b>IV. RESULTADOS</b> .....	20
IV.1 Análisis Cualitativo .....	209
IV.2 Análisis Cuantitativo .....	15
IV.3 Índices Ecológicos .....	29
IV.4 Índice Genérico de Diatomeas .....	31
IV.5 Índice para diatomeas e Índice compuesto de Nygaard .....	31
IV.6 Análisis fisicoquímico (CE, SDT, pH y T°) - Laguna de la Base .....	32
IV.7 Análisis fisicoquímico (OD y DBO) – Laguna de la Base .....	35
IV.8 Análisis fisicoquímico (CE, SDT, pH y T°) - Laguna del Caño .....	37
IV.9 Análisis fisicoquímico (OD y DBO) – Laguna del Caño .....	39
IV.10 Análisis fisicoquímico (CE, SDT, pH y T°) - Laguna Negra .....	40
IV.11 Análisis fisicoquímico (OD y DBO) – Laguna Negra .....	41
IV.12 Comportamiento estacional del OD y la DBO .....	42
IV.13 Dureza .....	45
IV.14 Hierro, Cromo, Manganeso y Sulfuros .....	46
IV.15 Nitrito, Nitrato y Amoníaco .....	48
IV.16 Turbiedad .....	49
IV.17 Cartografía Informativa – SIG .....	50
IV.18 Mapas 2023 .....	50
<b>V. DISCUSIÓN</b> .....	56



**PROGRAMA DE POSTGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS HÍDRICAS (CON MENCIÓN AMBIENTAL)**

VI. <b>CONCLUSIONES</b> .....	61
VII. <b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	62

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Coordinadas de Muestreo.....	11
Tabla 2. Estadísticas climatológicas. Serie 1991-2020 Trelew, Chubut.....	12
Tabla 3. Parámetros analizados y Técnica aplicada.....	19
Tabla 4. Taxa identificada en cada laguna.....	21
Tabla 5. Distribución de los taxones identificados.....	21
Tabla 6. Máximos y mínimos de concentración.....	24
Tabla 7. Test TUKEY de los índices calculados.....	30
Tabla 8. Índice de calidad agua calculado con IDG.....	31
Tabla 9. Índice de Diatomeas e Índice de Nygaard de la Laguna de la Base.....	31
Tabla 10. Índice de Diatomeas e Índice de Nygaard de la Laguna del Caño.....	32
Tabla 11. Índice de Diatomeas e Índice de Nygaard de la Laguna Negra.....	32
Tabla 12. Estados de dureza a lo largo de las estaciones.....	45
Tabla 13. Evolución de la turbiedad.....	50

**ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS**

Figura 1. Lagunas y puntos de muestreo.....	11
Gráfico 1. Régimen de temperaturas 1991-2020, Trelew – Chubut.....	13
Gráfico 2. Precipitación media 1991-2020, Trelew – Chubut.....	13
Gráfico 3. Velocidad del viento (promedios 2011-2020), Trelew – Chubut.....	13
Gráfico 4. Distribución porcentual de las taxa observadas.....	22
Gráfico 5. Evolución de la concentración de fitoplancton.....	24
Gráfico 6. Distribución de la abundancia relativa espaciotemporal – Laguna de la Base.	25
Gráfico 7. Distribución de la abundancia relativa espaciotemporal – Laguna del Caño...	26
Gráfico 8. Distribución de la abundancia relativa espaciotemporal – Laguna Negra.....	26
Gráfico 9. Índice de Riqueza de Margalef.....	28
Gráfico 10. Índice de Diversidad de Shanon.....	29
Gráfico 11. Grado de Dominancia.....	29
Gráfico 12. Cambios en la concentración, conductividad y SDT (LB).....	33
Gráfico 13. Cambios en la concentración, pH y temperatura (LB).....	33
Gráfico 14. Concentración, OD y DBO en las distintas estaciones (LB).....	35
Gráfico 15. Cambios en la concentración, conductividad y SDT (LC).....	36
Gráfico 16. Cambios en la concentración, pH y temperatura (LC).....	37
Gráfico 17. Concentración, OD y DBO en las distintas estaciones (LC).....	38
Gráfico 18. Cambios en la concentración, conductividad y SDT (LC).....	40
Gráfico 19. Cambios en la concentración, pH y temperatura (LN).....	41
Gráfico 20. Concentración, OD y DBO en las distintas estaciones(LN).....	42
Gráfico 21. OD y DBO en distintas estaciones del año (LN).....	43



**PROGRAMA DE POSTGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS HÍDRICAS (CON MENCIÓN AMBIENTAL)**

Gráfico 22.	Dureza.....	45
Gráfico 23.	Concentraciones estacionales de Hierro, Cromo, Manganeso y Sulfuros.....	46
Gráfico 24.	Concentraciones estacionales de Nitrito, Nitrato y Amoniac.....	48
Gráfico 25.	Turbiedad.....	49

**ÍNDICE DE MAPAS**

Mapa 1.	Sistema de Lagunas de estabilización de efluentes – Lagunas 2, 3 y 4.....	51
Mapa 2.	Laguna N°2: “Laguna de la Base” .....	52
Mapa 3.	Laguna N°3: “Laguna del Caño” .....	53
Mapa 4.	Laguna N°4: “Laguna Negra” .....	54



PROGRAMA DE POSTGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS HÍDRICAS (CON MENCIÓN AMBIENTAL)

# CARACTERIZACIÓN Y EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS Y POBLACIONES FITOPLANCTÓNICAS DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE TRELEW

## RESUMEN

El análisis biológico genera datos complementarios a las mediciones fisicoquímicas que determinan la calidad del agua y las condiciones ambientales. Cualquier fluctuación en las condiciones abióticas de los ecosistemas acuáticos provocará cambios en la biota. El monitoreo de la biota ayuda a determinar los cambios que ocurren en los ecosistemas pudiendo ser cuantificados. La presencia de ciertas especies consideradas “indicadoras” es una indicación relativamente fidedigna de que durante su ciclo de vida la polución no excede un umbral determinado. Muchos organismos sumamente sensibles a su medio ambiente, cambian aspectos de su forma, desaparecen o, por el contrario, prosperan cuando su medio se contamina. Diferentes especies de microalgas junto a sus distribuciones espacio temporales y sus abundancias relativas son parámetros que permiten determinar de forma complementaria las características fisicoquímicas y los posibles estados tróficos que atraviesa este tipo de ambiente. En el presente trabajo se analizó la estructura y la dinámica temporal de las poblaciones fitoplanctónicas, aportando información valiosa desde el punto de vista ecológico, dando a conocer las especies presentes en cuerpos de agua con alta carga de materia orgánica y cómo estas se relacionan con las propiedades fisicoquímicas. Se considera que puede ser utilizado como referencia para futuros trabajos exploratorios y como base para aplicaciones de gestión ambiental y el desarrollo de cartografía actualizada.



## ABSTRACT

Biological analysis provides complementary data to physicochemical measurements for assessing water quality and environmental conditions. Any fluctuations in the abiotic conditions of aquatic ecosystems can lead to changes in biota. Monitoring biota helps determine ecosystem changes and allows for quantification. The presence of certain species considered "indicator" species is a relatively reliable indication that pollution does not exceed a specific threshold during their life cycle. Many organisms, highly sensitive to their environment, alter their morphology, disappear, or thrive in response to contamination. Different species of microalgae, along with their spatial and temporal distributions and relative abundances, serve as parameters for determining physicochemical characteristics and potential trophic states in such environments. This study analyzes the structure and temporal dynamics of phytoplankton populations, offering valuable ecological insights and identifying species present in water bodies with high organic matter content and their relationships with physicochemical properties. It can serve as a reference for future exploratory research and as a foundation for environmental management applications and the development of updated cartography.

## INTRODUCCIÓN

En general, las aguas residuales son ricas en nutrientes, lo que permite sostener el metabolismo de ciertos microorganismos fotosintéticos. Las microalgas producen el oxígeno necesario para la digestión aerobia de la materia orgánica por medio de las bacterias, a la vez que incorporan los compuestos residuales de la oxidación generando así un proceso depurativo eficaz (Vázquez, 2016). Las microalgas son capaces de remover microorganismos patógenos, metales pesados, y compuestos orgánicos tóxicos mediante procesos aún en vías de estudio (Suaza, Albarracín, Cravero, & Salomón, 2010).

En las últimas décadas las microalgas se han utilizado como bioindicadoras de las condiciones ecológicas de diferentes ecosistemas acuáticos, gracias a la gran diversidad que comprende este grupo (Seeligmann, Tracanna, De Marco, & Isasmendi, 2001). La eutrofización es el proceso de deterioro de la calidad del agua, originado por el enriquecimiento de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. Este proceso, cuando se produce de forma natural, es gradual y lento. Entre las causas que aceleran el proceso se encuentra la descarga de residuos industriales y municipales a los cuerpos de agua.

Para determinar las condiciones de un cuerpo de agua es necesario contar con índices que, mediante la evaluación de determinadas variables físicas y químicas dan una idea del estado trófico del recurso. Estos índices son importantes para establecer clasificaciones tróficas y brindar información de utilidad para establecer un uso apropiado del recurso. Además, permiten clasificar a los lagos, lagunas y embalses como oligotróficos (con bajos niveles de nutrientes), eutróficos (niveles de nutrientes aumentados) e hipertróficos (con gran abundancia de nutrientes) (Cony, Ferrer, & Cáceres, 2014).

Las lagunas de estabilización son cuerpos de agua residual o de desechos industriales, naturales o artificiales, en los cuales se dan una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que conducen a una acción depurativa natural del recurso por medio de procesos de oxidación aerobia y fotosíntesis (Betti, 2022). Este sistema encadenado funciona como un reactor biológico de grandes proporciones, al emplear la luz y los compuestos orgánicos como fuente de energía para llevar a cabo dichos procesos depurativos (Sastre & Santinelli, 1996).

Sobre la margen este del ejido urbano de la ciudad de Trelew se encuentra un sistema de lagunas encadenadas destinadas al tratamiento de efluentes. En un principio, el sistema eran bajos naturales temporarios alimentados por aguas subterráneas y por precipitaciones que funcionaba como una cuenca endorreica, sin drenaje al mar (March M., 2006).

A partir del año 1956 el municipio de Trelew comenzó a verter los líquidos domiciliarios y pluviales de la ciudad a este sistema. A raíz del crecimiento urbano y el aumento de los efluentes domiciliarios y pluviales vertidos, se derivó en un aumento paulatino de la superficie lagunar y estas cuencas naturales se convirtieron en grandes lagunas de estabilización.

Al respecto, Serra y colaboradores (2006) expresan desde el punto de vista hidrológico que estas lagunas han modificado su comportamiento, pasando de constituir áreas de descarga/evaporación (alimentadas por los aportes de cañadones que drenan desde la terraza intermedia o bien por crecientes del río Chubut) a áreas de recarga/infiltración, lo que genera el aporte de agua en forma constante al sistema freático. Este proceso produce una creciente impermeabilización, anegamiento y salinización de los suelos dejando a los mismos totalmente inutilizables.

Estas lagunas reciben el aporte constante de líquidos cloacales y pluviales de la ciudad de Trelew, además de aportes intermitentes directos y por escorrentías de lluvias ocasionales. Estos son impulsados desde una planta de bombeo ubicada en inmediaciones del área central de la ciudad, donde se realiza un tratamiento primario mediante rejillas y trituradores de sólidos gruesos. Luego, por un entubamiento, llegan a la denominada laguna III, que se comunica por un canal artificial (Canal Romer) con la laguna V (Alcarraz, March, Weise, & Schaer, 2008).

El sistema completo está formado por un total de seis lagunas: Laguna I o Cacique Chiquichano, Laguna II o de la Base, Laguna III o del Caño, Laguna IV o del basural, Laguna V o Laguna Negra, y Laguna VI o Salitral; esta última situada dentro del ejido de la ciudad de Rawson (Alcarraz, March, Weise, & Schaer, 2008).

Por otro lado, parte de los efluentes pluviales de la ciudad, son enviados a este sistema lagunar por un entubamiento (pluvial Owen) siendo la Laguna II, el receptor de estos efluentes y los de la Laguna Cacique Chiquichano, además de efluentes cloacales de la base Almirante Zar y de lavado de filtros de la planta potabilizadora de Puerto Madryn (Servicoop). A todos estos

aportes se suman las precipitaciones pluviales directas y las escorrentías naturales que fluyen hacia las citadas lagunas. Hoy en día, las lagunas IV y V están totalmente unidas y en conjunto con la laguna III, funcionan como lagunas de estabilización que proveen el tratamiento biológico a los efluentes de Trelew (Alcarraz, March, Weise, & Schaer, 2008).

## OBJETIVOS

- **Objetivo General:**

→ Identificar la comunidad fitoplanctónica de las lagunas y su relación con los parámetros fisicoquímicos.

- **Objetivos Específicos:**

→ Realizar la caracterización de los parámetros fisicoquímicos más representativos y su dinámica estacional en las lagunas de estabilización.

→ Realizar la caracterización y dinámica estacional de la comunidad de microalgas y su abundancia relativa presente en las lagunas.

→ Elaborar cartografía informativa en software SIG a partir de la bibliografía y la nueva información obtenida.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en tres lagunas pertenecientes al sistema encadenado de lagunas de estabilización de efluentes de la ciudad de Trelew, ubicadas sobre la margen este de la ciudad. La Figura 1 muestra el área analizada y los puntos de muestreo. La Tabla 1 presenta la localización geográfica de los puntos de muestreo.

LAGUNA		Puntos de muestreo	
1	Laguna de la Base	P1	S 43°12'32.5'' ; O 65°21'14.8''
2	Laguna del Caño	P2	S 43°12'23.5'' ; O 65°20'52.2''
3	Laguna Negra	P3	S 43°12'10,8'' ; O 65°21'53.9''

Tabla 1. Coordenadas de Muestreo

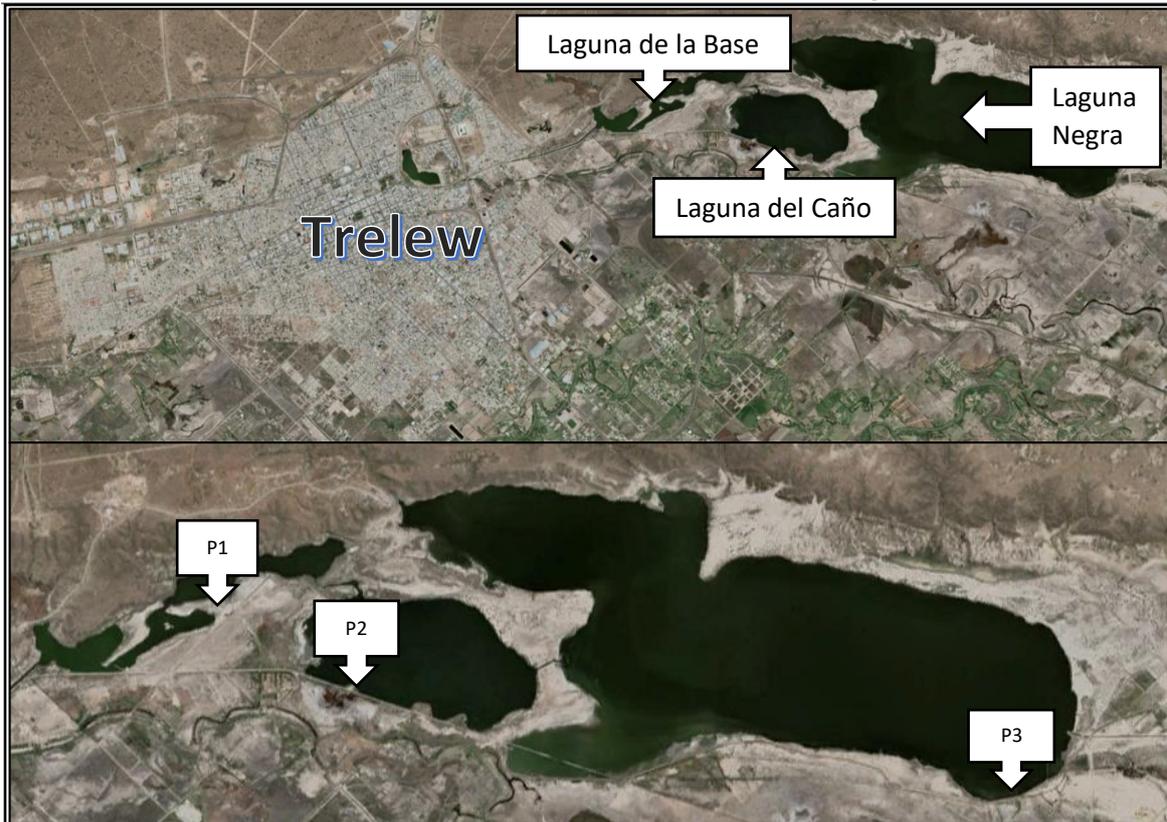


Figura 1. Lagunas y puntos de muestreo

### Caracterización Climática

El área de estudio se encuentra localizada dentro del valle inferior del río Chubut. Dentro del valle, la temperatura media anual es de 13,5 °C registrándose máximas absolutas en los meses de verano (diciembre, enero y febrero) que superan los 31 °C. Las temperaturas mínimas absolutas se producen en los meses de junio, julio y agosto con registros de hasta -1,4 °C. El viento es otro elemento imperante en el lugar, la dirección predominante es del oeste-suroeste. La mayor velocidad del viento se produce en los meses de primavera-verano, en tanto que en las estaciones de otoño e invierno los vientos son leves a moderados. Su intensidad puede llegar a superar los 90 km/h y el valor medio anual de intensidad es de 17 km/h. La persistencia del viento es en parte la responsable de la típica sequedad de la zona conjuntamente con la escasa y variable precipitación. En cuanto a las precipitaciones, la mayor parte de la región integra la denominada diagonal árida, que comienza a manifestarse al sur de las costas ecuatorianas y se extiende hasta la costa atlántica de la Patagonia. La Tabla 2 muestra las estadísticas climatológicas (serie 1991-2020) tomadas en la estación meteorológica AEROPUERTO TRELEW.

PROGRAMA DE POSTGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS HÍDRICAS (CON MENCIÓN AMBIENTAL)

Mes	T° Med (°C)	T° Máx (°C)	T° Mín (°C)	Velocidad del Viento (km/h)	Precipitación Media (mm)	Frecuencia de días con Precipitación superior a 1.0 mm
E	21,6	29,3	13,7	21,3	11,9	2,2
F	20,2	28	12,6	18,5	23,5	2,7
M	17,9	25,4	10,8	16,2	21	3,1
AB	13,5	21	7	15,1	23,3	2,4
MY	9,5	16,1	3,6	14,3	22,6	3,7
JN	6,4	12,6	1	15,1	25,4	3,9
JL	5,9	12,4	0,3	14,8	17,4	3,2
AG	8	15	1,9	16,6	14,1	3,9
S	10,4	17,6	3,7	17	14,7	3,4
O	14,1	21,2	6,6	17,8	18,1	3,1
N	17,4	24,8	9,6	19,8	12,9	2,5
D	20	27,5	12	20,6	13,2	2,2

Tabla 2. Estadísticas climatológicas. Serie 1991-2020 Trelew, Chubut

La ciudad de Trelew comparte las características climáticas regionales, con temperaturas altas y vientos fuertes durante el verano en contraposición con los inviernos fríos de vientos leves (Gráfico 1 y 3). Las precipitaciones aumentan durante el otoño, acentuándose en el invierno. (Gráfico 2)

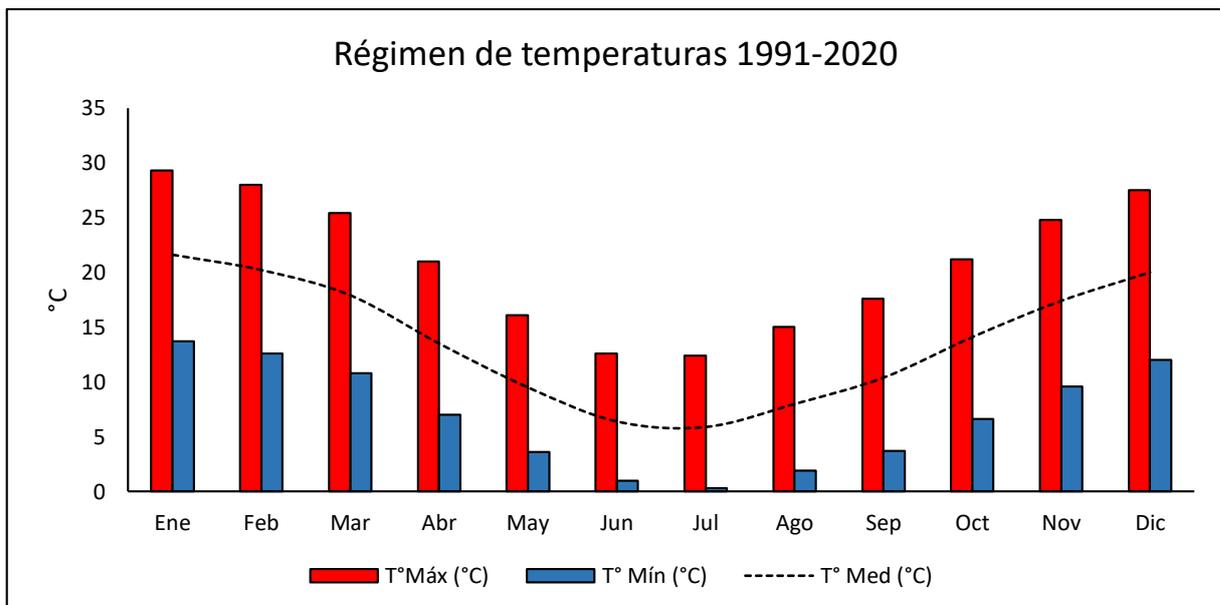


Gráfico 1. Régimen de temperaturas 1991-2020, Trelew – Chubut (SMN)

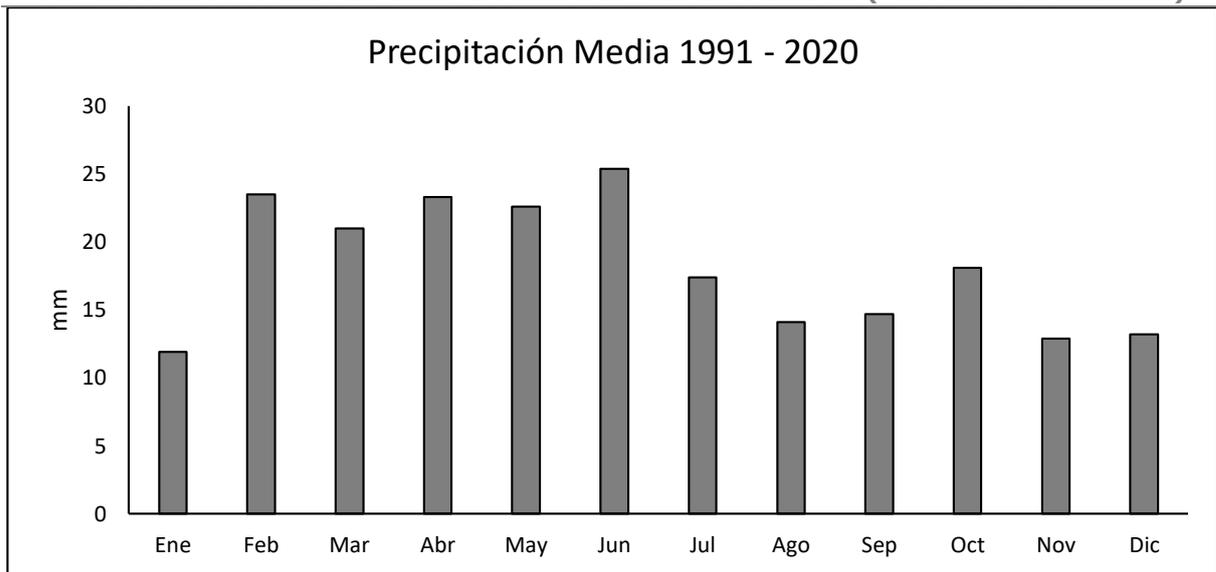


Gráfico 2. Precipitación media 1991-2020, Trelew – Chubut (SMN)

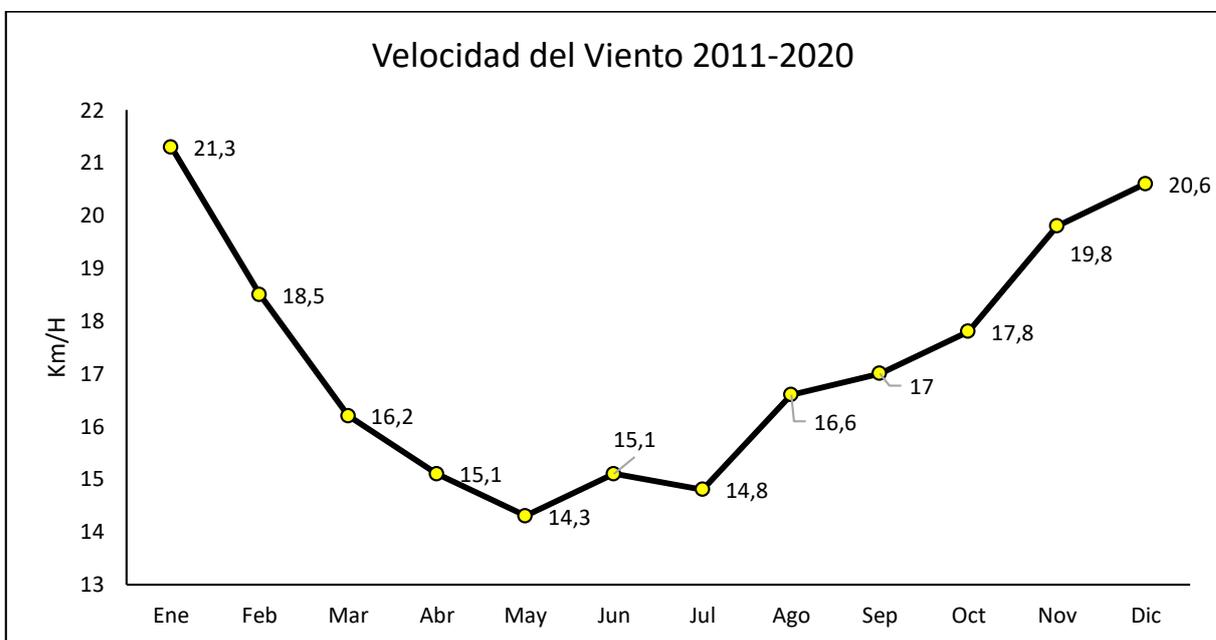


Gráfico 3. Velocidad del viento (promedios 2011-2020), Trelew – Chubut (SMN)

### Recolección de datos y muestras

La recolección de muestras se realizó durante el periodo diciembre 2021 – noviembre 2022. Se realizó un muestreo quincenal desde orilla para el análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton y tres muestreos estacionales para parámetros físico- químicos: abril (correspondiente a la estación de otoño), julio (correspondiente a la estación de invierno) y octubre (correspondiente a la estación de primavera).

---

**PROGRAMA DE POSTGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS HÍDRICAS (CON MENCIÓN AMBIENTAL)**

---

Durante el año de trabajo se analizaron un total de 81 muestras. Durante todos los muestreos quincenales se tomaron los siguientes datos ambientales y físico químicos in situ:

- Fecha y Hora
- Temperatura ambiente
- Presión atmosférica
- Humedad
- Velocidad y dirección del viento
- Temperatura de la muestra
- Sólidos disueltos totales (SDT)
- Conductividad eléctrica (CE)
- pH

Los muestreos estacionales se recolectaron los mismos datos y se añadió la lectura de Oxígeno disuelto (OD). En cada sitio se recolectó una muestra con balde y se almacenó en un bidón de 5 litros. Las muestras vivas se homogeneizaron y se analizaron en microscopio óptico (MO). Luego se colocaron en un frasco de 250 ml y se las fijó en solución de lugol (4%). La fijación del material con solución de lugol tuvo como objetivo la realización de recuentos celulares. Todas estas tareas fueron realizadas en las instalaciones del Laboratorio de Fitoplancton del Instituto de Investigación de Hidrobiología de la UNPSJB de la ciudad de Trelew.

### **Reconocimiento taxonómico**

Para el reconocimiento de las distintas taxa se llevó a cabo una observación de muestras vivas y la elaboración de preparados permanentes. Se realizó un listado alcanzando los rangos taxonómicos más bajos posibles en cada caso, utilizando bibliografía actualizada.

### **Análisis cuantitativo**

La cuantificación del fitoplancton se llevó a cabo a través del método de Utermohl (1958) con microscopio invertido OLYMPUS CKX41. Antes de comenzar el conteo se verificó que la distribución de los elementos de la muestra fuese al azar. Se realizó un conteo por campos aleatorios y, el mínimo de células contadas por muestra fue de 200 células. Conociendo el número de campos que abarca el ocular sobre la cámara circular utilizada, en ciertos aumentos y marca y modelo del microscopio utilizado, se calcula el factor para los posteriores

cálculos. Sabiendo estos valores y la cantidad de campos contados, se determina el factor según la siguiente ecuación:

$$F = \frac{\text{N}^\circ \text{ campos totales}}{\text{N}^\circ \text{ campos contados}}$$

Calculado el factor, se multiplica éste por el número de células contadas para cada taxa, obteniendo el resultado en cel/ml.

### Índice de riqueza de Margalef

El índice de riqueza de Margalef determina la biodiversidad de una comunidad teniendo en cuenta la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies, en función del número total de individuos existentes en la muestra analizada. Esto lo hace a través de la siguiente fórmula:

$$D_{Mg} = \frac{(s - 1)}{\ln(N)}$$

En donde:

S = Número total de especies presentes

N = Número total de individuos

### Índice de diversidad de Shannon (H')

El índice de diversidad de Shannon-Weaver (H') expresa la heterogeneidad de una comunidad relacionando el número de especies presentes y su abundancia relativa (Shannon, 1948; Castellanos-Bolaños et al., 2008). Esto lo hace a través de la siguiente fórmula:

$$H' = - \sum p_i \ln(p_i)$$

En donde:

Pi = Proporción de los individuos hallados de la especie

I= se calcula mediante la relación (n° de individuos de la especie i / n° total de individuos).

### Índice de dominancia de Simpson

El índice de diversidad de Simpson estima si una comunidad determinada está compuesta por especies muy abundantes, ya que suma las abundancias de cada una al cuadrado y así, les da importancia a los taxones con alto valor (Lamprecht, 1962). Esto lo hace a través de la siguiente fórmula:

$$D = \sum_{i=1}^S p_i^2$$

En donde:

Pi = Proporción de los individuos hallados de la especie i; se calcula mediante la relación (n° de individuos de la especie i / n° total de individuos).

### Índice Genérico de Diatomeas

El resultado es la media de los valores de sensibilidad de todas las especies presentes en la muestra, ponderado en función de la amplitud ecológica de cada una de ellas. Esto lo hace a través de la siguiente fórmula:

$$ID = \frac{\sum A \cdot S \cdot V}{\sum A \cdot V}$$

En donde:

A = la abundancia relativa del taxón

S = valor de sensibilidad a la contaminación del taxón

V = valor indicador o grado de estenoecia del taxón

El valor de esa media clasifica la calidad biológica del cuerpo de agua en rangos y le asigna una categoría coloreada acorde a la calidad biológica, siendo estas:

Color					
Calidad biológica	Muy buena	Buena	Moderada	Mala	Muy mala
Valor del índice	20-17	17-13	13-9	9-5	5-1

### Índice para diatomeas e Índice compuesto de Nygaard

Nygaard desarrolló cinco índices para las microalgas planctónicas asumiendo que algunas de ellas no pueden tolerar altas concentraciones de nutrientes (desmidiáceas y bacillariofíceas pennales) mientras que otras prosperan bien en aguas eutróficas (cianofíceas, euglenofíceas, bacillariofíceas centrales y clorofíceas del grupo de las chlorococcales).

$$\text{Índice para diatomeas} = \frac{\text{número de taxones de diatomeas céntricas}}{\text{número de taxones de diatomeas pennales}}$$

$$\text{Índice compuesto} = \frac{\begin{aligned} &n^{\circ} \text{ taxones de cianofíceas} \\ &+ n^{\circ} \text{ taxones de chlorococcales} \\ &+ n^{\circ} \text{ taxones de diatomeas céntricas} \\ &+ n^{\circ} \text{ taxones de euglenófitas} \end{aligned}}{\text{número de taxones de desmidiáceas}}$$

Si el índice de diatomeas fluctúa entre 0 y 0,2 el agua es pobre en nutrientes y si fluctúa de 0,2 a 3 se presentan condiciones de enriquecimiento. Para el compuesto, si el resultado es menor de 1, el ecosistema acuático es oligotrófico, si está entre 1 y 2,5 es mesotrófico y si supera los 2,5, es eutrófico.

### Análisis Físicoquímico

Los análisis fueron realizados en el laboratorio de la planta potabilizadora de la ciudad de Trelew en conjunto con el equipo técnico presente. Las muestras estacionales fueron tomadas con la misma metodología planteada anteriormente, agregándole una medición in situ de OD. Debido a diversos factores la muestra estacional de verano no pudo ser recolectada, por lo que los datos no pudieron ser analizados.

Las técnicas empleadas en estos análisis se enmarcan dentro de los Standard Methods citados en la Tabla 3. La realización de los análisis, quedó sujeta a la tenencia en stock de los reactivos y elementos necesarios por parte del laboratorio al momento de analizar las muestras.

Determinación	Técnica
Hierro (mg/l)	SM 3500-Fe-D - Kit HACH método 8008 FERROVER
Sulfuros (mg/l)	Adaptado de SM del azul de metileno - 4500-S= -D
Cromo total (mg/l)	SM CRD colorimétrico Kit HACH método 8024
Aluminio (mg/l)	Kit HACH método 8131
Manganeso (mg/l)	Adaptado de SM 3500-Mn-D Kit HACH método 8034
Nitritos (mg/l)	Colorimétrico 4500-NO2-B
Nitratos (mg/l)	SM 4500-NO3-E Colorimétrico Kit HACH método 8039
Amoníaco (mg/l)	SM 4500-NH3-C - Kit HACH método 8038 NESSLER
Dureza (mg/l)	Titulométrico con EDTA 2340-C
Cloruros (mg/l)	Argentométrico SM 4500-Cl-B
O.D (mg/l)	Método electrodo membrana SM 4500-O-G
% Oxígeno saturación	Método electrodo membrana SM 4500-O-G
D.B.O (mg/l)	IRAM 29006
D.Q.O (mg/l)	HACH método 8000
Salinidad	Conductimétrico SM 2520-B
Conductividad	Conductimétrico SM 2510-B
pH	Electrométrico 4500,H+-B
Temperatura (°C)	Termómetro grados Celsius de mercurio 2550-B
STD (mg/l)	Por conductimetría SM 2520-B
Turbiedad (ntu)	Nefelométrico 2130-B
Alcalinidad (mg/l)	Titulación SM 2320-B
Sólidos totales disueltos	Evaporación a 105°C SM 2540-C
Sólidos sedimentables (en 45 min)	SM 2540-F
Sólidos suspendidos totales	SM 2540-D

Tabla 3. Parámetros analizados y Técnica aplicada

## RESULTADOS

### Análisis Cualitativo

Se llevó a cabo la identificación taxonómica del fitoplancton en cada una de las lagunas. En la Tabla 4 se presenta una lista de las taxa identificadas en las lagunas analizadas, clasificados por Phylum. Los Phylum reconocidos incluyen **Bacillariophyta (B)**, **Charophyta (C)**, **Chlorophyta (CL)**, **Cyanobacteria (CB)** y **Euglenozoa (E)**.

TAXONES OBSERVADOS			LB	LC	LN
B	1	<i>Chaetoceros</i> Ehrenberg, 1844	✓	✓	✓
B	2	<i>Craticula</i> Grunow, 1868	✓	✓	✓
B	3	<i>Cyclotella</i> (Kützing) Brébisson, 1838	✓	✓	✓
B	4	<i>Cymbella</i> C.Agardh, 1830	✓	✓	✓
B	5	<i>Diploneis</i> Ehrenberg ex Cleve, 1894	✓	✓	✓
B	6	<i>Frustulia</i> Rabenhorst, 1853	✓	✓	✓
B	7	<i>Gyrosigma</i> Hassall, 1845	✓	✓	✓
B	8	<i>Nitzschia</i> Hassall, 1845 sp A	✓	✓	✓
B	9	<i>Nitzschia</i> Hassall, 1845 sp B	✓	✓	✓
B	10	<i>Plagiotropis</i> Pfitzer, 1871	✓	✓	✓
B	11	<i>Surirella</i> Turpin, 1828	✓	✓	✓
B	12	<i>Tryblionella</i> W.Smith, 1853	✓	✓	✓
C	1	<i>Closterium</i> Nitzsch ex Ralfs, 1848 sp A	✓	✓	✓
C	2	<i>Closterium rostratum</i> Ehrenberg 1848	✓	✓	✓
C	3	<i>Elakatothrix</i> Wille, 1898	✗	✓	✓
CL	1	<i>Actinastrum</i> Lagerheim, 1882	✓	✓	✓
CL	2	<i>Ankistrodesmus</i> Corda, 1838	✓	✓	✓
CL	3	<i>Ankyra</i> Fott, 1957	✗	✓	✓
CL	4	<i>Chlorella vulgaris</i> Beijerinck 1890	✓	✓	✓
CL	5	<i>Chlamydomonas</i> Ehrenberg, 1833	✓	✓	✓

PROGRAMA DE POSTGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS HÍDRICAS (CON MENCIÓN AMBIENTAL)

CL	6	<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli 1855	✓	✓	✓
CL	7	<i>Desmodesmus communis</i> E.Hegewald 2000	✓	✓	✓
CL	8	<i>Dictyosphaerium</i> Nägeli, 1849	✓	✓	✓
CL	9	<i>Franceia</i> Lemmermann, 1898	✓	✓	✓
CL	10	<i>Golenkinia</i> Chodat, 1894	✓	✓	✓
CL	11	<i>Lagerheimia quadriseta</i> G.M.Smith 1926	✓	✓	✓
CL	12	<i>Micractinium</i> Fresenius, 1858	✓	✓	✓
CL	13	<i>Monoraphidium</i> Komárková-Legnerová, 1969	✓	✓	✓
CL	14	<i>Monoraphidium komarkovae</i> Nygaard 1979	✓	✓	✓
CL	15	<i>Monoraphidium minutum</i> Komárková-Legnerová	✓	✓	✓
CL	16	<i>Oocystis</i> Nägeli ex A.Braun, 1855	✓	✓	✓
CL	17	<i>Pseudopediastrum boryanum</i> E.Hegewald 2005	✓	✓	✓
CL	18	<i>Pediastrum duplex</i> Meyen 1829	✓	✓	✓
CL	19	<i>Scenedesmus acuminatus</i> Uherkovich 1966	✓	✓	✓
CL	20	<i>Sphaerocystis</i> R.Chodat, 1897	✓	✓	✓
CL	21	<i>Tetradesmus dimorphus</i> (Turpin) M.J.Wynne 2016	✓	✓	✓
CL	22	<i>Tetradesmus lagerheimii</i> M.J.Wynne & Guiry 2016	✓	✓	✓
CL	23	<i>Tetradesmus</i> G.M.Smith, 1913	✓	✓	✓
CB	1	<i>Anabaena</i> Bory ex Bornet & Flahault, 1886	✓	✓	✓
CB	2	<i>Merismopedia</i> Meyen, 1839	✗	✓	✓
CB	3	<i>Microcystis aeruginosa</i> Kützing 1846	✓	✓	✓
CB	4	<i>Microcystis flos-aquae</i> Kirchner 1898	✓	✓	✓
CB	5	<i>Oscillatoria</i> Vaucher, 1892	✓	✓	✓
CB	6	<i>Pseudanabaena</i> Lauterborn, 1915	✓	✓	✓
CB	7	<i>Snowella</i> Elenkin, 1938	✗	✓	✓
E	1	<i>Euglena</i> Ehrenberg, 1830	✓	✓	✓

Tabla 4. Taxa identificada en cada laguna.

La Tabla 5 muestra el número de taxones identificados para cada Phylum y para cada laguna en particular.

LAGUNA	B	C	CL	CB	E	TOTAL
Laguna de la Base	12	2	22	5	1	42
Laguna del Caño	12	3	23	7	1	46
Laguna Negra	12	3	23	7	1	46

Tabla 5. Distribución de los taxones identificados.

Se identificaron los 12 mismos géneros de diatomeas en las 3 lagunas, pero se destaca una especie del género *Nitzschia* presente en grandes cantidades en la Laguna de la Base.

Debido a su abundancia e importancia ecológica también se destacaron las diatomeas céntricas (con especial énfasis el género *Chaetoceros*), la familia Scenedesmaceae y los géneros *Microcystis*, *Nitzschia*, *Chlamydomonas* y *Euglena*.

El Gráfico 4 muestra los porcentajes referidos a cada Phylum en cada una de las lagunas. En cuanto a Charophyta, 3 taxones fueron identificados en total. El número de Chlorophyta identificadas varía en cada laguna, siendo 22 el número de especies en la Laguna de la Base y 23 en las restantes. El número de Cyanobacteria identificadas es de 7 en la Laguna del Caño y en la Laguna Negra.

En la Laguna de la Base el número de especies identificadas es de 5. Se destaca el reconocimiento de las cianobacterias debido a que varias de las especies identificadas son capaces de generar toxinas como la microcistina.

Sólo un integrante del Phylum Euglenozoa fue identificado en todas las lagunas, siendo este, *Euglena* sp.

Se observa que en todas las lagunas las proporciones son similares, donde el 50 a 52% de los taxones pertenecen al Phylum Chlorophyta, entre el 26% a 28% son diatomeas, el 12% al 15% son cianobacterias, el 4% al 6% pertenecen a Charophyta y solo un 2% son Euglenozoa.

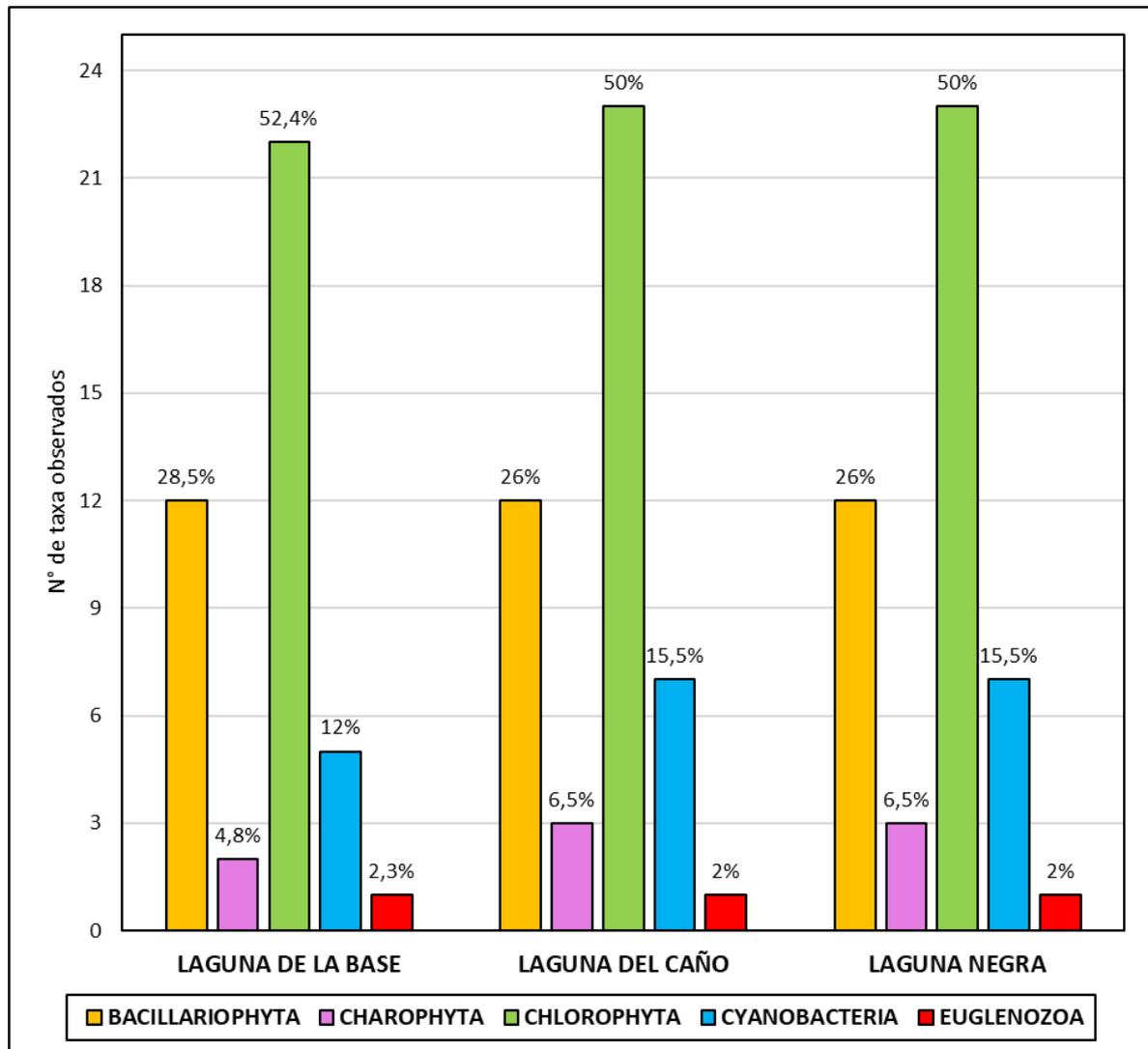


Gráfico 4. Distribución porcentual de las taxa observadas para cada una de las lagunas muestreadas.

### Análisis cuantitativo

Se contaron un total de 81 muestras durante el período de estudio. El Gráfico 5, muestra la evolución espacio temporal de la abundancia de fitoplancton total. Se observó un máximo de concentración de fitoplancton en primavera de 2022 para las lagunas del Caño y Negra, y para fines de primavera-principio de verano 2021 para la Laguna de la Base.

El día 18 de enero de 2022 debido a la gran evaporación por las altas temperaturas no se pudo realizar el muestreo en la Laguna de la Base ya que el cuerpo de agua redujo considerablemente su área y debido a las características del terreno no fue posible acceder

hasta la orilla. Se evidencia en las 3 lagunas una disminución de la concentración de fitoplancton en los meses de otoño–invierno, acompañado con el descenso de las temperaturas y los cambios en el fotoperiodo.

En contraparte los picos de floraciones de fitoplancton se han dado en primavera y verano, estaciones con temperaturas más cálidas y con un mayor fotoperiodo. En cuanto a las concentraciones máximas y mínimas estacionales en la Laguna de la Base, el pico máximo estival fue de  $1,17 \times 10^9$  cél/L mientras que el mínimo fue de  $7,44 \times 10^7$  cél/L.

Durante el otoño el máximo fue de  $2,67 \times 10^8$  cél/L y el mínimo de  $6,48 \times 10^7$  cél/L. En el invierno el máximo fue de  $3,13 \times 10^8$  cél/L y el mínimo de  $1,25 \times 10^8$  cél/L. Llegada la primavera el máximo y mínimo registrados en esta laguna fueron de  $8,72 \times 10^8$  cél/L y  $7,32 \times 10^7$  cél/L respectivamente.

En cuanto a las concentraciones máximas y mínimas estacionales en la Laguna del Caño, el pico máximo estival fue de  $5,15 \times 10^8$  cél/L mientras que el mínimo fue de  $6,42 \times 10^7$  cél/L. Durante el otoño el máximo fue de  $2,84 \times 10^8$  cél/L y el mínimo de  $3,26 \times 10^7$  cél/L. Durante el invierno el máximo fue de  $4,17 \times 10^8$  cél/L y el mínimo de  $1,44 \times 10^8$  cél/L.

Durante la primavera el máximo y mínimo registrados en esta laguna fueron de  $1,22 \times 10^9$  cél/L y  $5,66 \times 10^7$  cél/L respectivamente. Los máximos y mínimos de concentración fitoplanctónica durante el verano en la Laguna Negra fueron de  $6,99 \times 10^7$  cél/L y  $4,36 \times 10^7$  cél/L respectivamente. Durante el otoño el máximo fue de  $1,71 \times 10^8$  cél/L y el mínimo de  $1,46 \times 10^7$  cél/L. El invierno presentó una elevación de los valores llegando a un máximo de  $1,94 \times 10^8$  cél/L y un mínimo de  $2,09 \times 10^7$  cél/L.

Durante inicios de la primavera, la Laguna Negra presentó una concentración mínima de  $5,35 \times 10^7$  cél/L y durante el mes de octubre registró la concentración más elevada de todas las lagunas a lo largo de todas las estaciones, llegando a un máximo de células por litro de  $1,31 \times 10^9$ , valores relacionados a una intensa floración de Chlorophytas, particularmente de la familia Scenedesmeaceas. La Tabla 6 se resume los valores máximos y mínimos de concentración en función de las estaciones para cada laguna.

	Máximos y mínimos de concentración (Millones de cél/Litro)					
	Laguna de la Base		Laguna del Caño		Laguna Negra	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
VERANO	74,4	1170	64,2	516	43,6	69,9
OTOÑO	64,8	267	32,6	284	14,6	171
INVIERNO	125	313	144	417	20,9	194
PRIMAVERA	73,2	872	56,6	1220	53,5	1310

Tabla 6. Máximos y mínimos de concentración.

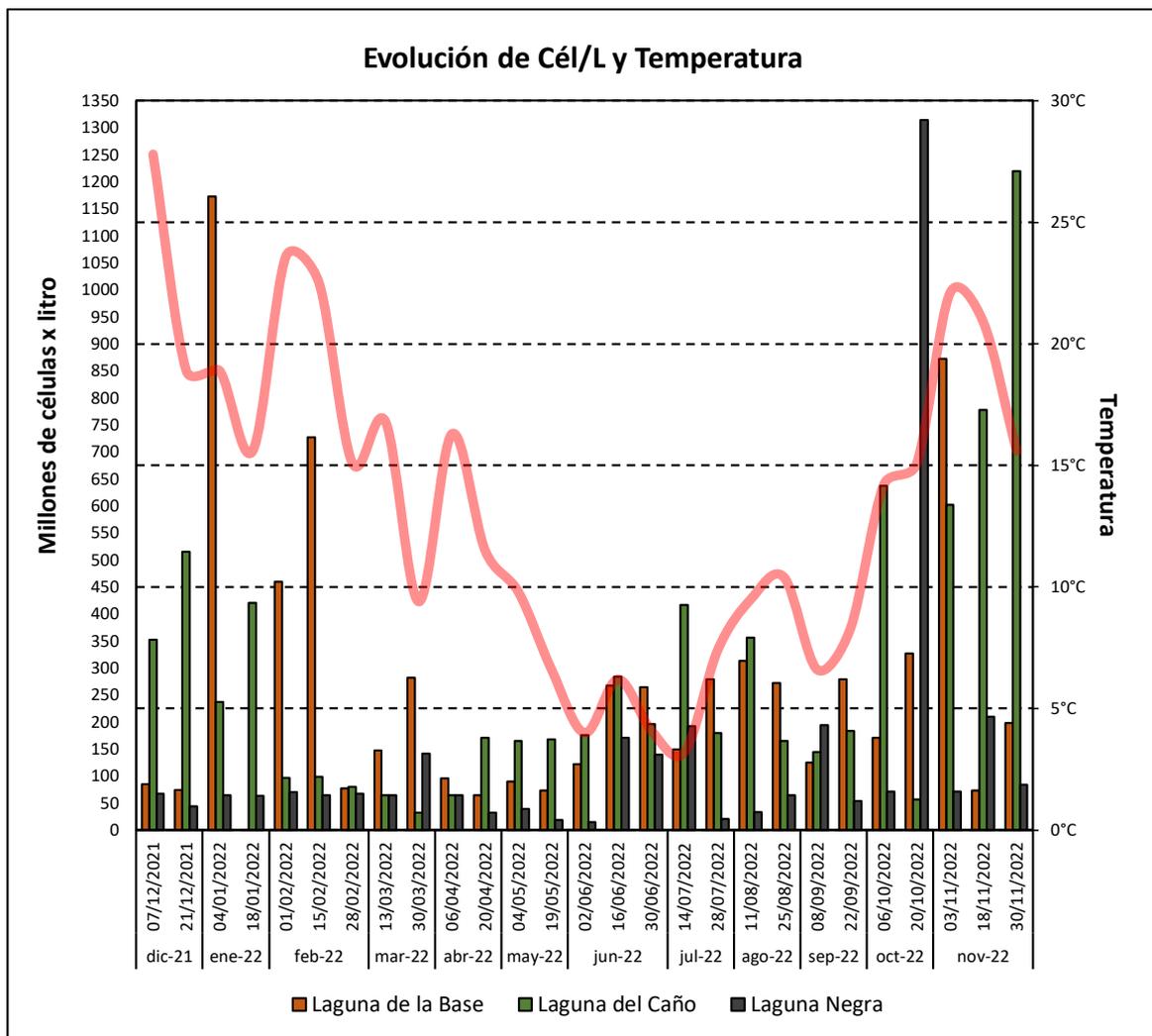


Gráfico 5. Evolución de la concentración de fitoplancton total y la temperatura

El Gráfico 6, 7 y 8 muestran la distribución de la abundancia relativa espaciotemporal de cada Phylum. Se observa que las 3 lagunas presentan una elevada proporción de diatomeas y clorófitas, acompañadas de esporádicas floraciones de carófitas, euglenoides y

cianobacterias, aunque estas últimas en la Laguna de la Base son las que menos se han manifestado.

Las carófitas tuvieron una frecuencia moderada de aparición en la Laguna de la Base y muy baja en la Laguna del Caño. Las euglenoides presentaron su mayor distribución espacio temporal en la Laguna Negra.

Las floraciones de diatomeas en la Laguna de la Base, en su gran mayoría se corresponden a floraciones de *Nitzschia* y *Chaetoceros* y en una pequeña proporción a los géneros *Frustulia* y *Cyclotella*. Por otra parte, las floraciones de clorófitas fueron en su gran mayoría *Clamydomonas*, con esporádicas floraciones más pequeñas de Scenedesmeaceas y *Monoraphidium*.

La abundancia relativa fluctuó entre diatomeas y clorófitas dominantes en los períodos de primavera verano y las carófitas en otoño invierno. Además, se observa que en otoño-invierno aparecen también los euglenoideos hasta principios de primavera.

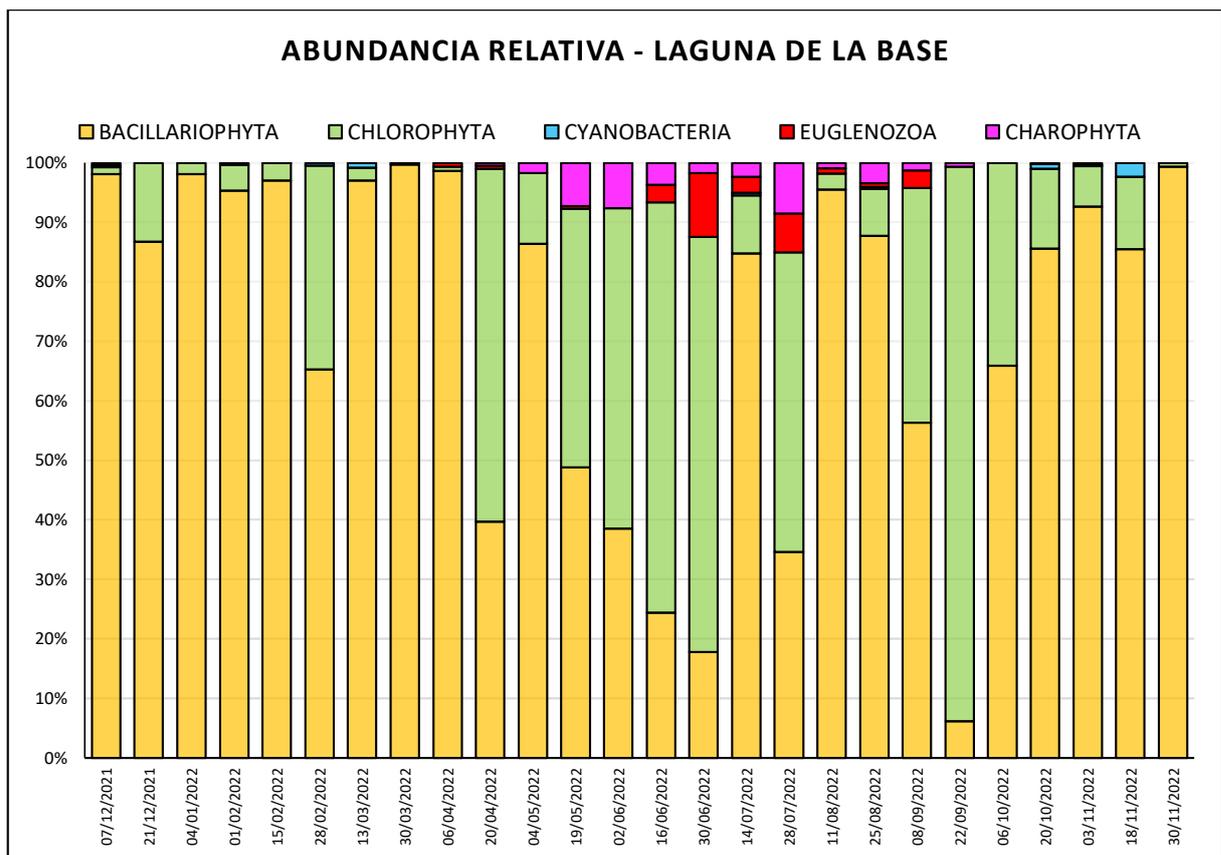


Gráfico 6. Abundancia relativa espaciotemporal – Laguna de la Base

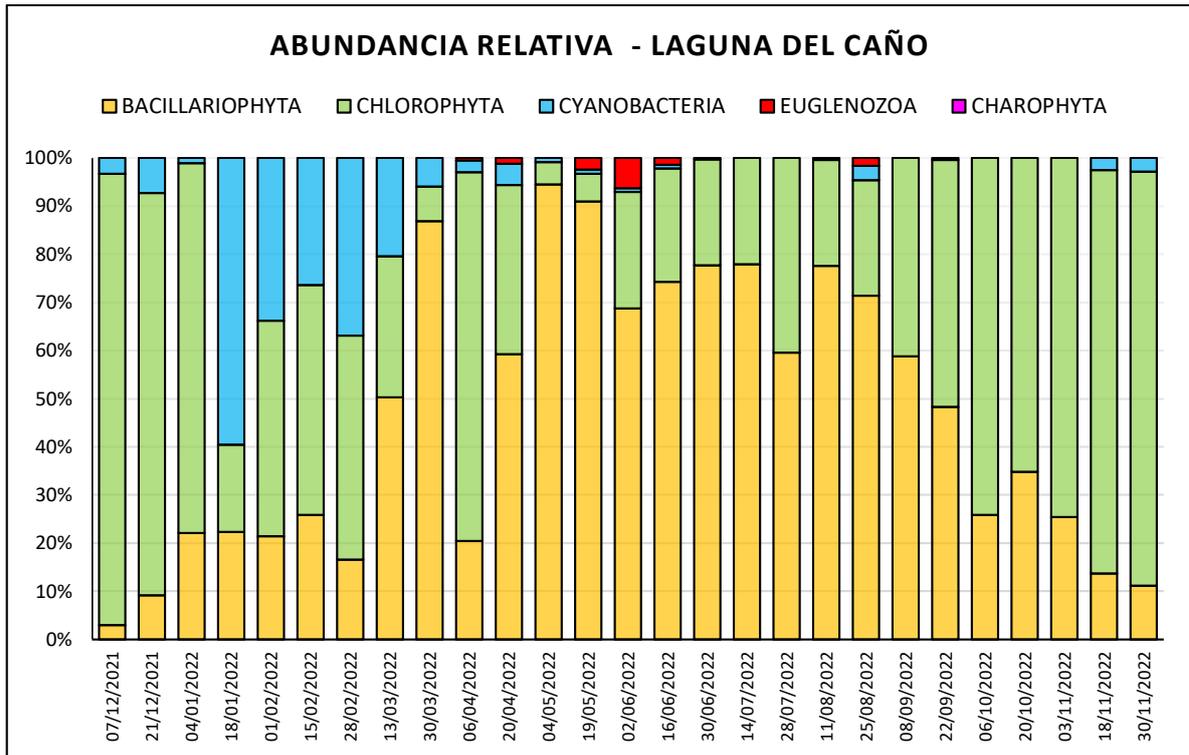


Gráfico 7. Abundancia relativa espaciotemporal – Laguna del Caño

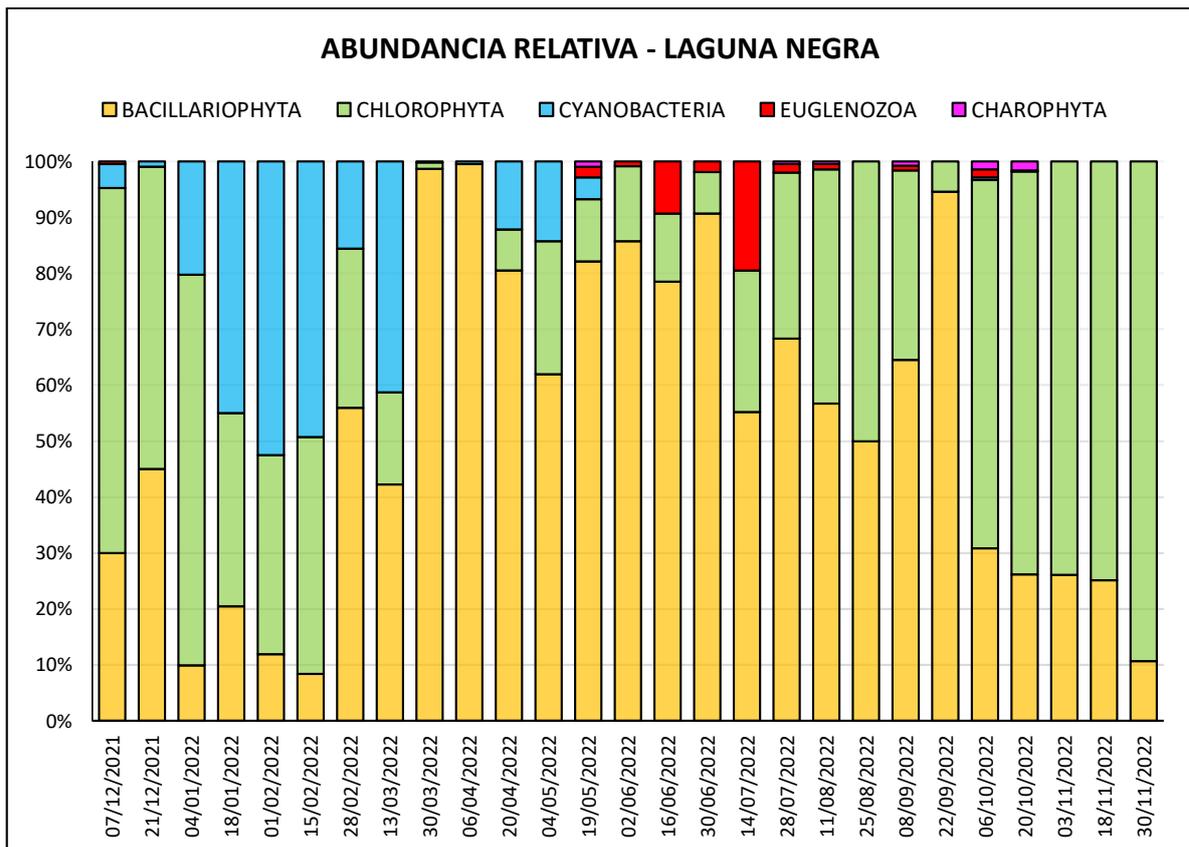


Gráfico 8. Abundancia relativa espaciotemporal – Laguna Negra

El pico máximo de concentración de *Nitzschia* se dio a comienzos de enero con una concentración de  $1,13 \times 10^9$  cél/l (Gráfico 5), representando el 98% de la biomasa fitoplanctónica presente ese día. Esto es importante de destacar ya que la presencia excesiva de diatomeas puede llevar a una disminución en el oxígeno disuelto, cambios en la calidad del agua y afectar negativamente a otras formas de vida acuática.

El género *Chaetoceros* presentó durante varios días del mes de agosto una dominancia elevada, llegando a formar entre el 87- 94% del fitoplancton total (Gráfico 6). *Chlamydomonas* fue el género dominante desde la mitad de abril hasta fines de junio, representando en promedio el 90% del fitoplancton presente durante ese periodo. Durante el inicio de la primavera también dominó con una concentración máxima de  $2,54 \times 10^8$  cél/l (98% del total) (Gráfico 5). Solo en la Laguna de la Base se observó una dominancia relativa tan alta de este género. (Gráfico 6)

En cuanto a la Laguna del caño, las floraciones predominantes corresponden a diatomeas y scenedesmeaceas, con algunas floraciones puntuales de cianobacterias, euglenoideos y carófitas. *Nitzschia* es un género que se hace presente a lo largo de todo el año denotando una dominancia elevada durante los meses de mayo a septiembre. Acompañando a este género se encuentran las cianobacterias, presentes de diciembre a junio. La concentración máxima de cianobacterias detectada fue de  $2,51 \times 10^8$  cél/Litro en el mes de enero (Gráfico 5).

Durante los meses de octubre y noviembre la dominancia es de clorófitas, específicamente de scenedesmeaceas mientras que las diatomeas disminuyen su población considerablemente. Entre los meses de mayo a agosto, no se cuantificaron cianobacterias, estas fueron observadas nuevamente a fines del verano, principios de otoño. Las euglenas son esporádicas, siendo su mayor floración en el mes de junio (Gráfico 7) La floración máxima de clorófitas se dio en noviembre, predominando las scenedesmeaceas con una concentración total de  $9,91 \times 10^8$  cél/Litro correspondiente a un 94% de la población total. El máximo de diatomeas se dio en mayo siendo  $1,56 \times 10^8$  cél/Litro, esta floración fue de *Cyclotella* sp. La Laguna del Caño es la laguna que presenta un menor desarrollo espaciotemporal de charophytas. (Gráfico 7)

La Laguna Negra presentó el mayor pico de concentración de las 3 lagunas con  $1,34 \times 10^9$  cél/Litro el día 20 de octubre (Gráfico 5). Este mismo día se dio la floración máxima de clorófitas ( $9,63 \times 10^8$  cél/Litro) y diatomeas ( $3,50 \times 10^8$  cél/Litro) representado un 72% y 26% de la población respectivamente (Gráfico 8).

Los géneros predominantes en esa floración fueron *Cyclotella*, *Diploneis*, *Tetrademus* y *Scenedesmus*. Las poblaciones de diatomeas predominan durante los meses de febrero a septiembre. Es la laguna que presentó la mayor concentración de euglenoideos ( $3,75 \times 10^7$  cel/Litro), durante el mes de julio. A diferencia de las otras lagunas que presentan euglenoideos en distintas concentraciones a lo largo del año, en la Laguna Negra se presentan en concentraciones considerables entre mayo y octubre (Gráfico 8).

Las cianobacterias estuvieron presentes de febrero a marzo. La concentración máxima de cianobacterias detectada fue de  $3,67 \times 10^7$  cél/Litro en el mes de febrero. (Gráfico 8)

### Índices Ecológicos

Se realizaron los cálculos de los índices de Riqueza (Gráfico 9), Diversidad (Gráfico 10) y Dominancia (Gráfico 11). Luego se realizó un análisis de la varianza y un test de Tukey entre los mismo para detectar posibles diferencias (Tabla 7)

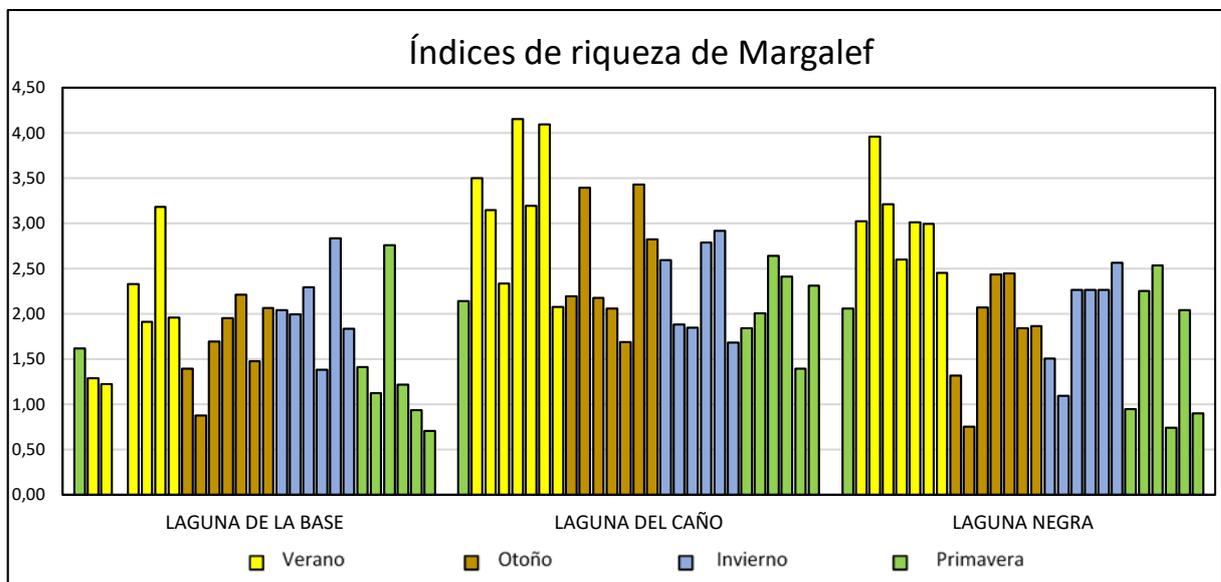


Gráfico 9. Índice de Riqueza de Margalef

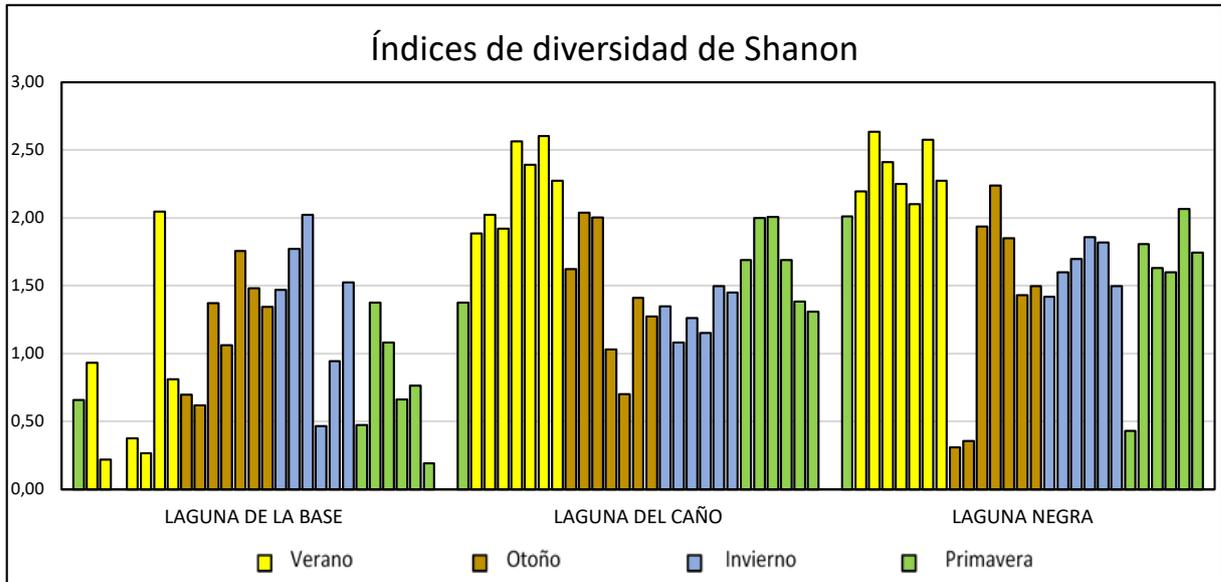


Gráfico 10. Índice de Diversidad de Shannon

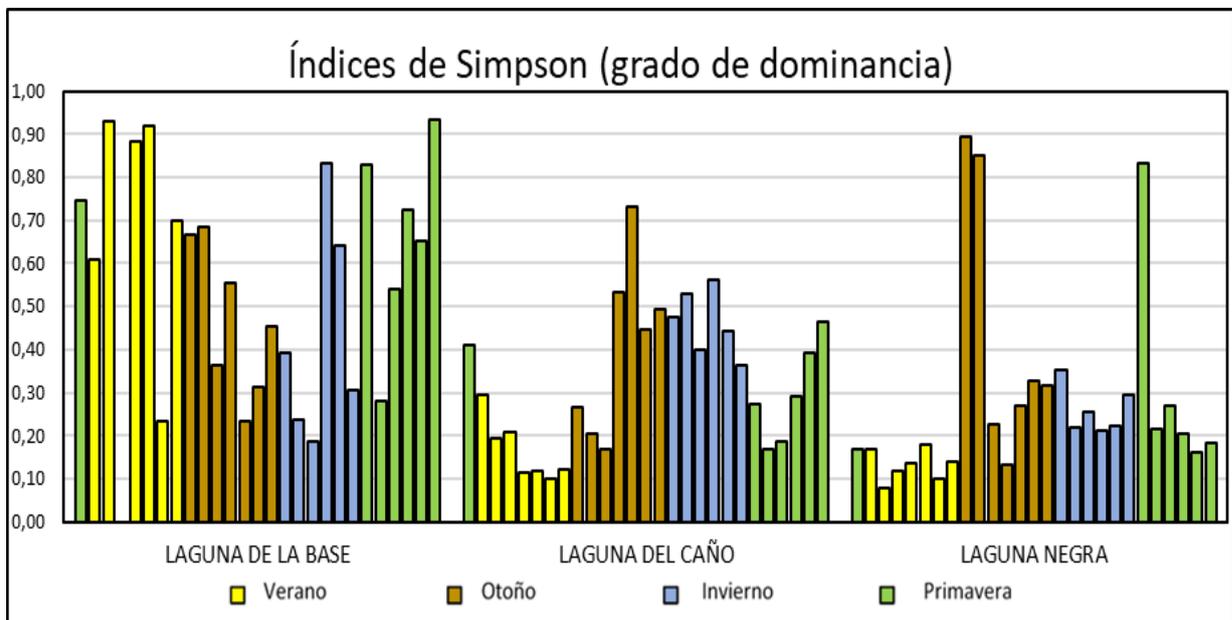


Gráfico 11. Grado de Dominancia

En relación a la riqueza de especies, se observa que durante la estación de verano las tres lagunas presentan los valores más altos. Específicamente, en las Lagunas del Caño y Negra se registró una riqueza mayor en comparación con la Laguna de La Base (Kruskal-Wallis,  $p > 0.05$ ). En cuanto a la Diversidad calculada mediante el índice de Shannon, nuevamente se encontró que las Lagunas del Caño y Negra presentan una mayor diversidad biológica que la Laguna de la Base (Gráfico 10).

El índice de dominancia de Simpson indica que tanto la Laguna del Caño como la Negra muestran una baja dominancia de especies, lo cual concuerda con el cálculo de diversidad que las posiciona como las más diversas. Los índices demuestran que, en comparación con la Laguna del Caño y Negra, la Laguna de la Base tiene en promedio una comunidad con menor cantidad de individuos y con pocas taxa dominantes, como *Nitzschia*, *Chaetoceros* o *Chlamydomonas*.

En cuanto a la Laguna del Caño, no presenta diferencias significativas en términos de riqueza y diversidad en comparación con la Laguna Negra (Gráfico 9 y 10). Sin embargo, la Laguna del Caño presenta especies de dominancia más elevada, como las pertenecientes a la familia Scenedesmaceae, *Microcystis*, *Cyclotella*, *Pediastrum* y *Monoraphidium*. A diferencia de la laguna anterior, esta comunidad numerosa está compuesta por pocos taxa dominantes.

Los índices de riqueza y diversidad de la Laguna Negra son estadísticamente similares al de la Laguna del Caño. En cuanto a la dominancia esta laguna es estadísticamente similar a la Laguna de la Base (Gráfico 11), pero si se observa el Gráfico 5, se pueden observar picos específicos muy elevados que influyen en este análisis. En este caso nos encontramos ante una laguna con una comunidad igual de numerosa que la Laguna del Caño y más grande que la Laguna de la Base y que en determinadas épocas se encuentra dominada por taxa específicos como las diatomeas en inicios del otoño y las scenedesmeaceas en inicios de la primavera. En esta laguna la dominancia de taxa tiende a aumentar durante los meses de menor temperatura (Gráfico 11)

	LAGUNA DE LA BASE				LAGUNA DEL CAÑO				LAGUNA NEGRA			
	V	O	I	P	V	O	I	P	V	O	I	P
RIQUEZA	A	A	A	A	A	AB	AB	B	A	B	B	B
DIVERSIDAD	A	A	A	A	A	B	B	B	A	AB	AB	B
DOMINANCIA	A	A	A	A	A	A	AB	B	A	A	A	A

Tabla 7. Test TUKEY de los índices calculados.

La Laguna de la Base no presenta variaciones notables en cuanto a la riqueza, diversidad y dominancia entre las distintas estaciones del año. En el caso de la Laguna del Caño, se observa una variación significativa en la riqueza entre el verano y la primavera. Sin embargo, no se

encontraron diferencias importantes en la riqueza durante los meses de otoño e invierno (Tabla 7).

En cuanto a la diversidad, se encontró que en la temporada de verano es considerablemente mayor en comparación con el resto del año. En cuanto a la dominancia, no se presentaron discrepancias notorias entre el verano y el otoño, pero sí se encontraron diferencias apreciables en comparación con la primavera. La Laguna Negra exhibe una riqueza y diversidad significativamente superiores durante el verano en comparación con las demás estaciones (Tabla 7). Aunque se presentan picos de dominancia debido a floraciones en fechas específicas, en general, la dominancia no experimenta cambios notables a lo largo de las estaciones. (Tabla 7). La presencia de dos letras distintas en la clasificación del test de TUKEY indica que se requiere un mayor número de datos para poder realizar el análisis de medias.

### Índice Genérico de Diatomeas

En base a los cálculos de calidad de agua determinado por el IDG (Índice genérico de diatomeas), se observó que el índice varía entre 1 y 4, valores correspondientes a una calidad biológica muy mala (Tabla 8).

ESTACIÓN	LAGUNA DE LA BASE	LAGUNA DEL CAÑO	LAGUNA NEGRA		
VERANO	1,31	2,85	3,95		
OTOÑO	2,8	3,07	2,69		
INVIERNO	2,68	2,94	2,2		
PRIMAVERA	1,88	2,89	2,96		
COLOR					
CALIDAD BIOLÓGICA	MUY BUENA	BUENA	MODERADA	MALA	MUY MALA
VALOR DEL ÍNDICE	20-17	17-13	13-9	9-5	5-1

Tabla 8. Índice de calidad agua calculado con IDG

### Índice para diatomeas e Índice compuesto de Nygaard

Las Tablas 9, 10 y 11 muestran el valor del Índice compuesto de Nygaard, clasificando a las tres lagunas en mesotróficas en la estación de invierno y eutróficas en las estaciones de primavera, verano y otoño. El índice no pudo ser calculado para la temporada de verano en la Laguna de la Base y en la Laguna Negra, debido a que no se registró la presencia de géneros pertenecientes a la Familia Desmidiaceae durante esta estación.

LAGUNA DE LA BASE				
ESTACION	INDICE DE DIATOMEAS		INDICE COMPUESTO	
VERANO	0,25	CONDICIONES DE ENRIQUECIMIENTO	-	-
OTOÑO	0,25	CONDICIONES DE ENRIQUECIMIENTO	4	EUTROFICO
INVIERNO	0,25	CONDICIONES DE ENRIQUECIMIENTO	2,5	MESOTROFICO
PRIMAVERA	0,22	CONDICIONES DE ENRIQUECIMIENTO	6	EUTROFICO

Tabla 9. Índice de Diatomeas e Índice de Nygaard de la Laguna de la Base

LAGUNA DEL CAÑO				
ESTACION	INDICE DE DIATOMEAS		INDICE COMPUESTO	
VERANO	0,33	CONDICIONES DE ENRIQUECIMIENTO	8	EUTROFICO
OTOÑO	0,28	CONDICIONES DE ENRIQUECIMIENTO	4	EUTROFICO
INVIERNO	0,28	CONDICIONES DE ENRIQUECIMIENTO	2	MESOTROFICO
PRIMAVERA	0,22	CONDICIONES DE ENRIQUECIMIENTO	7	EUTROFICO

Tabla 10. Índice de Diatomeas e Índice de Nygaard de la Laguna del Caño

LAGUNA NEGRA				
ESTACION	INDICE DE DIATOMEAS		INDICE COMPUESTO	
VERANO	0,25	CONDICIONES DE ENRIQUECIMIENTO	-	-
OTOÑO	0,28	CONDICIONES DE ENRIQUECIMIENTO	7	EUTROFICO
INVIERNO	0,20	CONDICIONES DE ENRIQUECIMIENTO	1	MESOTROFICO
PRIMAVERA	0,14	POBRE EN NUTRIENTES	4	EUTROFICO

Tabla 11. Índice de Diatomeas e Índice de Nygaard de la Laguna Negra

El cálculo del índice de diatomeas de Nygaard muestra que las lagunas presentaron condiciones de enriquecimiento durante gran parte del año. (Tabla 9, 10y 11)

#### Análisis fisicoquímico (CE, SDT, pH y T°) - Laguna de la Base -

- **Verano:**

Durante el verano, los parámetros muestran cierta variabilidad (Gráfico 12 y 13). La CE varía desde un mínimo de 5713 hasta un máximo de 13290  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un promedio de 10510,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El pH oscila entre 8.5 y 9.5, con un promedio de 8,9. Los SDT varían de 2752 a 6901 ppm, con un promedio de 5205 ppm. La temperatura se mantiene en un rango de 14 a 20 °C, con un promedio de 16°C.

- **Otoño:**

Durante el otoño, los parámetros continúan mostrando cierta variabilidad (Gráfico 12 y 13). La conductividad eléctrica oscila entre un mínimo de 4996 y un máximo de 15970  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un promedio de 10184  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El pH se mantiene en un rango de 8,9 a 9,5, con un promedio de 9,1. Los sólidos disueltos totales varían de 2429 a 7341 ppm, con un promedio de 5040 ppm. La temperatura se mantiene en un rango de 9 a 18  $^{\circ}\text{C}$ , con un promedio de 14  $^{\circ}\text{C}$ .

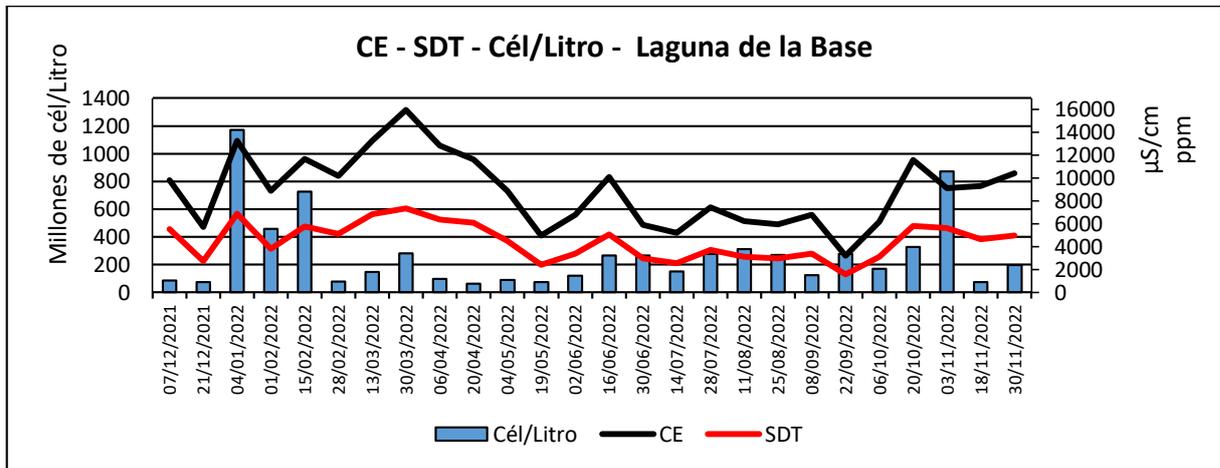


Gráfico 12. Cambios en la concentración, conductividad y SDT – Laguna de la Base

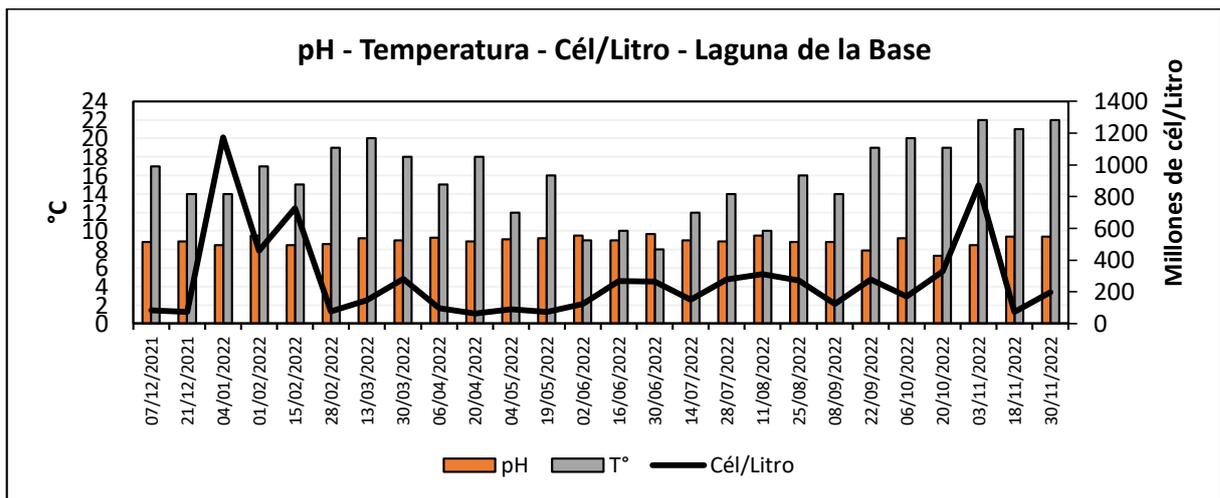


Gráfico 13. Cambios en la concentración, pH y temperatura - Laguna de la Base

- **Invierno:**

La CE varía desde un mínimo de 5210 hasta un máximo de 7446  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un promedio de 6255  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los SDT muestran valores entre 2558 y 3723 ppm, con un promedio de 3120 ppm. El pH se mantiene en niveles cercanos a 9,1. La temperatura varía entre 8 y 16  $^{\circ}\text{C}$ , con un promedio de 12  $^{\circ}\text{C}$ .

- **Primavera:**

Durante la primavera la conductividad eléctrica varía desde un mínimo de 3196 hasta un máximo de 11600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Gráfico 12 y 13), con un promedio de 8527  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El pH oscila entre 7,3 y 9,4, con un promedio de 8,7. Los sólidos disueltos totales varían de 1598 a 5804 ppm, con un promedio de 4474 ppm. La temperatura se mantiene en un rango de 17 a 22°C, con un promedio de 20°C.

En resumen, se observa una variación estacional en los parámetros analizados. Durante el verano y la primavera, los valores tienden a ser más altos, mientras que en el otoño y el invierno tienden a disminuir. Según los resultados del análisis de regresión múltiple, parece haber una correlación moderada entre las variables CE, pH, SDT, T° en conjunto y la concentración (Cél/Litro). Sin embargo, el modelo de regresión múltiple ajustado demostró que solo alrededor del 7.8% de la variabilidad en "Cél/Litro" se explica por las variables independientes incluidas en el modelo. Además, las variables individuales (CE, pH, SDT, T°) no son estadísticamente significativas en relación con "Cél/Litro" ( $p > 0.05$ ).

#### **Análisis fisicoquímico (OD y DBO) – Laguna de la Base -**

- **Verano:**

En verano, se observa una alta concentración de fitoplancton (727.273.800 cél/Litro), lo cual puede ser atribuido a las condiciones favorables para su crecimiento. Durante esta estación, las temperaturas suelen ser más altas, lo que puede promover la proliferación de organismos fotosintéticos, como el fitoplancton. Además, el aumento de las horas de luz y la disponibilidad de nutrientes pueden contribuir a un mayor crecimiento de estas poblaciones. El nivel de oxígeno disuelto registrado en esta estación es el más alto en relación a las demás estaciones, lo cual puede estar influenciado por la actividad fotosintética del fitoplancton, que produce oxígeno como subproducto fotosintético (Gráfico 14). Además, la agitación debida a los vientos puede contribuir a una mayor oxigenación del agua, lo que se condice con las características climáticas de la zona (verano ventoso) En este muestreo en particular se registraron ráfagas de mucho viento (50km/h). El valor de DBO (36,3mg/L) indica una demanda bioquímica de oxígeno moderada, pudiendo estar amortiguada por la oxigenación del viento y la producción de biomasa.

- **Otoño:**

En otoño, la concentración de fitoplancton disminuye significativamente (95.820.000 cél/Litro) en comparación con el verano. Influenciado por la disminución de las horas de luz y las temperaturas más frescas, puede verse reducida la tasa de crecimiento y la actividad metabólica del fitoplancton. Además, el nivel de oxígeno disuelto (11,3 mg/L) muestra una disminución, posiblemente debido a una menor actividad fotosintética y a procesos de descomposición microbiana más activos en la laguna. El valor de DBO (52mg/L) indica una mayor demanda bioquímica de oxígeno, lo cual puede estar relacionado con la descomposición de la materia orgánica presente en el efluente.

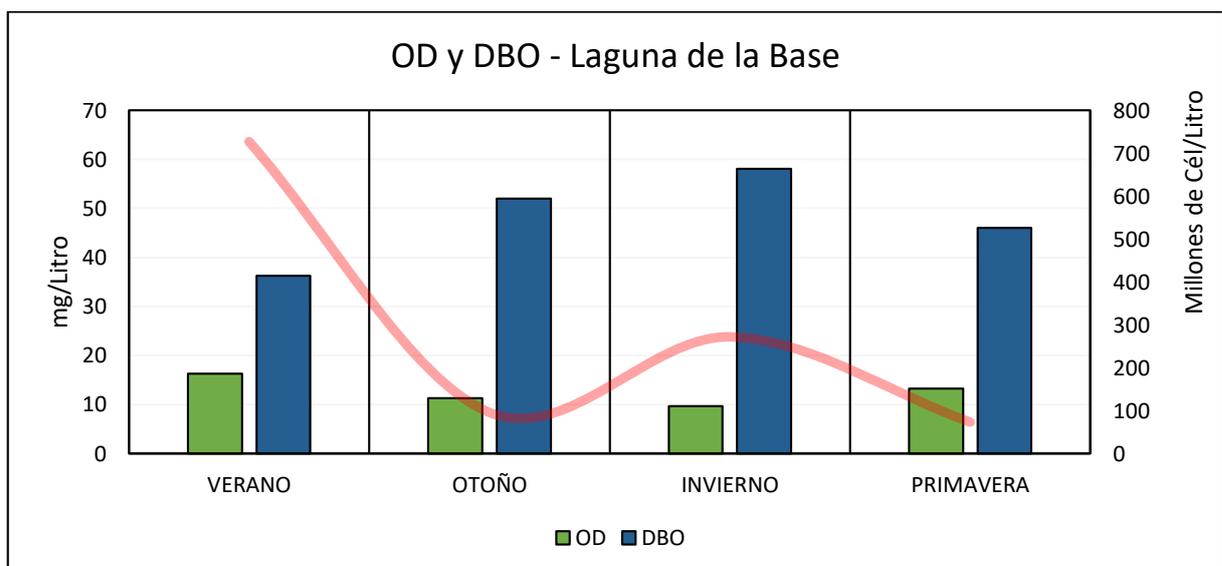


Gráfico 14. Laguna de la Base - Concentración, OD y DBO en las distintas estaciones

- **Invierno:**

En invierno, la concentración de fitoplancton aumenta (272.128.800 cél/Litro). Además, el nivel de oxígeno disuelto (9,65mg/L) disminuye en relación a la estación pasada, pudiendo deberse al aumento de la actividad fotosintética y a una mayor DBO (58,1mg/L) por parte de los procesos de descomposición bacteriana en condiciones más frías. El valor de DBO registrado en invierno es el máximo registrado para esta laguna.

- **Primavera:**

En primavera, la concentración de fitoplancton presenta un descenso marcado (73.233.857 cél/Litro), posiblemente encontrándose en una etapa de crecimiento, debido a que en el

muestreo anterior la concentración era 12 veces mayor (871.962.000 cél/Litro). El nivel de oxígeno disuelto (13,24mg/L) muestra una ligera recuperación debido a la actividad fotosintética. El valor de DBO (46mg/L) indica una demanda bioquímica de oxígeno moderada, posiblemente relacionada con la descomposición de la materia orgánica presente.

### Análisis fisicoquímico (CE, SDT, pH y T°) - Laguna del Caño -

- **Verano:**

Durante el verano, se observa cierta variación en los parámetros analizados (Gráfico 15 y 16). La CE se mantiene en un rango de 5602 a 6558  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El pH se mantiene relativamente estable alrededor de 8.1 a 8.9, indicando un carácter ligeramente alcalino del agua. Los SDT varían de 2549 a 3711 ppm. La temperatura se mantiene en un rango de 14 a 20 grados Celsius.

- **Otoño:**

Durante el otoño, los parámetros muestran cierta variabilidad. La CE y los SDT presentan fluctuaciones moderadas, lo que indica posibles cambios en la concentración de sustancias disueltas en el agua. El pH se mantiene alrededor de 8.1 a 9.1, lo que indica una ligera alcalinidad del agua (Gráfico 16). La temperatura varía entre 15 y 20°C.

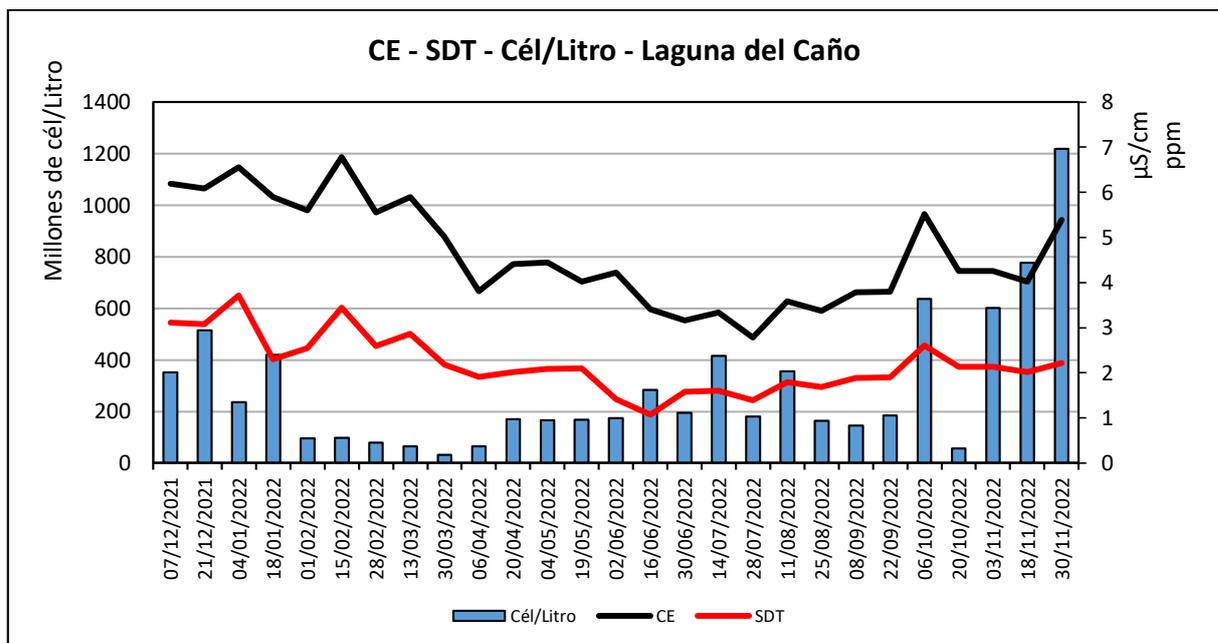


Gráfico 15. Cambios en la concentración, conductividad y SDT – Laguna del Caño

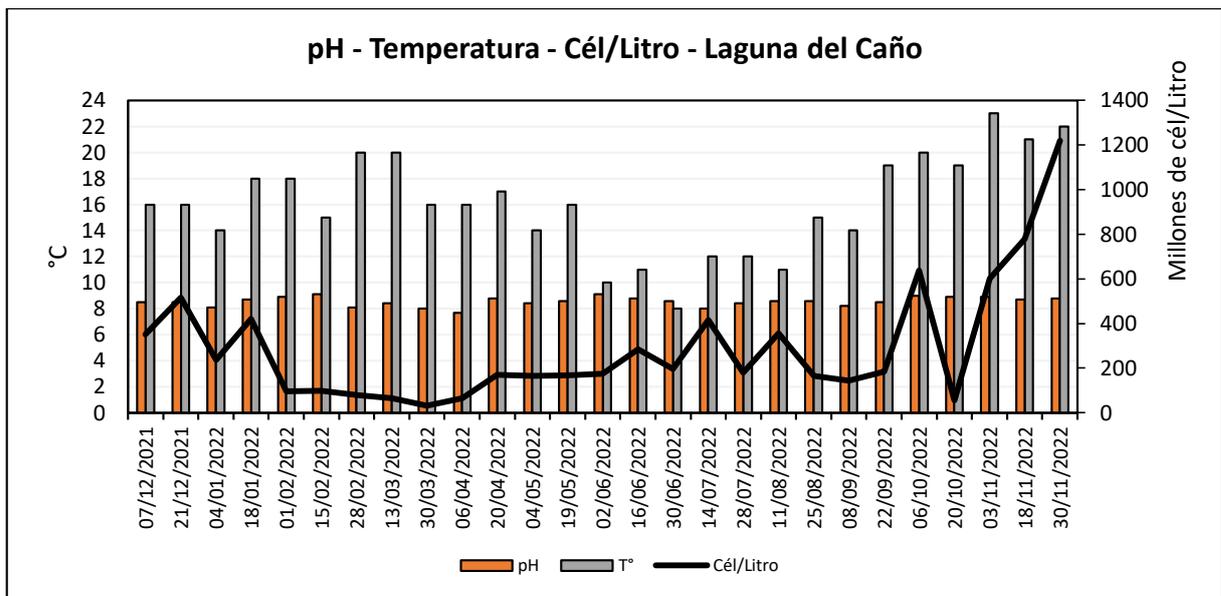


Gráfico 16. Cambios en la concentración, pH y temperatura – Laguna del Caño

- **Invierno:**

Durante el invierno, los parámetros muestran una tendencia a disminuir en comparación con las estaciones anteriores. La CE y los SDT presentan valores más bajos, lo que sugiere una disminución en la concentración de sustancias disueltas en el agua (Gráfico 15). El pH se mantiene en niveles cercanos a 8.1 a 8.9, lo que indica una ligera alcalinidad. La temperatura varía entre 8 y 15 °C.

- **Primavera:**

Durante la primavera, los parámetros nuevamente presentan variabilidad. La conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales muestran fluctuaciones moderadas, lo que indica posibles cambios en la concentración de sustancias disueltas en el agua. El pH se mantiene en niveles cercanos a 8.2 a 8.8, lo que indica un carácter ligeramente alcalino. La temperatura se mantiene en un rango similar a las estaciones anteriores (Gráfico 16).

En el análisis de regresión múltiple, no se encontró evidencia suficiente para afirmar que las variables CE, pH, SDT y T° tengan un efecto significativo en la cantidad de células por litro. Esto sugiere que hay otros factores o variables no incluidos en el modelo que pueden influir en la cantidad de células por litro. Es posible que se necesiten más datos o considerar otras

variables para obtener una comprensión más completa de los factores que afectan la cantidad de células por litro en este contexto.

### Análisis fisicoquímico (OD y DBO) – Laguna del Caño –

- **Verano:**

En esta estación se observó una baja concentración de fitoplancton (98.215.500 cél/Litro) y un nivel ligeramente bajo de oxígeno disuelto (9,3mg/L), lo cual se atribuye a las altas temperaturas y a la degradación de la materia orgánica (Gráfico 17).

- **Otoño:**

La concentración de fitoplancton disminuye significativamente (64.199.400 cél/Litro) debido a las bajas temperaturas y las horas de luz más cortas. Además, el nivel de oxígeno disuelto es bajo (1,63mg/L) debido a la disminución de la actividad fotosintética. La DBO es alta (76,5mg/L) posiblemente debido a la presencia de materia orgánica en el efluente y a la actividad microbiana asociada con su descomposición, lo cual también influye en los niveles de OD.

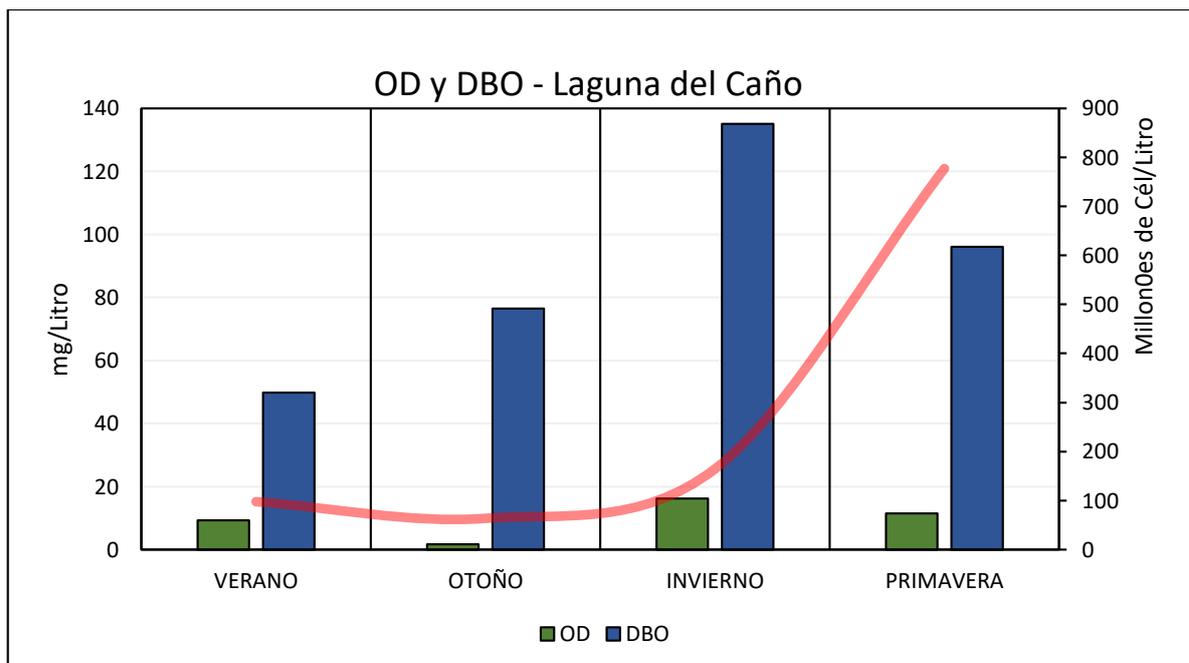


Gráfico 17. Laguna del Caño - Concentración, OD y DBO en las distintas estaciones

- **Invierno:**

Se observa un aumento en la concentración de fitoplancton (164.947.286 cél/Litro), a pesar de las bajas temperaturas. Es posible que ciertas especies de fitoplancton se adapten a ambientes más fríos. El nivel de oxígeno disuelto es 16,3mg/L, ya que la mayor actividad fotosintética facilita la producción de oxígeno (Gráfico 17). La DBO llega casi al doble que en el otoño (135mg/L) siendo el valor más alto registrado en esta laguna, posiblemente debido a una descarga con elevada concentración de materia orgánica.

- **Primavera:**

Se observa un gran aumento en la concentración de fitoplancton (546.942.976 cél/Litro) debido al incremento de las temperaturas, las horas de luz y la disponibilidad de nutrientes. Estas condiciones favorecen un rápido crecimiento del fitoplancton. El nivel de oxígeno disuelto es normal (11,42 mg/L) debido a la mayor actividad fotosintética y a la producción de oxígeno. Además, la DBO muestra una disminución (96mg/L) en comparación con el invierno, ya que la mayor actividad fotosintética y el crecimiento del fitoplancton contribuyen a una reducción en la demanda bioquímica de oxígeno (Gráfico 17).

#### **Análisis fisicoquímico (CE, SDT, pH y T°) - Laguna Negra-**

- **Verano:**

Durante el verano, los parámetros muestran cierta variabilidad (Gráfico 18 y 19). La CE tiene un promedio de 12581  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un valor máximo de 15230 y un mínimo de 1720. El pH tiene un promedio de 8.3, con un valor máximo de 9.1 y un mínimo de 7.5. Los SDT tienen un promedio de 6,673 ppm, con un valor máximo de 7703 y un mínimo de 4,998. La temperatura promedio es de 17°C, con un valor máximo de 20 y un mínimo de 14.

- **Otoño:**

Durante el otoño, los parámetros muestran fluctuaciones moderadas. La conductividad eléctrica tiene un promedio de 13287  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un valor máximo de 15880 y un mínimo de 11560. El pH tiene un promedio de 8.7, con un valor máximo de 9.1 y un mínimo de 8.3. Los SDT tienen un promedio de 6172 ppm, con un valor máximo de 7703 y un mínimo de 5213. La temperatura promedio es de 16 °C, con un valor máximo de 20 y un mínimo de 10.

- **Invierno:**

Durante el invierno, los parámetros muestran una tendencia a disminuir en comparación con las estaciones anteriores (Gráfico 18 y 19). La CE tiene un promedio de 11386  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un valor máximo de 13270 y un mínimo de 8896. El pH tiene un promedio de 8.8, con un valor máximo de 9.2 y un mínimo de 8.5. Los SDT tienen un promedio de 4794 ppm, con un valor máximo de 6074 y un mínimo de 4448. La temperatura promedio es de 12°C, con un valor máximo de 18 y un mínimo de 8. T

- **Primavera:**

Durante la primavera, los parámetros nuevamente presentan variabilidad. La conductividad eléctrica tiene un promedio de 9640  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un valor máximo de 10110 y un mínimo de 8896. El pH tiene un promedio de 9.1, con un valor máximo de 9.3 y un mínimo de 8.7. Los Sólidos Disueltos Totales tienen un promedio de 4579 ppm, con un valor máximo de 5,065 y un mínimo de 4446. La temperatura tiene un promedio de 14°C, con un valor máximo de 16 y un mínimo de 11.

En resumen, la conductividad eléctrica (CE), el pH, los Sólidos Disueltos Totales (SDT) y la temperatura ( $T^\circ$ ) presentan fluctuaciones a lo largo del tiempo, con valores más altos en verano y valores más bajos en invierno, posiblemente debido a la evaporación y concentración de sales.

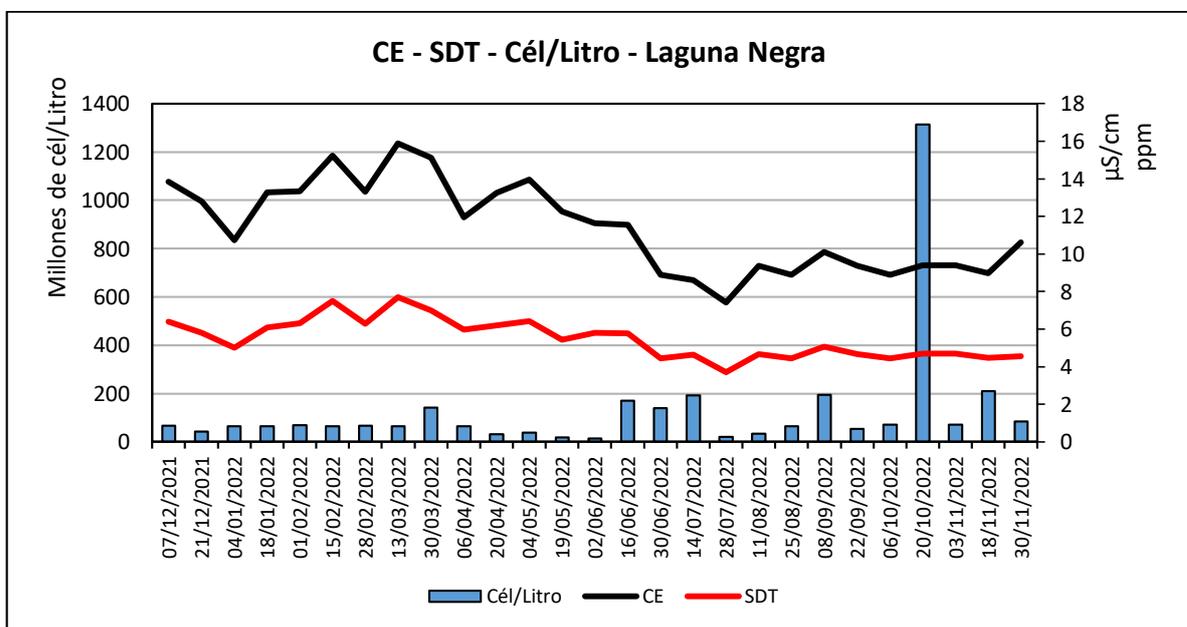


Gráfico 18. Cambios en la concentración, conductividad y SDT – Laguna Negra

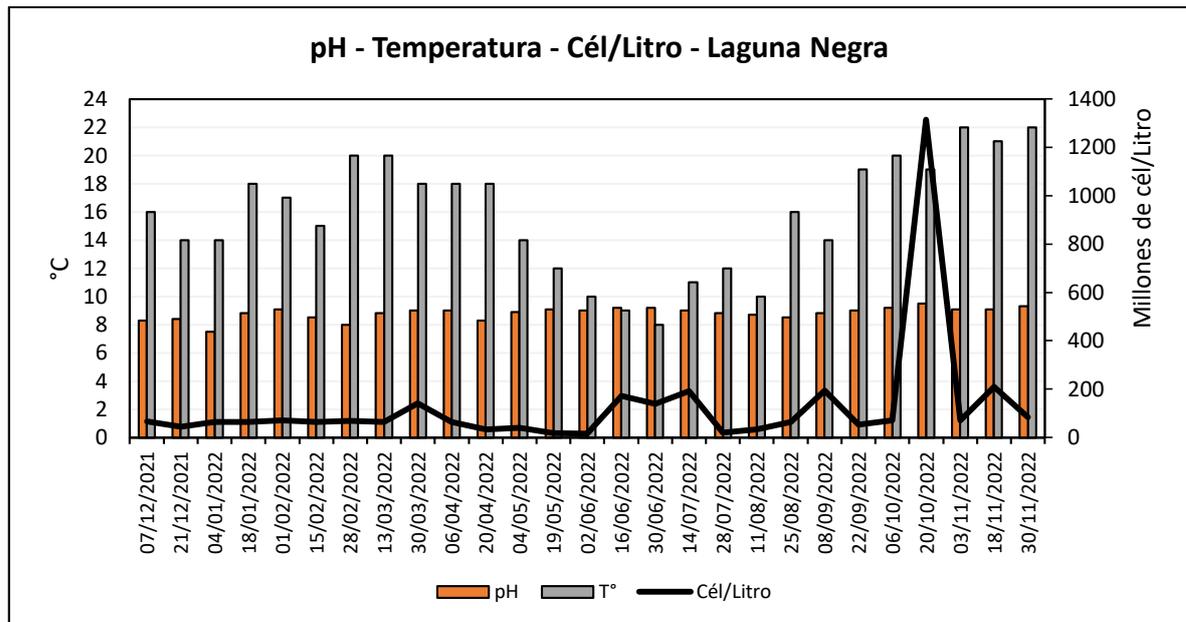


Gráfico 19. Cambios en la concentración, pH y temperatura – Laguna Negra

### Análisis fisicoquímico (OD y DBO) – Laguna Negra -

- **Verano:**

En el verano, se observa una baja concentración de fitoplancton (64.838.200 cél/litro). El nivel de oxígeno disuelto moderado, alcanzando un valor de 11,7mg/L (Gráfico 20). En cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), se registra un valor de 20,5 mg/L, lo cual indica una moderado actividad biológica.

- **Otoño:**

Durante el otoño, no se observan cambios en la concentración de fitoplancton o en el OD. Se observa una disminución de la DBO, posiblemente producida por la disminución de la actividad biológica en la laguna.

- **Invierno:**

En el invierno, se observó la menor concentración de fitoplancton, con un valor de 64.518.800,00 cél/Litro. A pesar de las bajas temperaturas, es posible que las condiciones sean favorables para ciertas especies de fitoplancton adaptadas a ambientes más fríos, logrando mantener relativamente estable el nivel de oxígeno disuelto, alcanzando un valor de 11,9mg/L (Gráfico 20). En cuanto a la DBO, se registra el valor más alto en 29mg/L, posiblemente debido

al efecto de una corriente con mayor carga orgánica o una mayor actividad microbiana respecto al otoño.

- **Primavera:**

En la primavera, se observa aumento marcado en la concentración de fitoplancton, con un valor de 209.845.800 cél/Litro. El incremento de las temperaturas, las horas de luz y la disponibilidad de nutrientes favorecen un rápido crecimiento del fitoplancton en esta estación. El nivel de oxígeno disuelto es moderado, alcanzando un valor de 12,71mg/L. La actividad fotosintética y la producción de oxígeno por parte del fitoplancton contrarrestan parcialmente la demanda de oxígeno asociada con la descomposición de la materia orgánica. En cuanto a la DBO, se registra un valor de 26mg/L, mostrando una leve disminución en comparación con el invierno. La mayor actividad fotosintética y el crecimiento del fitoplancton pueden contribuir a una reducción en la demanda bioquímica de oxígeno.

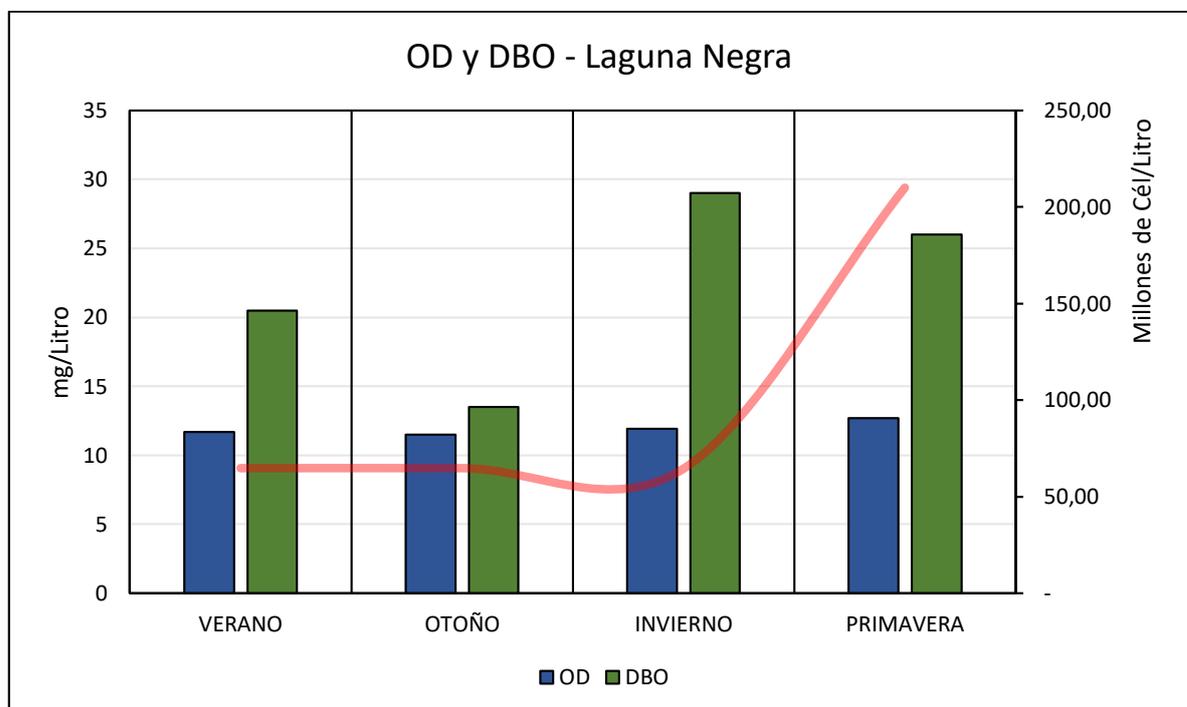


Gráfico 20. Laguna Negra - Concentración, OD y DBO en las distintas estaciones

### Comportamiento estacional del Oxígeno disuelto y DBO

El Gráfico 21 muestra las concentraciones estacionales de oxígeno disuelto y DBO. Comenzando con el oxígeno disuelto, en la Laguna de la Base observamos una disminución en las concentraciones a medida que avanzamos de los meses cálidos ventosos a los meses fríos

y calmos. Esta reducción puede estar relacionada con un aumento en la temperatura del agua durante el verano, lo cual disminuye la capacidad de retención de oxígeno. Además, la actividad biológica en el ecosistema acuático puede contribuir al consumo de oxígeno. En la Laguna del Caño, las concentraciones de OD son las más fluctuantes (Gráfico 21). Esto pone en evidencia la influencia de la carga orgánica presente en el efluente que se vuelca en ella y su capacidad de funcionar como reactor biológico durante todo el año. En contraste, la Laguna Negra muestra el menor grado de variación en las concentraciones de OD a lo largo de las estaciones. (Gráfico 21). Esto puede estar relacionado con una actividad fotosintética constante, lo cual contribuye a la producción de oxígeno y la ausencia de vuelcos de efluente crudo, promoviendo la clarificación del cuerpo de agua. (Gráfico 21).

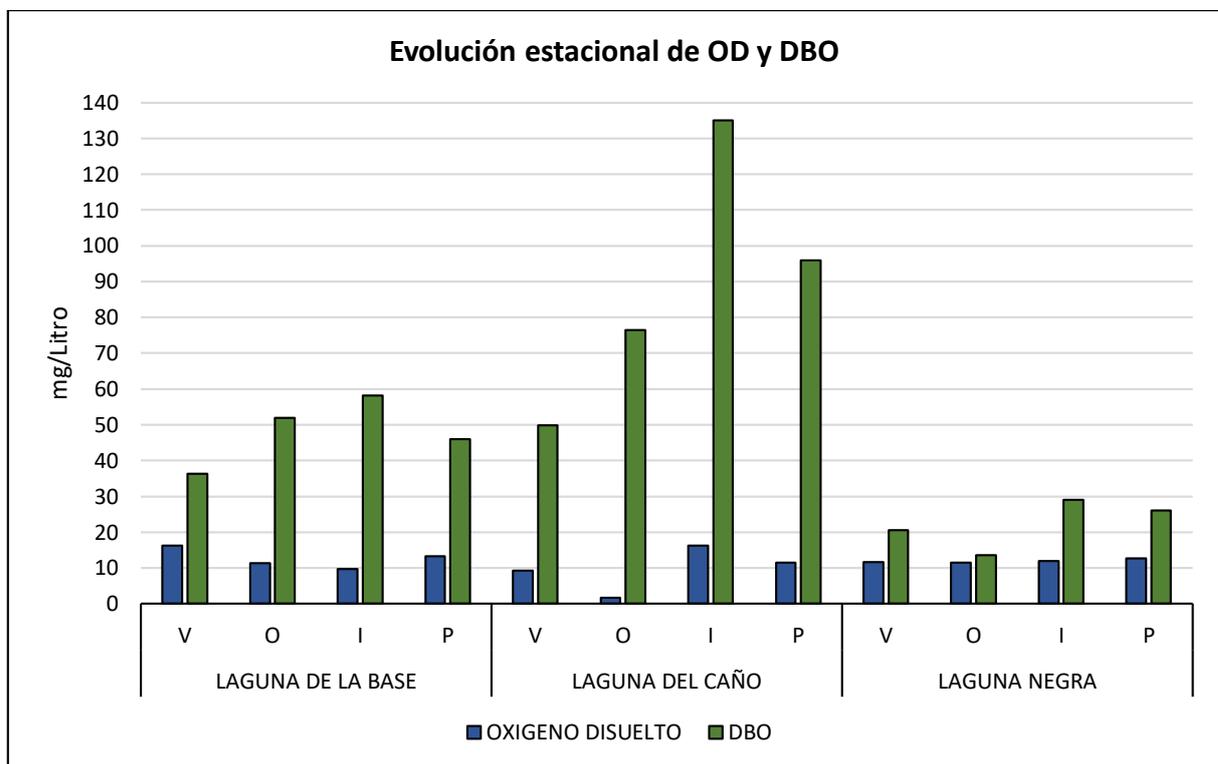


Gráfico 21. OD y DBO en distintas estaciones del año

En cuanto a la DBO, en la Laguna de la Base, se observa un aumento en las concentraciones desde el verano hasta el invierno. Esto puede indicar un mayor aporte de carga orgánica durante el invierno o posiblemente debido a una menor actividad biológica. En la Laguna del Caño, las concentraciones de DBO se mantienen consistentemente altas en todas las estaciones, lo que se condice con la carga continua de materia orgánica y una alta demanda

de oxígeno. En la Laguna Negra, las concentraciones de DBO son más bajas en comparación con las otras lagunas y varían ligeramente a lo largo de las estaciones. Indicando una menor carga de materia orgánica y una mejor capacidad de autodepuración en esta laguna.

En resumen, podemos observar que factores como la temperatura, las horas de luz, la disponibilidad de nutrientes o la carga orgánica del efluente pueden afectar el crecimiento del fitoplancton, la actividad fotosintética y los procesos de descomposición bacteriana, lo cual a su vez puede influir en el nivel de OD y DBO. Sin embargo, para obtener conclusiones más sólidas, sería necesario realizar un análisis más detallado y contar con un conjunto de datos más completo y representativo.

### **Dureza**

La dureza del agua, que está determinada por la concentración de minerales como el calcio y el magnesio, puede influir en la disponibilidad de nutrientes para el fitoplancton. En general, aguas con una dureza moderada o alta tienden a contener una mayor cantidad de minerales y nutrientes esenciales, lo que puede favorecer el crecimiento del fitoplancton. Sin embargo, la relación entre la dureza del agua y el fitoplancton puede ser compleja y depende de varios factores, un aumento excesivo en la dureza del agua puede llevar a una saturación de minerales, lo que puede limitar el crecimiento del fitoplancton. Además, otros factores ambientales como la disponibilidad de luz, la temperatura, la turbulencia del agua y la presencia de otros nutrientes también pueden influir en la abundancia y diversidad del fitoplancton.

En la Laguna de la Base, se observa una ligera disminución en los valores de dureza del agua a medida que avanzamos desde el otoño hasta la primavera. Los valores varían desde 56 mg/L en el otoño hasta 49 mg/L en la primavera (Gráfico 22). Esta disminución podría estar relacionada con factores como la dilución del agua por las lluvias y la influencia de cambios en la temperatura y la actividad biológica durante las estaciones.

En la Laguna del Caño también se registra una disminución en la dureza del agua a medida que avanzamos desde el otoño hasta la primavera. Los valores varían desde 52 mg/L en el otoño hasta 39 mg/L en la primavera (Gráfico 22). Esta reducción puede ser influenciada por procesos similares a los mencionados anteriormente, como la dilución y la interacción con el ecosistema circundante.

Por otro lado, en la Laguna Negra, se observa un aumento en la dureza. Los valores oscilan entre 68 mg/L y 75 mg/L (Gráfico 22). Este incremento puede estar asociado con factores como la menor dilución del agua debido a la falta de precipitaciones y la concentración de minerales a lo largo del tiempo.

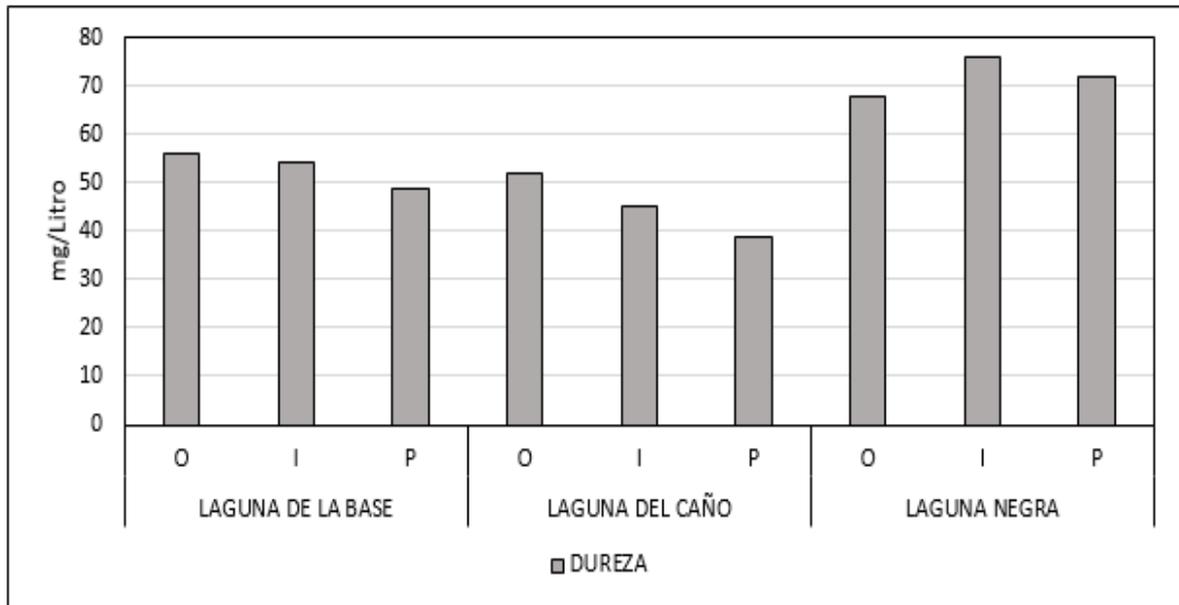


Gráfico 22. Dureza

Utilizando la clasificación de la OMS de dureza del agua, donde se considera:

- Baja dureza: Menos de 60 mg/L
- Media dureza: Entre 60 mg/L y 120 mg/L
- Alta dureza: Más de 120 mg/L

La Tabla 12 muestra los cambios estacionales de la dureza del agua en cada laguna.

	Otoño	Invierno	Primavera
<b>Laguna de la Base</b>	Baja	Baja	Baja
<b>Laguna del Caño</b>	Baja	Baja	Baja
<b>Laguna Negra</b>	Media	Media	Media

Tabla 12. Estados de dureza a lo largo de las estaciones

### Hierro, Cromo, Manganeso y Sulfuros

El hierro es un nutriente esencial para el crecimiento del fitoplancton. En las lagunas de tratamiento de efluentes, las concentraciones adecuadas de hierro pueden favorecer el crecimiento del fitoplancton y ayudar en la remoción de nutrientes y compuestos orgánicos

presentes en el efluente. Sin embargo, concentraciones elevadas de hierro pueden ser indeseables, ya que pueden resultar en una proliferación excesiva de algas y fitoplancton, llevando a problemas como la eutrofización y el deterioro de la calidad del agua.

Los sulfuros pueden estar presentes como resultado de la descomposición de la materia orgánica y la actividad bacteriana. Concentraciones altas de sulfuros pueden ser tóxicas para el fitoplancton y afectar negativamente su crecimiento y metabolismo. Además, los sulfuros pueden contribuir a la formación de malos olores en el efluente tratado. En soluciones acuosas, los sulfuros pueden estar presentes en varias formas dependiendo del pH del agua y la concentración de especies químicas presentes. La relación entre los sulfuros y el pH es importante porque un pH bajo puede aumentar la concentración de ácido sulfhídrico (tóxico para muchos organismos acuáticos) y un pH alto puede promover la precipitación de sulfuros insolubles, reduciendo la disponibilidad de algunos elementos.

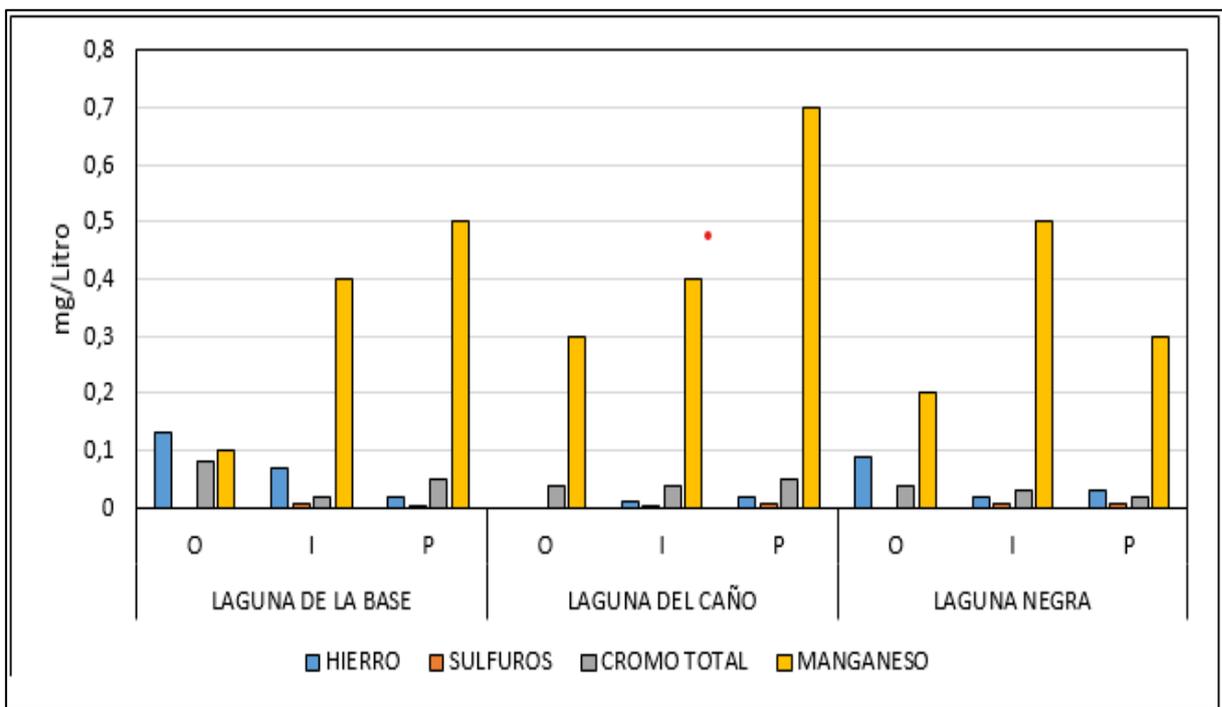


Gráfico 23. Concentraciones estacionales de Hierro, Cromo, Manganeso y Sulfuros

El cromo total puede estar presente en los efluentes debido a actividades industriales o descargas de aguas residuales contaminadas. En altas concentraciones, el cromo total puede ser tóxico para el fitoplancton y afectar su crecimiento y salud. Además, el cromo puede bioacumularse, lo que puede tener efectos negativos en la cadena alimentaria acuática.

Al igual que el hierro, el manganeso puede ser un nutriente esencial para el fitoplancton en concentraciones adecuadas. Sin embargo, concentraciones elevadas de manganeso pueden tener efectos tóxicos y limitar el crecimiento del fitoplancton en las lagunas de tratamiento de efluentes.

Las altas concentraciones de manganeso pueden causar problemas de precipitación y sedimentación en el sistema de lagunas o reducir el nivel de oxígeno disuelto en el agua, ya que puede consumir oxígeno durante procesos de oxidación y reducción. Esto puede tener un impacto negativo en los organismos acuáticos, especialmente aquellos que dependen del oxígeno disuelto para su supervivencia.

Las mediciones de Hierro, Cromo, Manganeso y Sulfuros realizadas, muestran que estos compuestos se encuentran en concentraciones muy reducidas y que poseen una variación espacio temporal muy marcada (Gráfico 23). Durante el otoño, en la Laguna de la Base se registró la máxima concentración de Hierro, llegando a 0,13mg/L. La máxima concentración de sulfuros registrada en todas las lagunas fue de 0,007mg/L. En cuanto a la concentración de Cromo, esta se mantuvo por debajo de los 0,082mg/L. El manganeso fue el componente que en comparación a los anteriormente mencionados se encontró en mayor concentración, siendo esta 0,7 mg/L. Estos compuestos se encuentran dentro de los rangos permitidos en el Decreto 1540/16 de la Provincia del Chubut.

### **Nitrito, Nitrato y Amoníaco**

En una laguna de efluentes, la relación entre el amonio y el nitrito más el nitrato puede variar dependiendo de varios factores, como el tipo de efluente, las condiciones ambientales y los procesos de tratamiento presentes. Sin embargo, en condiciones normales y saludables, generalmente se espera que el amonio sea convertido en nitrito y nitrato a través de procesos de nitrificación. La nitrificación es un proceso biológico en el que las bacterias convierten el amonio en nitrito y posteriormente en nitrato. Este proceso ocurre en dos etapas, donde diferentes grupos de bacterias realizan las conversiones. El amonio es convertido en nitrito principalmente por bacterias del género *Nitrosomonas*, y luego el nitrito es convertido en nitrato principalmente por bacterias del género *Nitrobacter*. En una laguna de efluentes en

funcionamiento adecuado, la nitrificación debería ser eficiente y se espera una mayor presencia de nitrito y nitrato en comparación con el amoníaco. Sin embargo, si hay algún problema en el proceso de nitrificación, como una baja concentración de oxígeno disuelto o una falta de bacterias nitrificantes, es posible que la relación entre el amoníaco y el nitrito más el nitrato sea más alto, lo que indicaría una menor conversión de amonio.

En este caso la concentración de amoníaco es relativamente constante, con valores superiores a los 2,5mg/L. La concentración de nitritos es bastante baja en la mayoría de los casos, con valores cercanos a cero. La concentración de nitratos varía significativamente entre lagunas y a lo largo de las estaciones, con valores que van desde 0.9 a 13.9mg/L (Gráfico 24). En general, los datos indican la presencia de nitrificación en el sistema de efluentes, ya que se observa una baja presencia de nitritos y una presencia notable de nitratos. Sin embargo, la gran variabilidad en las concentraciones de estos compuestos puede sugerir que la nitrificación es bastante deficiente en ciertas estaciones del año, o se encuentra influenciada por otros factores como una baja concentración de OD o una falta de bacterias nitrificantes.

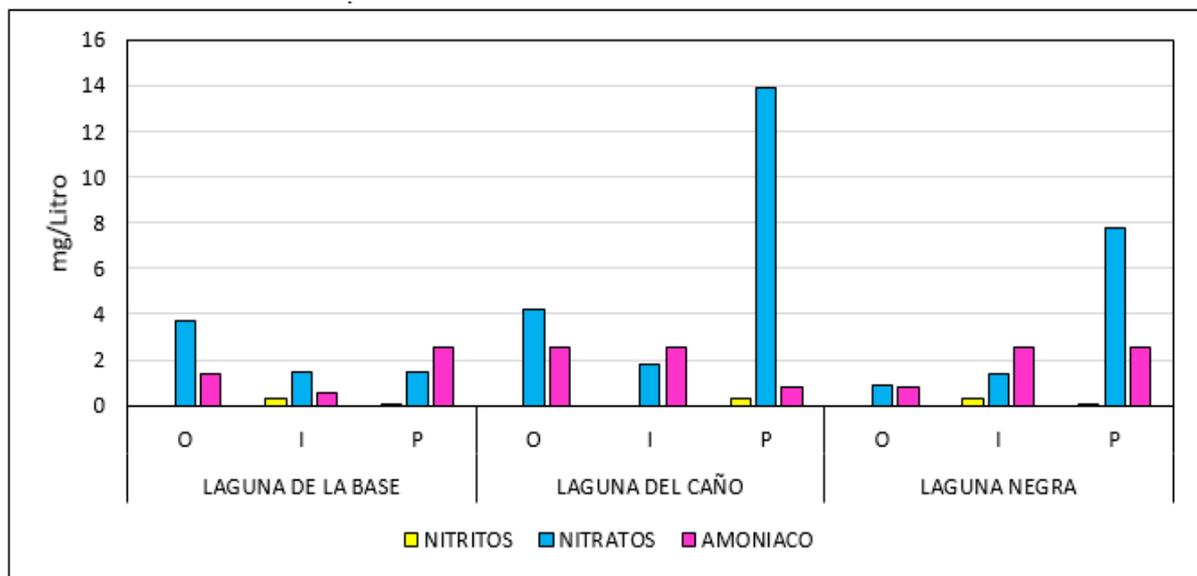


Gráfico 24. Concentraciones estacionales de Nitrito, Nitrato y Amoníaco.

### Turbiedad

La escala más comúnmente utilizada para medir la turbiedad del agua es la Unidad Nefelométrica de Turbidez (NTU). La NTU es una medida estándar aceptada internacionalmente para cuantificar la turbiedad del agua. La escala proporciona una

referencia para determinar si el agua se considera turbia o clara. En general, se considera que el agua tiene baja turbiedad si los valores de NTU están por debajo de 1 NTU. El agua con valores de NTU superiores a 1 NTU se considera turbia, y cuanto mayor sea el valor de NTU, mayor será la turbiedad del agua (Gráfico 25).

Cuanto mayor sea la concentración de sólidos suspendidos en el agua, mayor será la turbiedad debido a que las partículas sólidas interfieren con la transmisión de la luz a través del agua, dispersando y atenuando la luz incidente. La presencia de una alta concentración de fitoplancton puede aumentar la turbiedad del agua lo que puede dar lugar a una apariencia turbia o verde debido a la dispersión de la luz por las células o sus componentes, como pigmentos y materia orgánica. El fitoplancton también puede influir en la turbiedad del agua de forma indirecta. Algunas especies de fitoplancton, especialmente las diatomeas, pueden producir estructuras celulares como caparazones o exoesqueletos silíceos que, al morir, pueden contribuir a la acumulación de sedimentos y partículas en el agua.

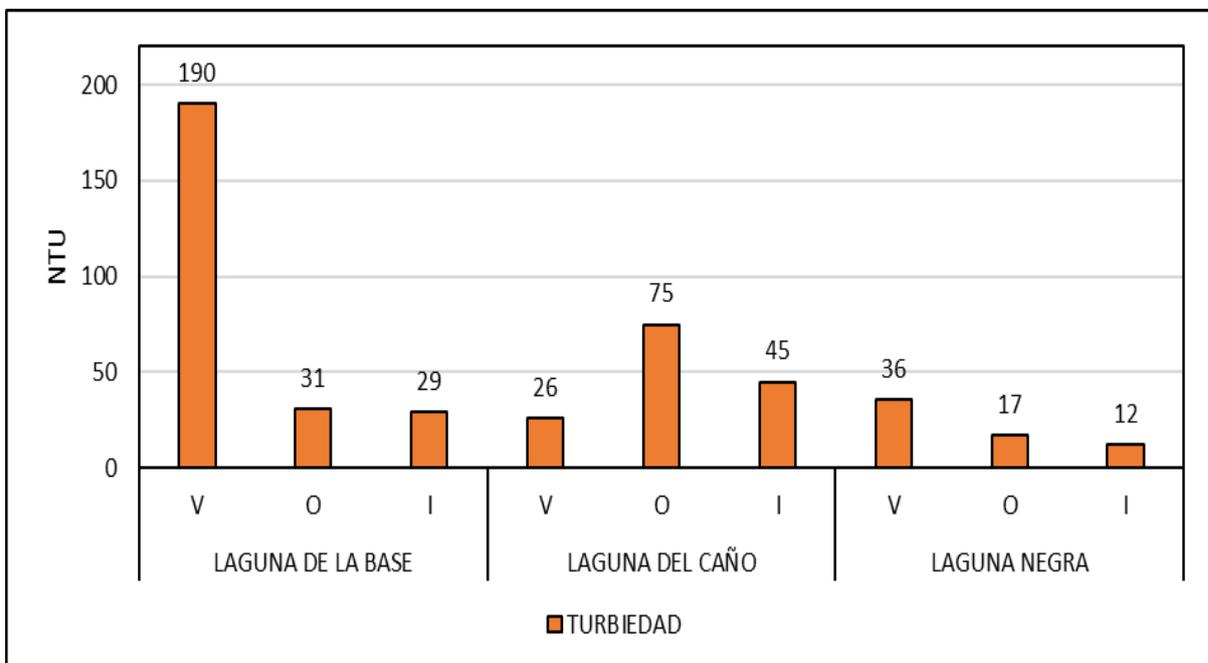


Gráfico 25. Turbiedad

En base a la clasificación de turbiedad de la OMS, podemos clasificar los estadios de turbidez por los que pasan las lagunas (Tabla 13). La tabla presenta los diferentes estadios de turbidez separados por estación (verano, otoño e invierno). Las lagunas analizadas poseen una turbiedad media de entre 10-50 NTU. La turbiedad más elevada fue observada durante el verano en la Laguna de la Base, llegando a la clasificación más alta (>100).

NTU	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	>100		
Tipo	Clara	Ligeramente turbia	Moderadamente turbia	Turbia	Muy turbia	Extremadamente turbia		
Laguna de la Base			Laguna del Caño			Laguna Negra		
V	O	I	V	O	I	V	O	I
ExT	T	T	T	Md T	T	T	T	T

Tabla 13. Evolución de la turbiedad.

### Cartografía Informativa – SIG

Utilizando el software QGIS 3.28.8 se confeccionaron diversos mapas informativos a fines de resumir la información recolectada y analizada sobre las lagunas.

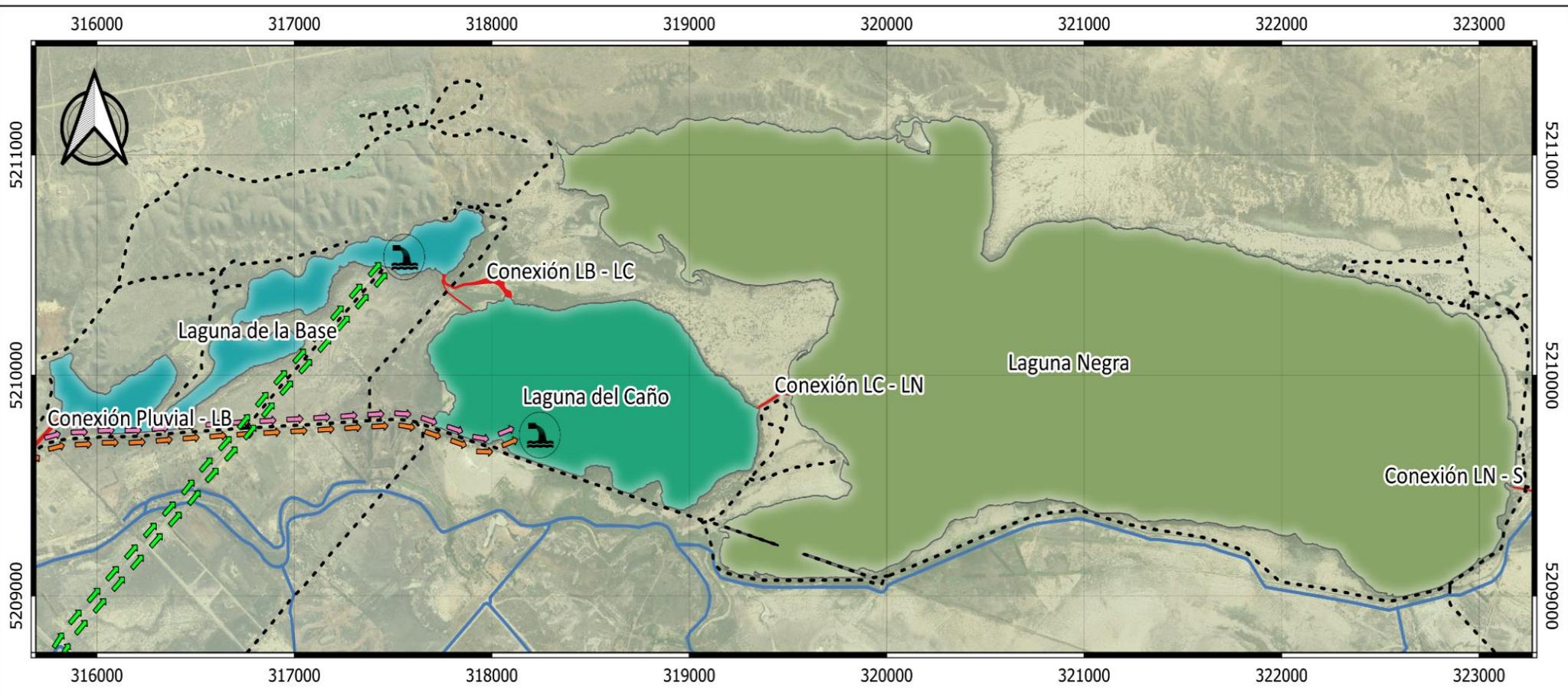
Se realizó una serie de 4 mapas en formato .png y .pdf, del recorrido de efluentes cloacales y pluviales, puntos de descarga, canales de riego, caminos circundantes y conexiones entre lagunas.

La información utilizada en la elaboración proviene del relevamiento bibliográfico, registro fotográfico en campo, el análisis de fotografías satelitales y la información brindada por la Cooperativa de Servicios Públicos de Trelew.

Además de esto se creó a través del mismo programa un sistema de información biológica, posible de ser editado y actualizado.

### Mapas 2023

- Mapa 1 – Sistema de Lagunas de estabilización de efluentes
- Mapa 2 - Laguna N°2: “Laguna de la Base”
- Mapa 3 - Laguna N°3: “Laguna del Caño”
- Mapa 4 - Laguna N°4: “Laguna Negra”



Referencias			
Conexión Canal Pluvial - LB		Efluente Cloacal (Carrasco)	
Conexión LB - LC		Pluvial Owen	
Conexión LC - LN		Efluente Cloacal (Cambrin)	
Conexión LN - Salitral		Punto de descarga	
Camino de tierra			
Canal de riego			



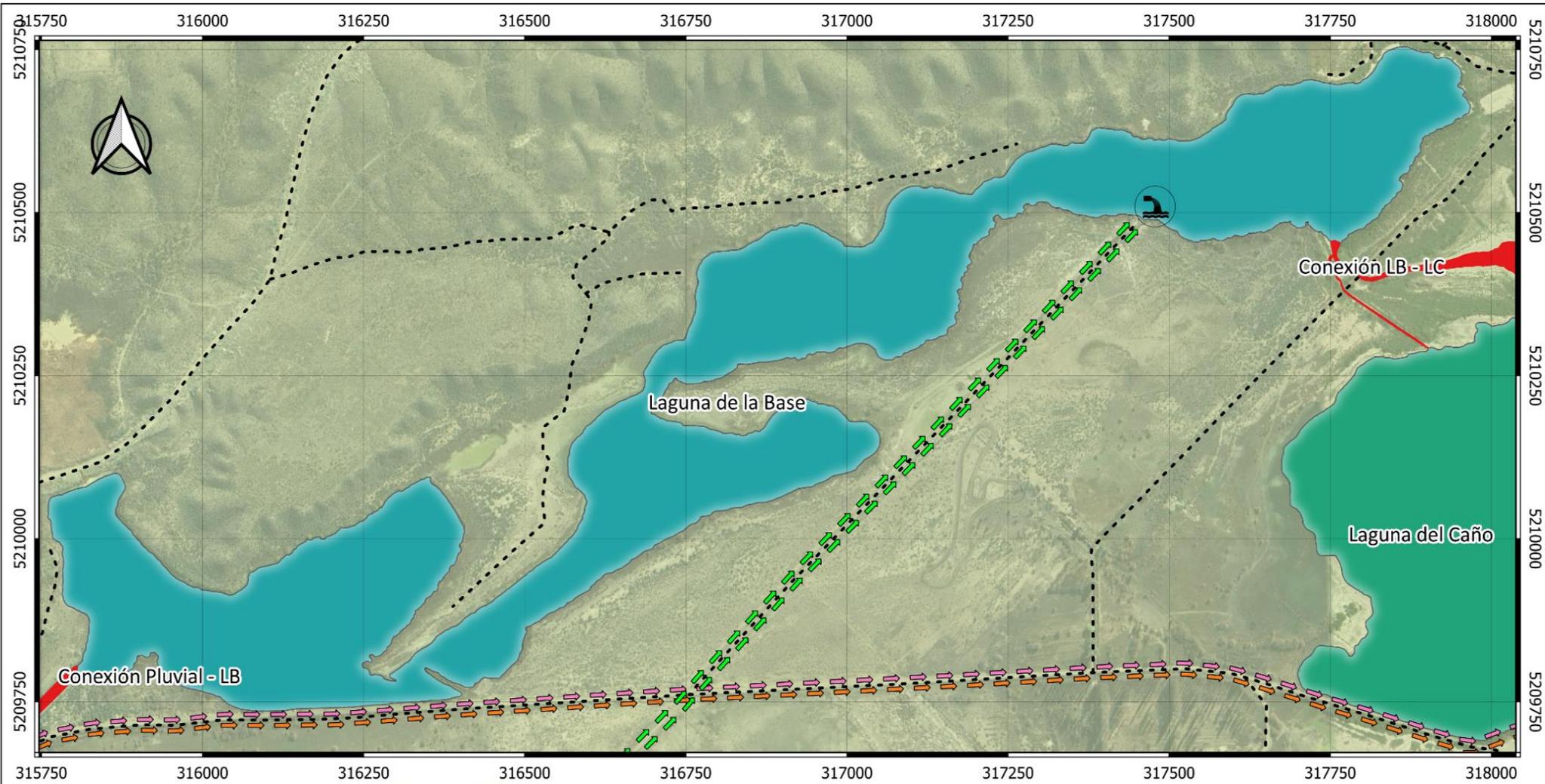
Escala 1:22800  
WGS 84 Zona 20S

**SISTEMA ENCADENADO DE LAGUNAS DE EFLUENTES DE TRELEW**

**LAGUNAS 2, 3 Y 4**

**AÑO 2023**

**Lic. Matías N. Lupia**



0 100 200 m

Escala 1:7250 WGS 84 Zona 20S

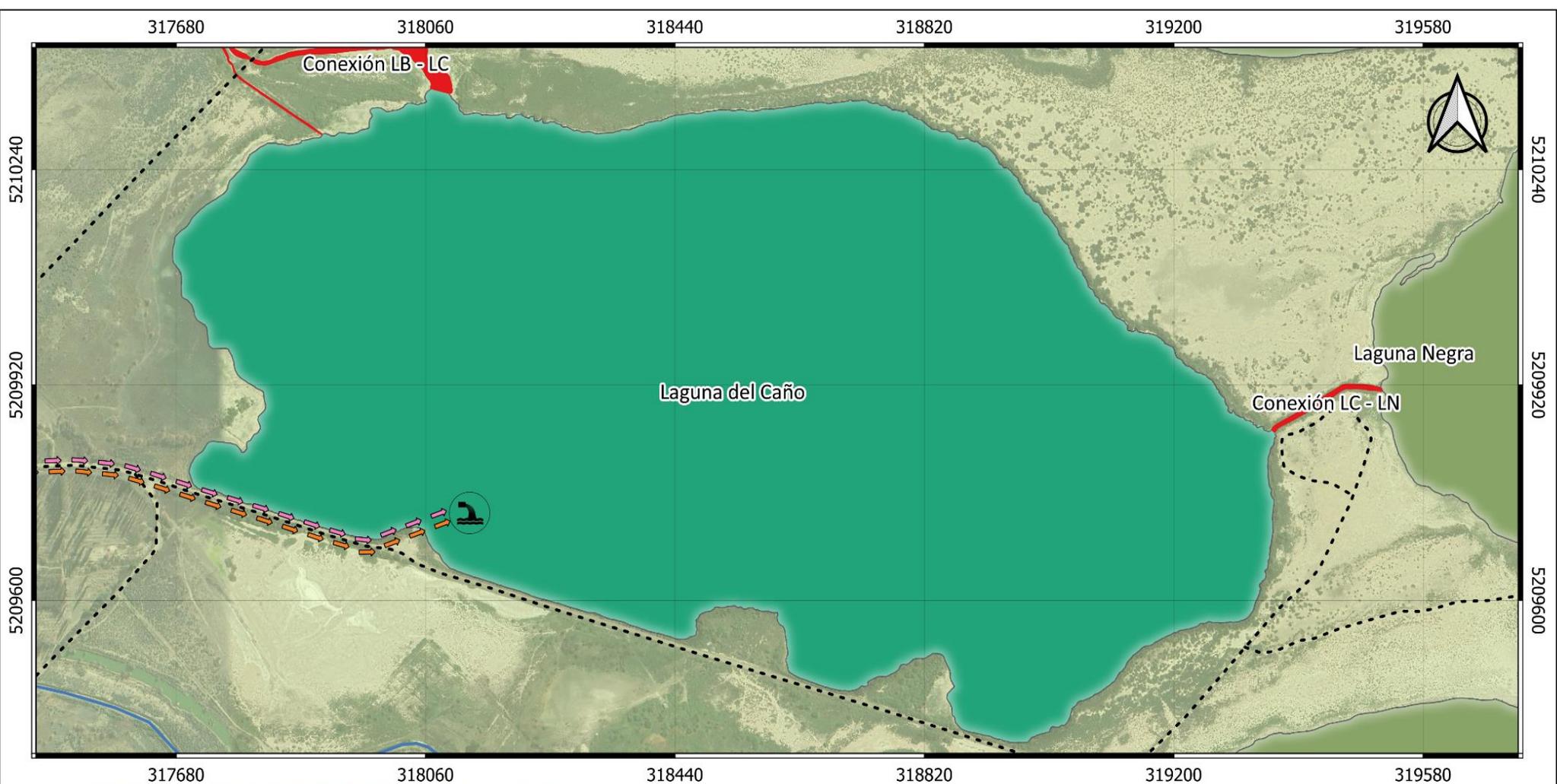
**SISTEMA ENCADENADO DE LAGUNAS DE EFLUENTES DE TRELEW**

**LAGUNA N° 2 : "LAGUNA DE LA BASE"**

**AÑO 2023**

**Lic. Matías N. Lupia**

Referencias	
Laguna de la Base (N°2)	
Laguna del Caño (N°3)	
Pluvial Owen	
Efluente Cloacal (Carrasco)	
Efluente Cloacal (Cambrin)	
Camino de tierra	
Punto de descarga	



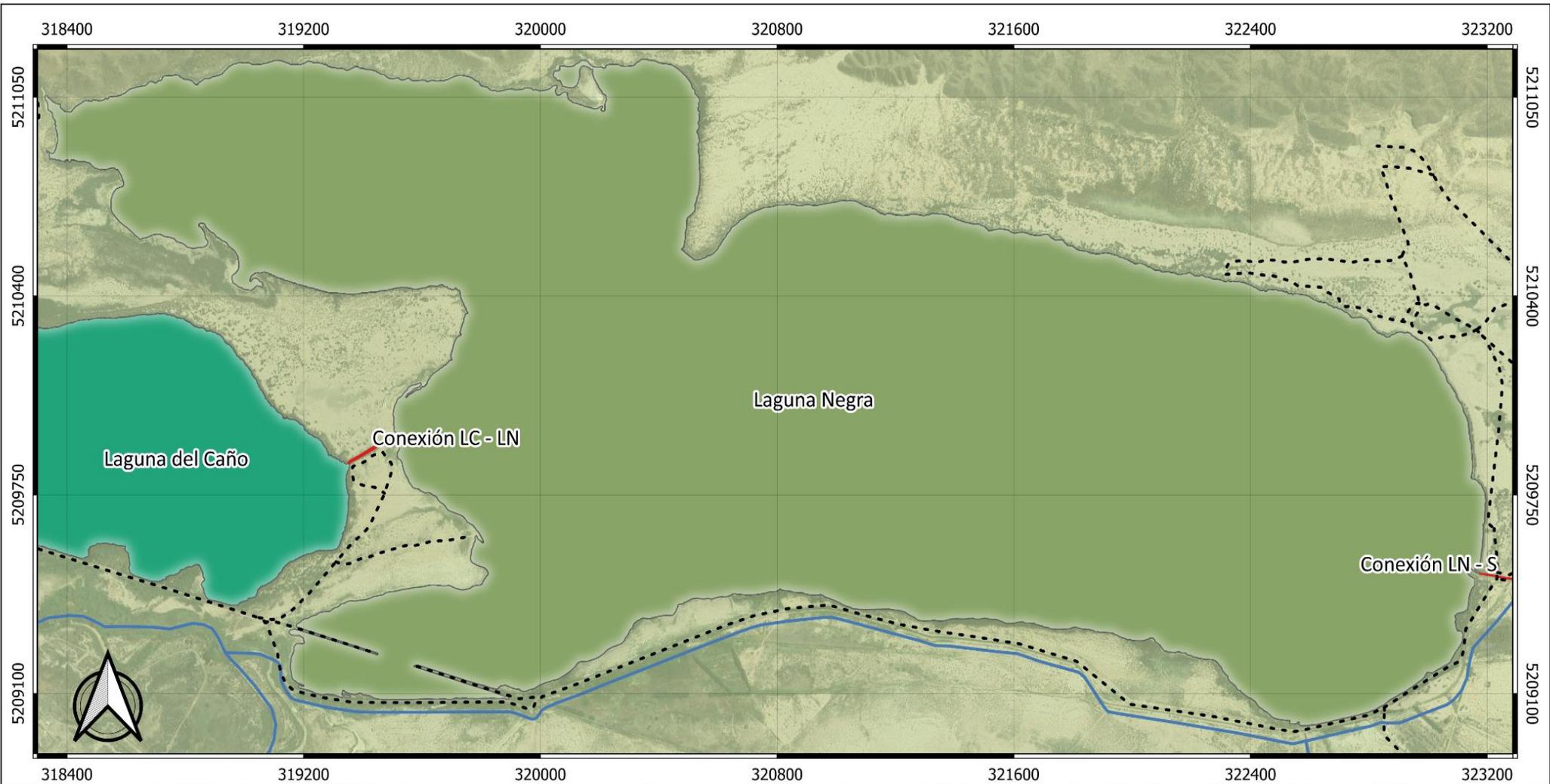
**SISTEMA ENCADENADO DE LAGUNAS DE EFLUENTES DE TRELEW**

**LAGUNA N° 3 : "LAGUNA DEL CAÑO"**

**AÑO 2023**

**Lic. Matías N. Lupia**

Referencias	
Punto de descarga	
Laguna del Caño (N°3)	
Laguna Negra (N°4)	
Canal de riego	
Efluente Cloacal (Cambrin)	
Efluente Cloacal (Carrasco)	
Camino de tierra	



**SISTEMA ENCADENADO DE LAGUNAS DE EFLUENTES DE TRELEW**  
**LAGUNA N° 4 : "LAGUNA NEGRA"**  
**AÑO 2023**  
**Lic. Matías N. Lupia**

Escala 1:15000 WGS 84 Zona 20S  
 0 250 500 m

Referencias	
Laguna del Caño (N°3)	
Laguna Negra (N°4)	
Canal de riego	
Camino de tierra	

## DISCUSIÓN

La comunidad fitoplanctónica del sistema de lagunas de estabilización de Trelew se compone de 46 taxones (entre géneros y especies) pertenecientes a los siguientes phyla: 52% Chlorophyta (23 taxones), 28% Bacillariophyta (12 taxones), 15% Cyanobacteria (7 taxones), 6 % Charophyta (3 taxones), y 2% Euglenozoa (1 taxón). Las concentraciones máximas de fitoplancton se dieron entre la primavera y el verano, mientras que las mínimas se ubican durante el otoño e invierno. La Laguna de la Base presentó un mínimo de 64,8 millones de cél/Litro y un máximo de 1170 millones de cél/Litro, siendo este el máximo registrado en el verano. Por su parte la Laguna del Caño presentó un mínimo de 32,6 millones de cél/Litro y un máximo de 1220 millones de cél/Litro. La Laguna Negra presentó un mínimo de 14,6 millones de cél/Litro y un máximo de 1310 millones de cél/Litro, siendo este el máximo registrado en la primavera.

Cada laguna posee géneros representativos, siendo *Chaetoceros*, *Chlamydomonas*, *Nitzschia* y *Frustulia* aquellos que caracterizan a la Laguna de la Base; *Tetrademus*, *Scenedesmus*, *Microcystis*, *Cyclotella*, *Pediastrum* y *Monoraphidium* a la Laguna del Caño y *Cyclotella*, *Tetrademus* y *Scenedesmus* a la Laguna Negra.

En la Laguna de la Base, el reconocimiento taxonómico realizado al microscopio óptico, reveló la presencia en abundancias relativas muy altas, de diatomeas del género *Nitzschia*, identificándose una especie que no se encontraba reconocida y caracterizada para la zona. La floración detectada de *Nitzschia* sp con un pico máximo de concentración en la Laguna de la Base fue en enero representando el 98% de la biomasa fitoplanctónica presente. Es bien conocido que el género *Nitzschia* tiene afinidad a aguas salobres, orgánicamente contaminadas, ricas en nutrientes y pobres en oxígeno. Es utilizada como indicadora de aguas fuertemente contaminadas por su alta tolerancia a la contaminación (González, 2012). Además, las diatomeas que alcanzan elevadas densidades celulares se pueden considerar potencialmente nocivas. Esto debido a la alta demanda de oxígeno requerido, produciendo déficit de OD (Moreira, 2013).

Por otro lado, en la Laguna Negra y del Caño, la presencia de especies de la familia Scenedesmaceae (*Tetrademus* y *Scenedesmus*) es importante de destacar también.

Estas especies han sido utilizadas para la reducción, en aguas residuales, de cromo, nitrógeno, lípidos, carbohidratos, fósforo; y se determinó que puede remover hasta en un 99% los coliformes totales y hasta en un 91% los cloruros, además de tolerar alrededor de 0,5 mg/L a 2 mg/L de cobre, níquel, cadmio y zinc (López, 2016). Esto es importante de destacar dada la funcionalidad del sistema de lagunas estudiado, ya que la depuración natural (en este caso biológica) está contribuyendo al tratamiento de las aguas.

En dos oportunidades se observó la formación de espuma en algunos de los puntos de muestreo. El primer caso, en la Laguna Negra durante un día con fuertes ráfagas de viento. Al ser esta analizada al microscopio óptico se observó una elevada concentración de una diatomea del género *Chaetoceros*. De acuerdo al estudio realizado por Stefani et al. (2015), este tipo de espumas se denominan “endógenas”, al ser autogeneradas por cuerpos de agua ricos en materia orgánica que al degradarse libera ácidos grasos que en conjunto con la acción de fuertes vientos atrapan el oxígeno generando espuma, factores que se condicen con la naturaleza de estas lagunas y con el clima ventoso de nuestra zona. En la segunda aparición de espuma el análisis al microscopio reveló la presencia de una clorofícea del género *Chlamydomonas*. La observación se dio durante una descarga del pluvial Owen en la Laguna de la Base. En este caso la espuma está relacionada a las características del efluente y su carga de compuestos de carácter surfactante, como aceites y detergentes (Metcalf & Eddy, 1996)

Otro de los géneros de importancia para destacar hallado en este estudio, es *Microcystis*. Las Cyanobacterias constituyen el principal productor de toxinas en ecosistemas acuáticos (Forastier, Zalocar, Andrinolo, & Domitrovic, 2016). Algunos de los géneros, como *Microcystis* y *Anabaena*, producen toxinas (microcistinas) con importantes impactos negativos. Entre los organismos que pueden verse afectados por las toxinas algales figuran otras algas, invertebrados planctónicos, y animales terrestres, como aves y mamíferos (Pérez, Perales, Sastre, Santinelli, & Andrinolo, 2009). En poblaciones acuáticas el envenenamiento es frecuente luego de la formación de densos “blooms” (de Infante, 1988). Durante el estudio se observó que *M. aeruginosa* y *M. flos-aquae* presentaron floraciones en la Laguna del Caño y Laguna Negra, caracterizadas a



PROGRAMA DE POSTGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS HÍDRICAS (CON MENCIÓN AMBIENTAL)

simple vista por ser masas flotantes de color verde. En febrero del año 2020 aparecieron una gran cantidad de aves muertas en la Laguna Chiquichano (laguna conectada al sistema lagunas estudiado). Un análisis del agua mostro una floración de *M. aeruginosa*. Si bien no fue posible realizar un análisis de toxinas, se supone que al florecer esta alga generó una gran cantidad de hepatotoxinas produciendo la muerte de los animales (Sastre, 2020). Esto es importante de destacar dado a que existen proyectos de generar Planes de manejo de las lagunas estabilización ya que su principal atractivo es la presencia de una gran diversidad de aves.

En base al análisis de los índices ecológicos se puede afirmar que, la riqueza y diversidad de especies en las lagunas analizadas, es máxima en época estival. Individualmente la comunidad fitoplanctónica de la Laguna de la Base es la más estable al no presentar variaciones notables en cuanto a la riqueza, diversidad y dominancia entre las distintas estaciones del año. El IDG señala la calidad biológica de los cuerpos de agua en base a la sensibilidad ecológica y abundancia de las diatomeas (Gómez, 1998). De acuerdo a este, la calidad biológica de estas lagunas es muy mala. Sin embargo, se debe tener en cuenta la naturaleza de estos cuerpos de agua, ya que en este caso en particular el sistema de lagunas encadenadas funciona como un reactor biológico para el tratamiento de efluentes y por sus características intrínsecas era de esperarse esta categoría, ya que las especies presentes poseen una alta tolerancia a la contaminación por altos niveles de materia orgánica y nutrientes disueltos (González, 2012). Para lograr una mejor aproximación a través de un índice de este tipo, se debe crear uno propio teniendo en cuenta la naturaleza y función de estos cuerpos de agua y las poblaciones fitoplanctónicas locales, ya que el IDG no considera estos factores.

Por otro lado, el índice de Nygaard revela que las lagunas, a lo largo de las estaciones, se encuentran en diferentes estados de eutrofización (eutrófica y mesotrófica). Una laguna de efluentes eutrofizada, indica que el sistema no está funcionando de manera óptima y puede ser un signo de problemas en el tratamiento de los efluentes (Metcalf & Eddy, 1996). La eutrofización en este contexto podría ser resultado de una carga excesiva de nutrientes en los efluentes, una capacidad insuficiente de la laguna para procesar los nutrientes o una falta de gestión adecuada para mantener un equilibrio



**PROGRAMA DE POSTGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS HÍDRICAS (CON MENCIÓN AMBIENTAL)**

saludable en el sistema (Cooperativa Trelew, 2021). Es importante destacar, que si bien el sistema de tratamiento de Trelew no se encuadra dentro de una obra de ingeniería, en la práctica, el bajo en donde hace años se dispone el líquido cloacal, funciona como un sistema lagunar y trae aparejado dos grandes desventajas respecto a sistemas diseñados y construidos por el ser humano: no cuenta con una profundidad precisa y pareja y al ingresar el líquido crudo por la mitad de la Laguna del Caño no tiene un flujo descriptible (Cooperativa Trelew, 2021).

Por otro lado, el análisis de los parámetros fisicoquímicos demostró la existencia de una variación estacional de la CE, SDT, temperatura y pH, más elevados en primavera/verano y disminuyendo durante el otoño/invierno. Las correlaciones en general fueron bajas, lo que sugiere que las relaciones entre los parámetros analizados y la concentración del fitoplancton son más complejas o no lineales. En cuanto a la temperatura, los 3 cuerpos de agua presentan la misma temperatura media (16°C), además, aquella que presenta el mayor grado de alcalinidad es la Laguna de la Base (8,9) y la que presenta la mayor CE y SDT es la Laguna Negra (11410  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 5490 ppm). Estos valores son similares y se corresponden con los valores medidos por la Cooperativa de Trelew en años anteriores (Cooperativa Trelew, com. pers.).

La concentración de OD en las lagunas, se encontró en la mayoría de los casos, cercana a la saturación (10 mg/Litro), salvo en ocasiones específicas donde esta fue menor. Los valores de OD poseen un comportamiento distinto en cada laguna. En la Laguna de la Base los niveles más altos se dieron durante el verano y la primavera. En la Laguna del Caño se vieron las mayores fluctuaciones, posiblemente debido a la descarga constante del efluente crudo. La laguna Negra presentó concentraciones estables de OD a lo largo del año. La concentración más alta (16 mg/L) podría estar indicando el inicio de una sucesión poblacional, ya que los blooms algales, llevan a un desbalance en el sistema finalizando en un descenso marcado del OD (Sastre, 2020) y una disminución de la disponibilidad de luz en zonas sub-superficiales (provocado por el aumento de la temperatura, el aumento de la masa fitoplanctónica y la demanda biológica de oxígeno propia del sistema, entre otros).



PROGRAMA DE POSTGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS HÍDRICAS (CON MENCIÓN AMBIENTAL)

Las altas concentraciones de fitoplancton en el verano se pueden atribuir a las condiciones favorables para el crecimiento del mismo, como las altas temperaturas, el aumento de las horas de luz y la disponibilidad de nutrientes. (Moix et al. 2014)

La DBO por su parte presenta variaciones estacionales, siendo máxima en el invierno y disminuyendo hacia el verano/otoño. En el caso de la Laguna de la Base con un máximo de 58 mg/L y un mínimo de 36 mg/L, mientras que en la Laguna del Caño alcanza un máximo de 135 mg/L y un mínimo de 48 mg/L. El comportamiento en la Laguna Negra es distinto, al encontrar un valor máximo en invierno de 29 mg/L y un mínimo en otoño de 13,5 mg/L.

En cuanto a el incremento en la concentración de sales (CE) en la Laguna de la Base, estaría relacionado no solo a la concentración por evaporación sino también a partir de la conexión del pluvial Owen de Trelew. En la actualidad, el líquido de esta laguna ingresa a la Laguna del Caño con este importante contenido de sales, muy superior al presente en el líquido crudo (Cooperativa Trelew, 2021). **La Laguna del Caño se encuentra dentro del rango permitido para su reutilización como agua para riego forestal (Decreto Provincial 1540/16) y está cercano a la conductividad del agua de reúso de la ciudad de Puerto Madryn (~1600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).** La CE en la Laguna Negra refleja la relevancia del proceso de evaporación y concentración de estas. Sin embargo, **con estos valores las posibilidades de reutilización en riego desde este sitio son nulas** (Cooperativa Trelew, 2021).

La dureza del agua está determinada por la concentración de minerales como el calcio y el magnesio, por ende, aguas con una dureza media o alta tienden a contener una mayor cantidad de estos minerales esenciales, lo que puede favorecer el crecimiento del fitoplancton. De acuerdo a la clasificación de la OMS, las aguas de las Lagunas de la Base y del Caño presentan una dureza baja del otoño a la primavera en contraposición al agua de la Laguna Negra, que tiene una dureza media.

Las mediciones de Hierro, Cromo, Manganeso y Sulfuros realizadas, muestran que estos compuestos se encuentran en concentraciones muy reducidas y que poseen una variación espacio temporal muy marcada. Durante el otoño, en la Laguna de la Base se registró la máxima concentración de Hierro, llegando a 0,13 mg/L. La máxima



**PROGRAMA DE POSTGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS HÍDRICAS (CON MENCIÓN AMBIENTAL)**

concentración de sulfuros registrada en todas las lagunas fue de 0,007mg/L. En cuanto a la concentración de Cromo, esta se mantuvo por debajo de los 0,082mg/L. El manganeso fue el componente que en comparación a los anteriormente mencionados se encontró en mayor concentración, siendo esta 0,7 mg/L. Estos compuestos se encuentran dentro de los rangos permitidos en el Decreto 1540/16 de la Provincia del Chubut.

Las concentraciones de sulfuros son bajas y pueden ser el resultado de la descomposición de la materia orgánica y la actividad bacteriana. En estas condiciones alcalinas de pH, los sulfuros pueden llegar a precipitar como sulfuro de metales insolubles (como el hierro). Si bien el pH medio de todas las lagunas es 8.5, una mayor alcalinización puede promover la precipitación de sulfuros y reducir la disponibilidad de algunos elementos traza importantes.

Las lagunas poseen una turbiedad media que oscila entre 10 y 50 NTU, siendo clasificadas en su mayoría como aguas turbias. La dureza más elevada fue observada durante el verano en la Laguna de la Base, llegando a las 190 NTU, correspondiente a la categoría extremadamente turbia.

En una laguna de efluentes en funcionamiento adecuado, la nitrificación debería ser eficiente y se espera una mayor presencia de nitrito y nitrato en comparación con el amoníaco (Metcalf & Eddy, 1996). En este caso la concentración de amoníaco es relativamente constante, con valores superiores a los 2,5mg/L. La concentración de nitritos es bastante baja en la mayoría de los casos, con valores cercanos a cero. La concentración de nitratos varía significativamente entre lagunas y a lo largo de las estaciones, con valores que van desde 0.9 a 13.9mg/L. En general, los datos indican la presencia de nitrificación en el sistema de efluentes, ya que se observa una baja presencia de nitritos y una presencia notable de nitratos. Sin embargo, la gran variabilidad en las concentraciones de estos compuestos puede sugerir que la nitrificación es bastante deficiente en ciertas estaciones del año, o se encuentra influenciada por otros factores como una baja concentración de OD o una falta de bacterias nitrificantes.



## CONCLUSIONES

Los resultados de la caracterización fisicoquímica y de indicadores biológicos de calidad de agua realizado en este trabajo, determinaron que, si bien estos cuerpos de agua son lagunas eutrofizadas, el sistema de lagunas de estabilización de Trelew, funciona como reactor biológico con una eficacia variable a lo largo de las estaciones. Las Lagunas se encuentran dentro de los rangos permitidos en el Decreto Provincial 1540/16, y en particular, la Laguna del Caño se encuentra dentro del rango permitido para su reutilización para agua de riego forestal (Decreto Provincial 1540/16) y está cercano a la conductividad del agua de reúso de la ciudad de Puerto Madryn ( $\sim 1600 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Los valores de CE y SDT registrados en la Laguna Negra reflejan la relevancia del proceso de evaporación y concentración de sales. Sin embargo, aún con estos valores, las posibilidades de reutilización del agua (por ejemplo, en riego) desde este sitio son nulas (Cooperativa Trelew, 2021). Este sistema de lagunas encadenadas presenta varias sinergias entre los distintos factores que actúan en ella, como puede ser la temperatura, las horas de luz o la disponibilidad de nutrientes influyendo en las variables medidas. Estas sinergias son capaces de afectar el crecimiento del fitoplancton, la actividad fotosintética y los procesos de descomposición bacteriana, lo cual a su vez puede influir en el nivel de OD, la DBO, la concentración de nutrientes, lo que en su conjunto termina influyendo en la eficacia del proceso de estabilización de los efluentes. Es importante destacar la necesidad de contar con monitoreos con frecuencias semanales o quincenales a lo largo del tiempo, para poder realizar un seguimiento de la calidad biológica, bacteriológica y físico química más precisa, que permitan alcanzar conclusiones más sólidas. Esto además aportará información valiosa para aquellas decisiones que se deban tomar para la gestión de este sistema.



## BIBLIOGRAFIA

- Alcarraz, G. A., March, M. A., Weise, E. S., & Schaer, A. (2008). Caracterización socioambiental de un paisaje transformado: El caso de la Laguna Negra. Trelew, Chubut, Argentina. *Boletín Geográfico Año XXX N°31*, 141-157.
- Betti, F. (2022). *Caracterización microalgal en lagunas finales de tratamiento de efluentes de tipo cloacal e industrial de la ciudad de Trelew*. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Práctica Profesional, Trelew.
- Cony, L., Ferrer, C., & Cáceres, J. (2014). Evolución del estado trófico y estructura del fitoplancton de un lago somero de la Región Pampeana: laguna Sauce Grande (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Biología Acuática*.
- Diván, S. (2015). *Caracterización algal en lagunas finales de plantas de tratamiento de efluentes cloacales de la provincia de La Pampa*. La Pampa: Consejo Federal de Inversiones.
- Forastier, M. E., Zalocar, Y., Andrinolo, D., & Domitrovic, H. A. (2016). Presencia y Toxicidad de *Microcystis aeruginosa* (Cianobacteria) en el Río Paraná, aguas abajo de la represa Yacyretá (Argentina). *Biol. trop.* , 641, 203-211.
- Freddo, B. V., & Massera, C. B. (2017). Los sistemas de información geográfica como herramienta para la extensión universitaria. *Revista de extensión universitaria*, 320-329.
- Gentili, J., Zapperi, (Stefani, Salerno, & Copetti, 2015) P., & Angeles, G. (2016). Análisis espacial y cartografía temática automatizada mediante SIG. *Párrafos Geográficos*, 6-24.
- Gómez, N. (1998). Use of epipellic diatoms for evaluation of water quality in the Matanza Riachuelo (Argentina), a pampean plain river. *Water Research*, 32, 2029-2034.
- March, M. (2006). *Teledetección aplicada al estudio multitemporal de las lagunas de estabilización de Trelew*. Universidad Nacional de Luján: Trabajo Final, Especialización en teledetección y SIG aplicado al estudio del medio ambiente.
- March, M. (2016). *Transformaciones y problemáticas sociambientales del periurbano oriental trelewense*. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. Obtenido de <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/3917>



PROGRAMA DE POSTGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS HÍDRICAS (CON MENCIÓN AMBIENTAL)

- Metcalf, & Eddy. (1996). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento y reutilización. Wastewater Engineering*. McGraw Hill: México. Metcalf & Eddy (2004), .
- Pérez, L., Perales, S., Sastre, V., Santinelli, N., & Andrinolo, D. (2009). Cianobacterias en ambientes continentales de la provincia del Chubut - Patagonia Argentina. *Congreso: Cianobacterias, del conocimiento a la gestión*.
- Santinelli, N., Sastre, V., & Caille, G. (1990). Fitoplancton del estuario inferior del Río Chubut y su relación con la salinidad y la temperatura. *Revista de la asociación de ciencias naturales del litoral* 21, 69-79.
- Sastre, V. (2020). *Informe sobre la presencia de cianobacterias en la Laguna Chiquichano*. Instituto de Investigación de Hidrobiología, Trelew.
- Sastre, V., & Santinelli, N. (1996). Funcionamiento y evolución de las lagunas de estabilización de Trelew, Chubut, Argentina.
- Seeligmann, C., Tracanna, C., De Marco, S., & Isasmendi, S. (2001). Algas fitoplanctónicas en la evaluación de la calidad del agua de sistemas lóticos en el noreste argentino. *Limnetica*, 20(1), 123-133.
- Serra, J., Ares, J., Chachero, M., Feller, M., Gonzales Gallastegui, A., Malnero, H., . . . Wahler, J. (2006). Plan de manejo y Gestión Integral del Sistema de Tratamiento de Efluentes de la ciudad de Trelew.
- Stampone, J. (1996). Contaminación hídrica subterránea en zonas suburbanas de la ciudad de Trelew. *Naturalia Patagónica*, 74-78.
- Stampone, J., & Ichazo, G. (1995). Detección de contaminación hídrica subterránea en las lagunas de evaporación de Trelew. Provincia del Chubut, Argentina. *Serie Correlación Geológica*, 111-118.
- Stampone, J., Ichazo, G., & Góngora, H. (1995). Aporte al conocimiento de la hidrología subterránea en la zona de las lagunas de estabilización de Trelew. *Naturalia Patagónica*, 57-64.
- Stefani, F., Salerno, F., & Copetti, D. (2015). Endogenous origin of foams in lakes: a long-term analysis for Lake Maggiore (northern Italy). *Hidrobiologia*, 249-265.
- Suaza, L., Albarracín, I., Cravero, M., & Salomón, R. (2010). Crecimiento de *Scenedesmus quadricauda* en efluentes cloacales de la ciudad de Trelew, Chubut, Argentina.



**PROGRAMA DE POSTGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS HÍDRICAS (CON MENCIÓN AMBIENTAL)**

---

Vázquez, F. (2016). Lagunas de estabilización. *Extensionismo, innovación y transferencia tecnológica - Claves para el desarrollo*, 148-163.

Villa, A., Herazo, D., & Torregroza, A. C. (2014). *Efecto del fotoperiodo sobre el crecimiento de la diatomea Chaetoceros calcitrans en cultivos estaticos*.  
Barranquilla: CENIACUA.