

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/341960459>

EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LOS LAGOS ICALMA, GALLETUÉ Y LAJA

Chapter · April 2020

CITATIONS

0

READS

58

8 authors, including:



[Roberto Urrutia](#)

University of Concepción

200 PUBLICATIONS 4,645 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Pablo Pedreros](#)

University of Concepción

27 PUBLICATIONS 169 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Identificación, monitoreo y evaluación del riesgo de la población del Gran Concepción ante la presencia de cianobacterias y cianotoxinas. Proyecto FONIS SA13I20211 [View project](#)



Proyecto Fondecyt Postdoctoral: Cambio en altitud de isotermas en ambientes fluviales alto-andinos, en base a proyecciones de cambio climático: Estudiando el efecto de compresión y/o expansión en la distribución de macroinvertebrados bentónicos [View project](#)

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LOS LAGOS ICALMA, GALLETUÉ Y LAJA

Roberto Urrutia
Pablo Pedreros
Viviana Almanza
Carolina Badilla
M. Tamara Lara
Lien Rodríguez
Denisse Álvarez
Oscar Parra

Introducción

Chile posee una gran diversidad climática y geológica, producto de lo cual es posible observar una amplia variedad de ecosistemas terrestres y acuáticos a lo largo del territorio nacional. Entre los ecosistemas acuáticos continentales es posible distinguir, de norte a sur, las siguientes formaciones o distritos lacustres: sistema de lagos del altiplánicos, sistema de lagunas hipersalinas, sistemas de lagos Nahuelbutanos, sistema de lagos nord-patagónicos o araucanos, sistema de lagos de la isla de Chiloé y el sistema de lagos magallánicos o patagónicos (Parra *et al.* 2003).

En la cuenca del río Biobío, la presencia de cuerpos lacustres es bastante escasa, y los lagos más importantes se encuentran en la cordillera de los Andes, sobre los 1.000 m de altura, a saber: Lagos Laja, Icalma y Galletué. Estos lagos no pertenecen a ninguno de los distritos lacustres descritos anteriormente.

Los lagos se originan principalmente por la obstrucción del drenaje superficial debido principalmente a procesos glaciares, tectónicos y volcánicos. Ellos reciben aportes sólidos y líquidos de su cuenca de drenaje, mediante escurrimiento superficial y subterráneo, razón por la cual las características de la calidad del agua y de las comunidades biológicas, reflejan los efectos acumulados de todos los aportes provenientes de su entorno.

En términos generales, los lagos y embalses pueden ser clasificados como oligotróficos, mesotróficos o eutróficos, en función de la concentración de nutrientes en la masa de agua y/o en base a las manifestaciones ecológicas de la carga de nutrientes, principalmente de fósforo y nitrógeno (Ryding & Rast 1992). Los lagos oligotróficos se caracterizan por poseer bajos niveles de nutrientes, baja productividad primaria, alta diversidad y transparencia. Mientras que los lagos eutróficos poseen baja diversidad, baja transparencia, altas concentraciones de nutrientes y una elevada biomasa algal.

Desde un punto de vista geológico, el cambio de estado trófico de un cuerpo de agua es un proceso natural que ocurre a escala de cientos a miles de años, conocido como "eutrofización natural" (Ryding & Rast 1992). Sin embargo, la intervención antrópica, principalmente a través de cambios de uso del suelo (ej. deforestación, ganadería, agricultura, etc.), crecimiento urbano (descargas de aguas servidas) y expansión de actividades industriales (efluentes industriales, acuicultura, etc.), pueden acelerar este

proceso, generando el cambio a una escala de años y/o décadas, denominándose "eutrofización cultural" (Parra 1989), para diferenciarla del proceso natural.

Para definir el estado trófico de un cuerpo de agua se utilizan diferentes índices calculados a partir de distintos parámetros. Normalmente se basan en la determinación del contenido de clorofila-a (pigmento de color verde presente en algas y plantas), contenido de nutrientes (fósforo y nitrógeno) y transparencia del agua. El estado trófico de un ecosistema se asocia con la calidad del agua, así un ecosistema oligotrófico presenta una buena calidad del agua y es posible utilizar el recurso hídrico para diferentes servicios ecosistémicos (ver capítulo calidad del agua). Un ecosistema eutrófico se asocia a mala calidad del agua, en donde no es posible su uso para consumo humano ya que constituye un riesgo para la salud.

Debido a que las microalgas son sensibles a cambios ambientales en los sistemas lacustres, se consideran buenos indicadores de la calidad del agua y particularmente de las condiciones tróficas (Salmaso *et al.* 2006). Específicamente, variaciones en su abundancia y composición taxonómica pueden reflejar cambios en la concentración de fósforo y/o nitrógeno. Además, el crecimiento excesivo del fitoplancton, conocido como floración o "bloom", puede provocar una disminución de la calidad del agua, afectando negativamente los usos del lago.

Un cuerpo de agua en proceso de eutrofización requiere planes de acción a mediano y largo plazo, que incluyan un monitoreo permanente de toda la masa de agua, sedimentos y una estimación de la entrada y salida de nutrientes. La evaluación cuantitativa del estado trófico y el grado de contaminación de los sistemas lacustres es de gran trascendencia en la gestión ambiental territorial, ya que permite determinar restricciones de uso de estos recursos (*e.g.* abastecimiento de agua para consumo humano, baño), y orientar medidas de recuperación y mitigación, cuando corresponda (*e.g.* colectores de aguas lluvia, forestación).

Por la ubicación geográfica de los lagos Laja, Icalma y Galletué la intervención antrópica ha sido muy baja, lo que ha permitido que estos cuerpos de agua sigan su proceso natural hasta épocas recientes. En un estudio realizado por el Centro EULA-Chile entre los años 1990- 1991, se determinó que los lagos Icalma y Galletué mantenían un estado oligotrófico. No obstante, no existe información actualizada que dé cuenta del estado trófico actual de estos lagos. Es por ello, que este capítulo presenta una evaluación del

estado trófico y de la comunidad fitoplanctónica de los lagos Laja, Icalma y Galletué de los años 2018-2019 y se compara con la información histórica disponible para estos últimos dos lagos.

Clasificación del estado trófico de los lagos

Para clasificar el estado trófico de los lagos, existen varias metodologías, entre ellas las de OCDE (1982) y Carlson (1977) (Tablas 1 y 2). Sin embargo, el índice de estado trófico de Carlson, es uno de los más importantes y utilizados a nivel mundial, ya que usa los valores de la transparencia (Ds), clorofila- a (Chl a) y Fósforo Total (Pt) en su estimación. Su rango de valores fluctúa entre 0 a 100, siendo el primero un estado oligotrófico y el último hipereutrófico. Entonces, la obtención de estos parámetros en los tres lagos es fundamental para poder aplicar este índice.

Tabla 1. Valores límites para la clasificación trófica de lagos (OCDE 1982).

Categoría trófica	Fósforo total (µg /L)	Clorofila- a media (µg/L)	Clorofila-a máxima (µg/L)	Transferencia Secchi media
Ultraoligotrófico	< 4,0	< 1,0	< 2,5	> 12
Oligotrófico	< 10,0	< 2,5	< 8,0	> 6
Mesotrófico	10 - 35	2,5-8	8 - 25	6 - 3
Eutrófico	35 - 100	8 - 25	25 - 75	3 - 1,5
Hipereutrófico	> 100	> 25	> 75	< 1,5

Tabla 2. Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua (Carlson 1977).

Grado de Trofia	TSI	Transferencia Secchi (m)	Fósforo total (µg/L)	Clorofila-a (µg/mL)
Oligotrófico TSI < 30	0	64	0,75	0,04
	10	32	1,5	0,12
	20	16	3	0,34
	30	8	6	0,94
Mesotrófico 30 < TSI < 60	40	4	12	2,6
	50	2	24	6,4
	60	1	48	20
Eutrófico 60 < TSI < 90	70	0,5	96	56
	80	0,25	192	154
	90	0,12	384	427
Hipereutrófico 90 < TSI < 100	100	0,06	768	427

Características morfométricas de los lagos

Lago Laja

El lago Laja está situado en la latitud 37°17'S y 71°19'O de longitud a 1.360 m s.n.m. (Cordillera de Polcura) (Figura 1). Se originó por el represamiento del río Laja debido a una de las erupciones del Volcán Antuco. Este cuerpo de agua posee un volumen aproximado de 6 mil millones de metros cúbicos. Su cuenca posee un área de 975 km², mientras que la superficie del lago es de 87 km² (Tabla 3). Históricamente el lago registró una profundidad máxima de 135 m. Sin embargo, debido a la extracción de agua para la generación hidroeléctrica y el riego, la profundidad actual oscila alrededor de los 100 m. Posee una profundidad máxima histórica a los 100 m, la que varía a lo largo del año, desde 15 a 40 m. debido a la extracción de agua para la generación hidroeléctrica y el riego.

Lago Galletué

El lago Galletué está situado en la latitud 38°41'S y 71° 5'O de longitud, a 1150 m.s.n.m. (Figura 1). Se ubica aproximadamente a 26 km de la localidad de Lonquimay y a 15 kilómetros al norte del lago Icalma. El Galletué posee una extensa área de drenaje representada por dos ríos principales que son el Nirreco y Miraflores. Según su mapa batimétrico el lago tiene una superficie de 12.5 km² y una profundidad máxima de 45 m (Figura 1, Tabla 3). El origen de la cubeta del lago está asociado a la actividad glaciaria del pleistoceno y orientada en dirección del eje oeste-este (Mardones *et al.* 1993). Su costa es bastante baja y regular, con extensas playas de arena y zonas bajas.

Lago Icalma

El lago Icalma está situado en la latitud 38°47,5'S y longitud 71°17,5'W a 1.150 m.s.n.m. (Figura 1) El lago tiene un origen glaciario y ocupa una cubeta larga y estrecha siguiendo una línea de falla de dirección noreste que se abre hacia la zona fronteriza de Liucura, la cual estuvo ocupada en el Pleistoceno por una lengua glaciaria de aproximadamente 12 km. (Bertrand 2008). El lago tiene una superficie de 11,7 km² incluida la laguna Chica de Icalma (Tabla 3). El cuerpo principal, más ancho y extenso, tiene una superficie de 9.8 km² y una profundidad máxima de 135 m. (Tabla 3). En el sector occidental, más estrecho, alcanza profundidades sobre 50 m. Su área de drenaje es relativamente pequeña, 150 km² y sus dos ríos principales, el Huillínco e Icalma son de corto trayecto (12 a 14 km. de largo) y ambos corren de suroeste a noreste. Su costa es abrupta, principalmente, en la

Tabla 3. Principales parámetros morfométricos de los lagos Laja, Icalma y Galletué.

Parámetros	Laja	Galletué	Icalma
Profundidad máxima (m)	135	45	135
Profundidad media (m)	54	27	66
Largo máx. (km)	35	6,7	6,1
Ancho máx. (km)	7	3,3	2,4
Área del lago (km ²)	87	12,5	9,8
Volumen del lago (x10 ⁶ m ³)	5.582	338	650
Referencias	Urrutia <i>et al.</i> 2010; DGA 2017; Mardones & Vargas 2005	Parra <i>et al.</i> 1993; Mardones <i>et al.</i> 1993	Parra <i>et al.</i> 1993; Bertrand 2005

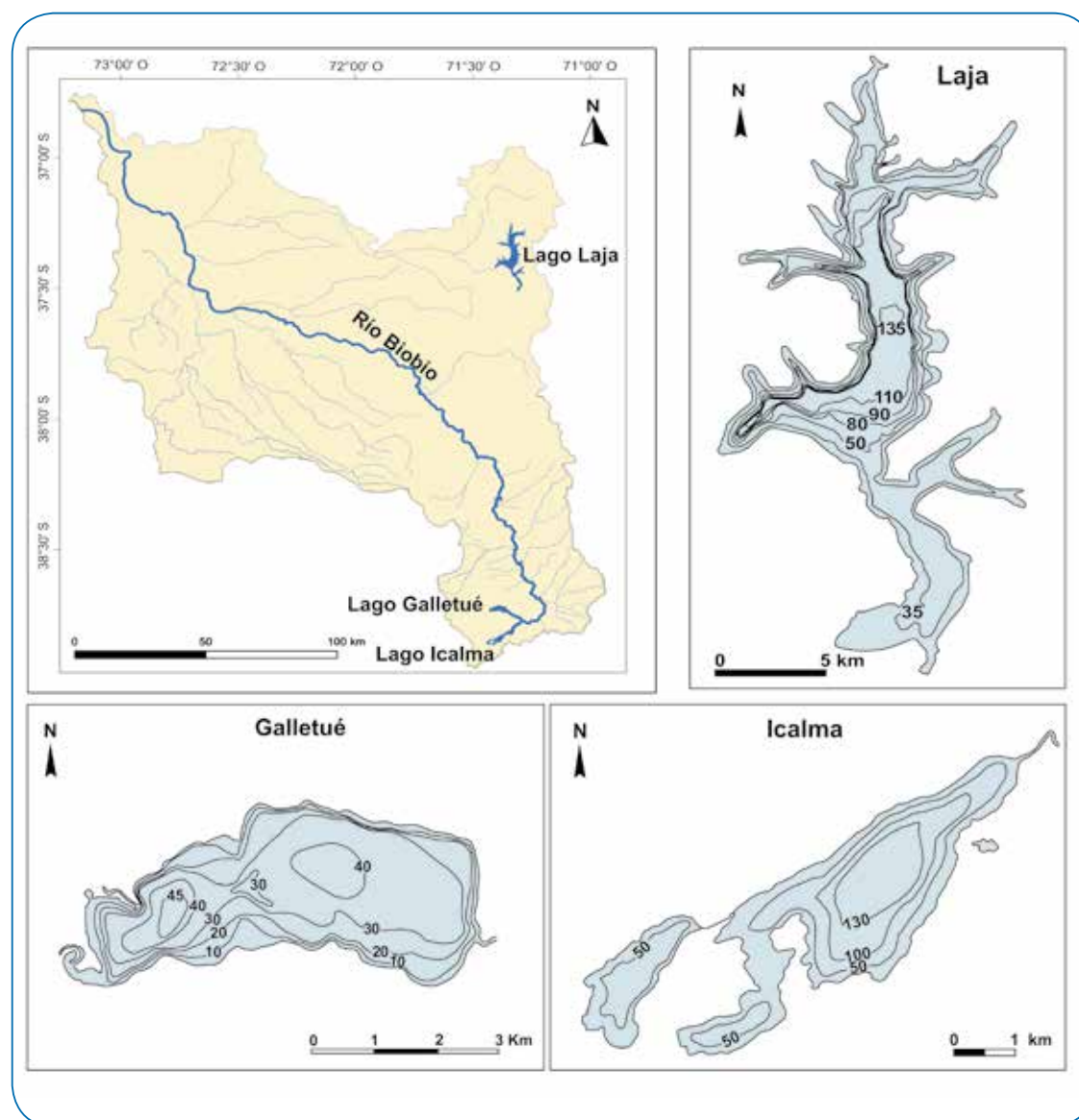


Figura 1.

Ubicación geográfica y batimetrías de lagos Laja, Galletué e Icalma.

ribera norte; en el sector, la pendiente es fuerte hasta la orilla y su costa es recta. Por el contrario, la costa sur es más irregular y de pendiente más suave. Una península divide el cuerpo de la laguna.

Calidad de agua y estado trófico actual de los lagos

Lago Laja

El lago Laja es clasificado como un sistema monomítico templado, es decir la columna de agua permanece estratificada en época de verano y la temperatura nunca es inferior a 4°C. Los registros de temperatura obtenidos durante los años 2018-2019 muestran que esta condición perdura en la actualidad, observándose que durante el verano hay una estratificación térmica, que se rompe en otoño, permaneciendo completamente mezclado en época invernal.

El agua del lago se caracteriza por tener una baja conductividad, pH neutro (~7), aguas blandas (bajo contenido de carbonatos) y transparentes (>7 m). La concentración de fósforo total y clorofila-a fue levemente mayor en enero de 2019, respecto de marzo de 2018. Mientras que el nitrógeno total, tiene un comportamiento relativamente homogéneo en la columna de agua y en ambos monitoreos.

Según la clasificación OCDE (1982) el lago Laja fue oligotrófico en marzo de 2018 y oligo-mesotrófico en enero de 2019 (Tabla 4). Mientras que el índice de Carlson (1977) determinó una condición trófica similar, con la salvedad que en enero su estado general fue mesotrófico (Tabla 5).

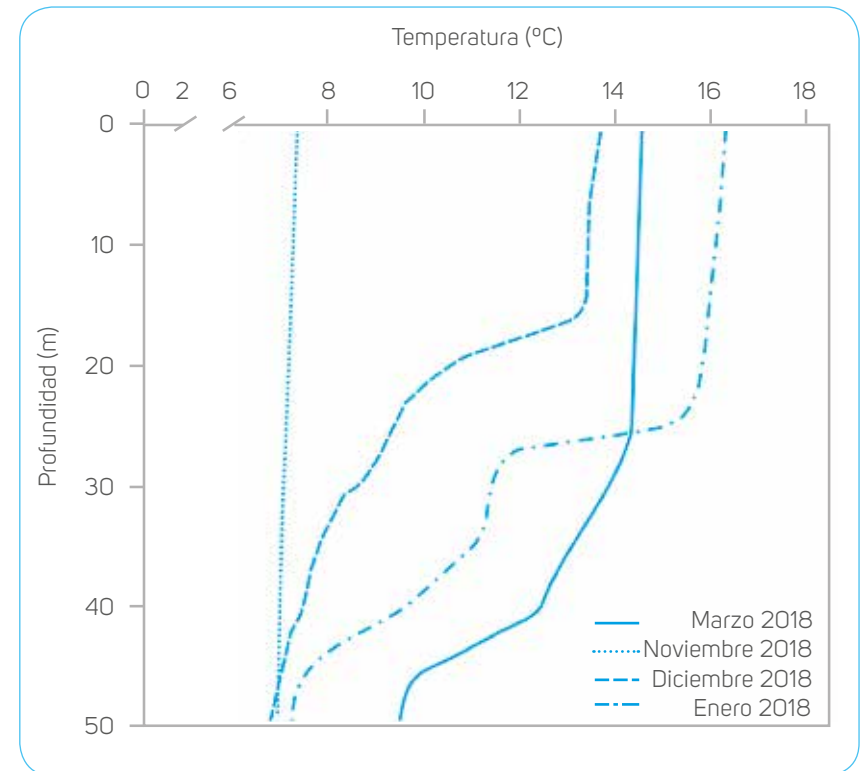


Figura 2.

Perfiles de temperatura del lago Laja (período 2018-2019).

Tabla 4. Parámetros físico-químicos del lago Laja.

	Superficial		5 m		15 m		30 m	
	Marzo 2018	Enero 2019	Marzo 2018	Enero 2019	Marzo 2018	Enero 2019	Marzo 2018	Enero 2019
Temperatura (°C)	14,8	15,4	14,6	15,3	14,4	14,9	10,2	10,0
Conductividad (μS/cm)	48,5	63,6	47,5	50,9	45,1	53,2	45,2	54,9
pH	7,6	7,5	7,8	7,3	7,37	7,7	7,6	7,6
Transparencia (m)	7,5	9,5						
Amonio (mg/L)	< 0,02	<0,016	< 0,02	<0,016	< 0,02	<0,016	< 0,02	<0,016
Dureza total (meq/L)	0,89	0,31	0,88	0,28	0,85	0,29	0,90	0,30
Fósforo Total (μg/L)	<0,006	0,02	<0,006	0,01	<0,006	0,03	<0,006	0,01
Nitrato (mg/L)	0,033	0,016	0,014	0,020	0,025	0,020	0,187	0,022
Nitrito (mg/L)	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015
Nitrógeno Total (mg/L)	0,10	0,08	0,14	0,17	0,11	0,11	0,10	0,10
Ortofosfato (mg/L)	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Sílice Disuelta (MgSiO ₂ /L)	13,26	7,48	9,85	7,10	9,61	5,41	11,46	7,10
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	48,0	38,5	47,0	44,0	44,0	42,0	47,0	38,0
Clorofila-a (μg/L)	0,06	0,08	0,03	2,78	0,07	0,75	0,08	0,51
Estado trófico actual según OCDE (1982)	Oligo/mesotrófico							

Tabla 5. Índice de estado trófico TSI (Carlson 1977).

	Marzo 2018	TSI	Enero 2019	TSI
Transparencia del agua (Ds) (m)	31,0	Mesotrófico	45,2	Mesotrófico
Fósforo total (Pt) (μg/L)	29,9	Oligotrófico	45,8	Mesotrófico
Clorofila-a (Chl a) (μg/L)	3,0	Oligotrófico	30,9	Mesotrófico
TSI	21,3	Oligotrófico	40,6	Mesotrófico

El fitoplancton encontrado en el lago Laja, presentó una baja riqueza taxonómica (número de especies) compuesta principalmente por diatomeas (Figura 3). Sin embargo, la abundancia de las especies cambió de un año a otro. Por ejemplo, durante el 2018, la comunidad fitoplanctónica estuvo dominada por cianobacterias (74% de *Dolichospermum flosaquae*), las que generaron una floración durante un período aproximado de cuatro meses (Figura 4). Por el contrario, en el 2019, el fitoplancton estuvo dominado por diatomeas (67%) como *Fragilaria crotonensis* y *Cyclotella acellata* (Figura 5a y b). Esta última especie generó una floración en toda la columna de agua, alcanzando una abundancia máxima a los 15 m de profundidad. Asociado a esta floración, se observó la presencia del dinoflagelado *Ceratium hirundinella* (Figura 6), el cual genera floraciones en cuerpos de agua eutróficos, modificando el color y sabor del agua, provocando además, la obstrucción de los filtros en los sistemas de tratamiento de agua potable (Meichtry de Zaburlin *et al.* 2016).

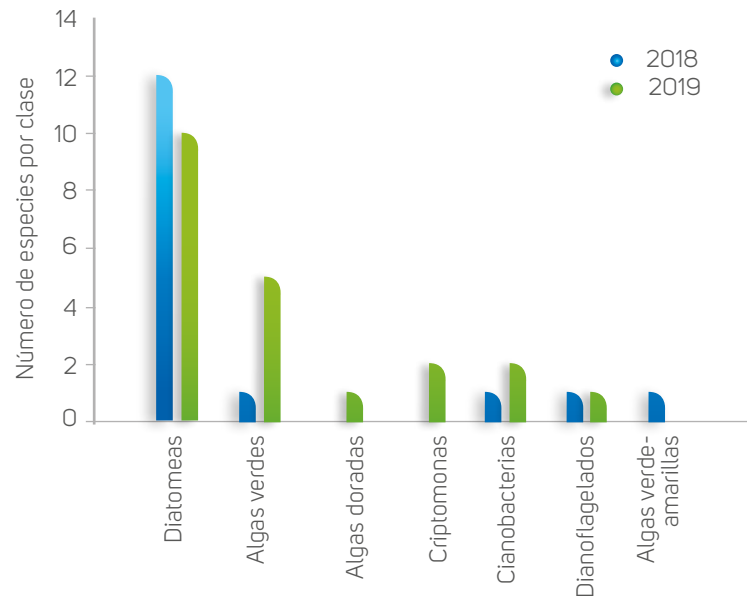


Figura 3.

Número de especies de fitoplancton por clase, durante los monitoreos 2018 y 2019 en el Lago Laja.

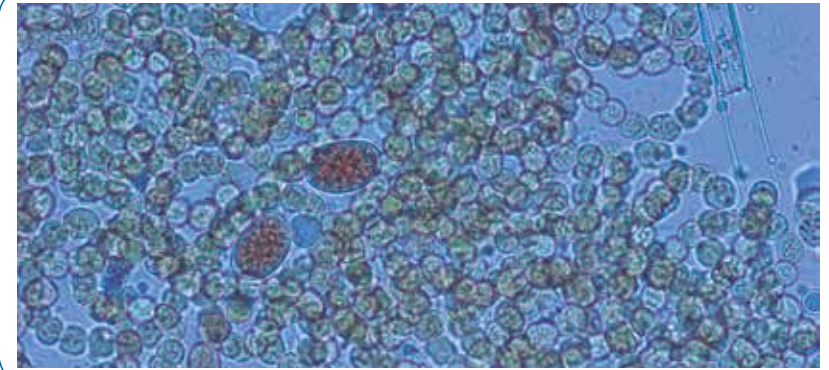


Figura 4.

Dolichospermum flosaquae, Floración Lago Laja, verano 2018.

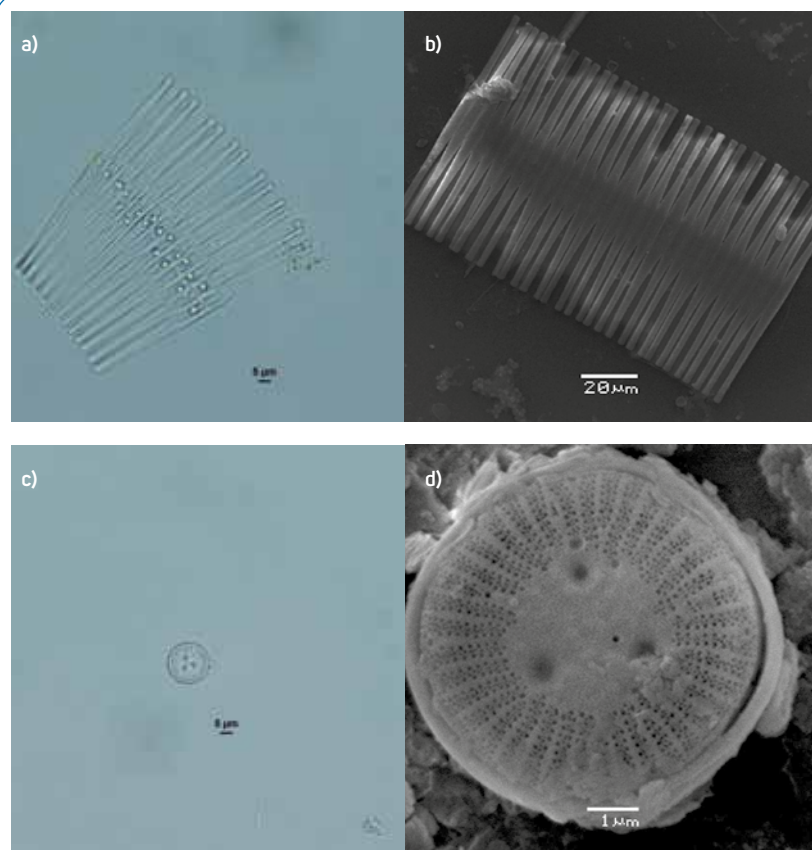


Figura 5.

a) *Fragilaria crotonensis*, fotografía en microscopio óptico, b) *Fragilaria crotonensis*, fotografía en microscopio electrónico, c) *Cyclotella ocellata*, fotografía en microscopio óptico y d) *Cyclotella ocellata*, fotografía en microscopio electrónico.

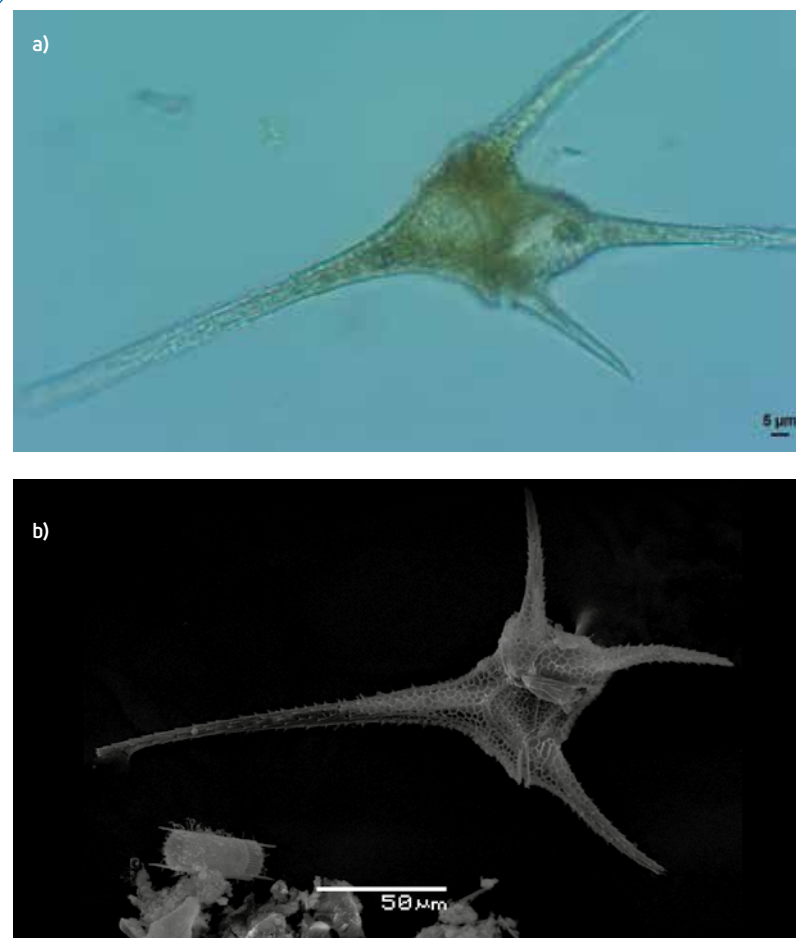


Figura 6.

Ceratium hirundinella. Fotografía en a) microscopio óptico y b) *Ceratium hirundinella* fotografía en microscopio electrónico.

Lago Galletué

Este cuerpo lacustre es un sistema monomítico templado, con estratificación térmica estival, que se ubica aproximadamente entre los 10 y 15 m de profundidad (Figura 7). Este fenómeno físico comienza a formarse en el mes de octubre y se mantiene hasta fines de marzo. En época invernal se aprecia una columna homogénea en torno a los 8°C.

El lago Galletué se caracteriza por presentar aguas blandas y transparentes, baja conductividad y pH neutro (Tabla 6). Mientras que el fósforo total y la clorofila-a aumentaron notoriamente durante el 2019. En tanto, las concentraciones de nitrógeno total se han mantenido más o menos constantes durante el periodo considerado en el estudio, con un promedio de 65 µg/L.

El estado trófico del lago según el índice de la OCDE (1982), muestra que la condición actual del lago puede clasificarse en dos categorías; mesotrófico según las concentraciones de fósforo total y oligotrófico según la transparencia y concentración de clorofila-a (Tabla 6). Al realizar la comparación con el índice de Carlson (1977), se obtiene que en marzo de 2018 el estado fue oligotrófico, mientras que en enero de 2019 el lago fue mesotrófico (Tabla 7).

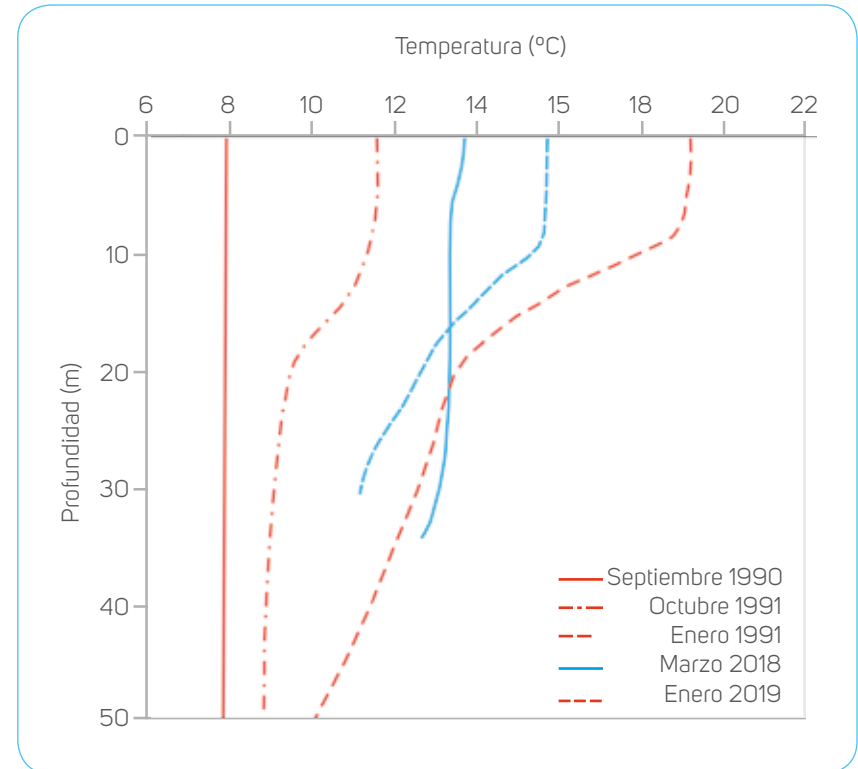


Figura 7.

Perfiles de temperatura del lago Galletué en los periodos 1990-1991 (rojo) y 2018-2019 (azul).

Tabla 6. Parámetros físico-químicos del lago Galletué.

Parámetros	Monitoreo				
	Septiembre 1990	Enero 1991	Octubre 1991	Marzo 2018	Enero 2019
Temperatura (°C)	7,9	13,6	8,7	13,3	14,1
Conductividad (µS/cm)	48,6	51,6	33,8	37,6	66,0
pH	6,8	7,0	7,7	7,1	7,2
Transparencia (m)	-	-	-	8,0	10,0
Amonio (mg/l)	-	0,0042	0,0013	< 0,02	<0,02
Dureza total (meq/L)	0,4	0,4	0,4	0,25	0,33
Clorofila-a (µg/L)	-	-	-	0,49	1,09
Fósforo Total (µg/L)	-	4,9	7,3	<6,0	23
Nitrato (mg/L)	0,020	0,005	0,0285	0,010	0,009
Nitrito (mg/L)	-	-	-	<0,015	<0,015
Nitrógeno Total (µg/L)	20,0	75,1	61,4	100	70
Ortofosfato (mg/L)	-	0,0008	0,0012	<0,04	<0,04
Sílice Disuelta (MgSiO ₂ /L)	14,4	17,1	24,8	17,4	11,8
S.T.S (mg/L)	2,0	2,0	2,7	<1,0	<1,0
S.T.D (mg/L)	59,1	48,4	65,5	58,4	46,0
Estado trófico actual según OCDE (1982)	Oligo/mesotrófico				

Tabla 7. Índice de estado trófico de Carlson (1977) para el lago Galletué.

Parámetros	Marzo 2018	Enero 2019
Transparencia del agua (Ds)(m)	30,0	41,5
Fósforo total (µg/m ³)	29,99	49,36
Clorofila-a (µg/m ³)	12,62	31,45
TSI	24,2 Oligotrófico	40,8 Mesotrófico

La comunidad actual de fitoplancton en el lago está compuesta por 58 especies, de las cuales un 41% corresponden a diatomeas. Comparativamente con el monitoreo de 1990-1991, donde se registraron 85 especies (con un 58% de diatomeas), el número de especies ha ido disminuyendo. Dentro del grupo de las diatomeas, se destacan tres diferentes clases: *Mediophyceae*, *Coscinodiscophyceae* y *Bacillariophyceae*, siendo esta última la más diversa en ambos periodos.

Diferencias entre las abundancias de diatomeas en los monitoreos de 1990-1991 y 2018-2019, dejan en evidencia un cambio de las condiciones del lago durante los últimos 30 años. Particularmente, el cambio de diatomeas céntricas (e.g. *Aulacoseira* spp. Figura 9 a y b) a pennadas (e.g. *F. crotonensis* y *T. fenestrata*, Figura 9 c y d), sugiere un cambio de las condiciones del lago, que estarían asociadas a la carga de nutrientes como fósforo y/o nitrógeno. Estudios realizados en lagos templados de altas latitudes indican que especies como *F. crotonensis* habitan en lagos oligotróficos, pero tienen la capacidad de aumentar su abundancia a mayores concentraciones de fósforo. La presencia de una floración de cianobacterias (Figura 10) durante el último monitoreo también podría dar evidencia de un aumento de nutrientes en la columna de agua.

En los lagos oligotróficos alpinos y ubicados en zonas prístinas, se ha indicado que las floraciones de diatomeas son causadas por el enriquecimiento de nitrógeno de los ecosistemas producto de la deposición atmosférica (Saros *et al.* 2015). La concentración atmosférica de este nutriente ha aumentado en esta región durante la última mitad del siglo XX (Williams & Tonnessen 2000; Interlandi *et al.* 2003). En el caso del lago Galletué, esto puede ser una explicación al cambio de dominancia de la comunidad fitoplanctónica, con el aumento de abundancia de diatomeas y cianobacterias fijadoras de nitrógeno.

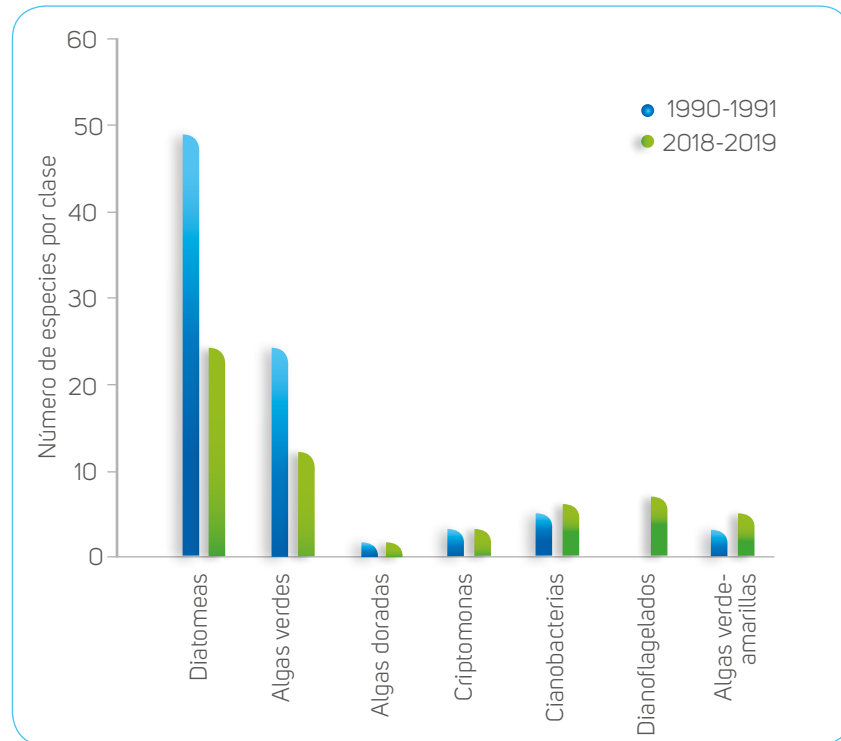


Figura 8.

Comparación del número de especies de fitoplancton por clase entre los períodos 1990-1991 y 2018-2019

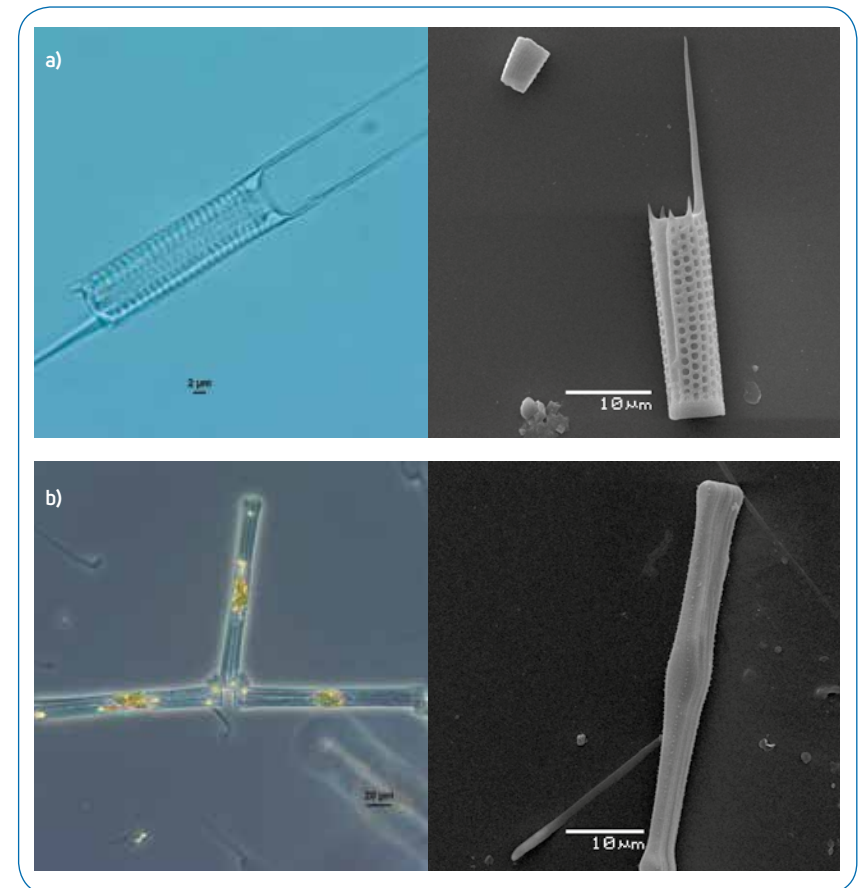


Figura 9.

a) *Aulacoseira granulata*, fotografía en microscopio óptico, b) *Aulacoseira granulata* fotografía en microscopio electrónico, c) *Tabellaria fenestrata*, fotografía en microscopio óptico y d) *Tabellaria fenestrata*, fotografía en microscopio electrónico.

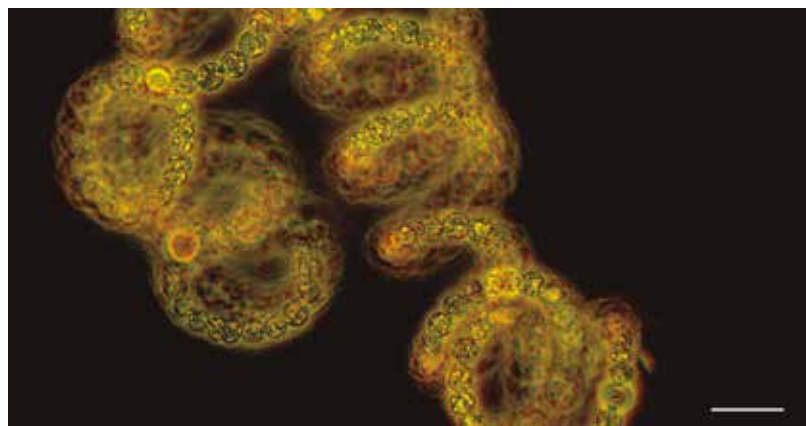


Figura 10.

Dolichospermum cf. flosaquae, Floración Lago Galletué, verano 2019.

Lago Icalma

El lago Icalma es un sistema monomítico con estratificación térmica estival (fines de octubre hasta abril), ubicándose entre los 15 y 30 metros de profundidad (Figura 11). La temperatura varía estacionalmente, entre los 6 °C y 18°C, aproximadamente. El lago se caracteriza por presentar aguas blandas y transparentes, de pH neutro y baja conductividad. Todas estas condiciones se han mantenido estables durante los últimos 30 años (Tabla 8).

De manera similar, la concentración de fósforo total en la columna de agua, se ha mantenido más o menos constante en el tiempo, con valores inferiores o iguales a 10 µg/L, valor máximo para la condición de oligotrofia. En tanto, las concentraciones de nitrógeno total han fluctuado entre 20 µg/L y 100 µg/L (Tabla 8). Respecto a la clorofila-a, esta registra valores promedio en la columna de agua entre 0,13 y 0,21 µg/L para el período 2018 - 2019. Este parámetro no presenta valores históricos para poder efectuar una comparación.

En relación al estado trófico, según el índice de la OCDE (1982), el lago presentaría una condición actual ultra-oligotrófica para clorofila-a y de oligotrofia para fósforo y transparencia (Tabla 8). La aplicación del índice de Carlson (1977) para evaluar el estado trófico del lago, permitió evidenciar que este sistema lacustre ha mantenido su condición oligotrófica, al comparar los resultados del período 2018 – 2019 (Tabla 9).

Tabla 8. Parámetros físico-químicos del lago Icalma.

Parámetros	Fecha				
	Septiembre 1990	Enero 1991	Octubre 1991	Marzo 2018	Enero 2019
Temperatura (°C)	6,0	13,6	9,0	15,3	14,1
Conductividad (µS/cm)	44,5	47,7	34,5	33,2	58,1
pH	7,2	7,4	7,7	7,7	7,6
Transparencia (m)	-	-	-	10,0	9,0
Amonio (mg/l)	-	0,0042	0,0013	<0,02	<0,02
Dureza total (meq/L)	0,3	0,3	0,3	0,87	0,29
Clorofila-a (µg/L)	-			0,21	0,13
Fósforo Total (µg/L)	-	6,0	5,6	<6,0	10,0
Nitrato (mg/L)	0,0333	0,0250	0,0404	0,037	0,02
Nitrito (mg/L)	-	-	-	<0,015	<0,015
Nitrógeno Total (µg/L)	33,3	98,0	64,9	80,0	70,0
Ortofosfato (mg/L)	-	0,8	1,2	<40	<40
Sílice Disuelta (MgSiO ₂ /L)	13,4	17,9	20,0	15,5	10,3
S.T.S (mg/L)	1,4	2,3	1,4	<1,0	<1,0
S.T.D (mg/L)	65,2	60,0	68,1	50,5	43,5
Estado trófico actual según OCDE (1982)	Ultra-oligotrófico				

Tabla 9. Índice de estado trófico TSI para el lago Icalma.

Parámetros	Marzo 2018	Enero 2019
Transparencia del agua (Ds)(m)	26,8	28,3
Fósforo total (mg/m ³)	29,9	37,4
Clorofila-a (mg/m ³)	3,0	10,6
TSI	19,9 Oligotrófico	25,4 Oligotrófico

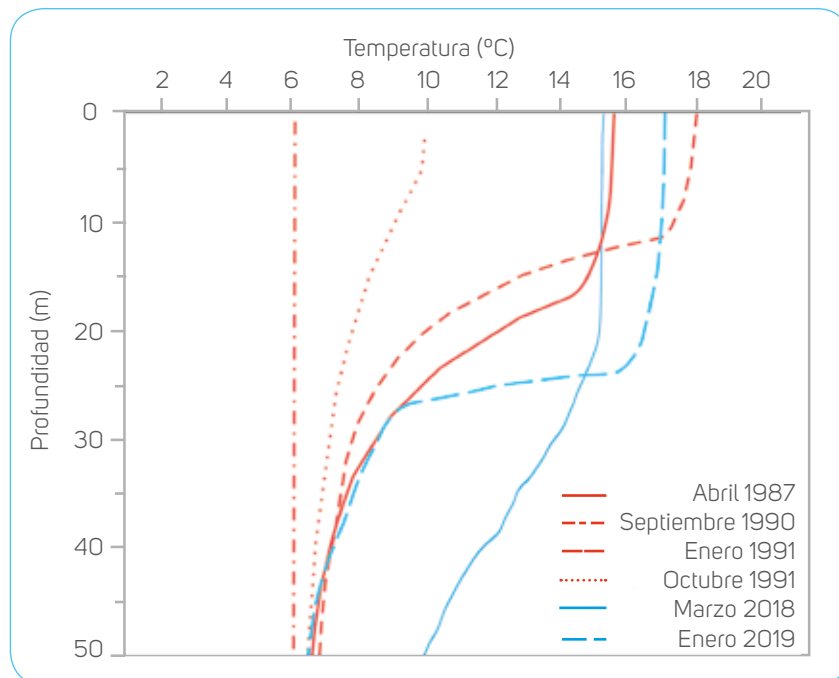


Figura 11.

Perfiles de temperatura lago Icalma en los periodos 1990-1991 (rojo) y 2018-2019 (azul).

La composición fitoplanctónica del lago Icalma, ha estado dominada principalmente por diatomeas y algas verdes (Figura 12). Similarmente a lo encontrado en el lago Galletué, se observó una disminución en la riqueza de especies, pasando de 51 (1990-1991) a 39 taxa (2018-2019). Las especies dominantes en 1990-1991 (*Rhizosolenia eriensis*, *Dinobryon divergens* y *Willea irregularis*) disminuyeron su presencia en la comunidad, llegando a ser descritas como raras en el periodo 2018-2019. En la actualidad, la diatomea *Cyclotella ocellata* y el dinoflagelado *Peridinium* cf. *incospicum*, son las especies que dominan la comunidad y que no fueron reportadas anteriormente para el lago. Específicamente, *C. ocellata* generó una floración en enero del 2019, donde alcanzó una abundancia máxima a 5 m de profundidad. Este taxón a pesar de tener una amplia distribución geográfica en ambientes dulceacuícolas, ha sido poco registrado en las aguas chilenas, siendo encontrado por primera vez en un embalse eutrófico del centro del país (Rivera *et al.* 2003). El género *Cyclotella* a menudo tiene requerimientos muy bajos de nutrientes (Arnett *et al.* 2012), pero pueden ser oportunistas como muchos taxa de pequeño tamaño y responder positivamente a la adición de nutrientes (Saros & Anderson 2015).

Además otras especies como la cianobacteria *Aphanocapsa elachista* y la diatomea *Fragilaria crotonensis* han aumentado su abundancia en la actualidad. De igual forma, se reportó la presencia del dinoflagelado *Ceratium* sp., el que si bien se registra en baja abundancia, es considerado invasor de ecosistemas acuáticos continentales de América del Sur, expandiendo en pocos años su distribución geográfica (Meichtry de Zaburlín *et al.* 2016).

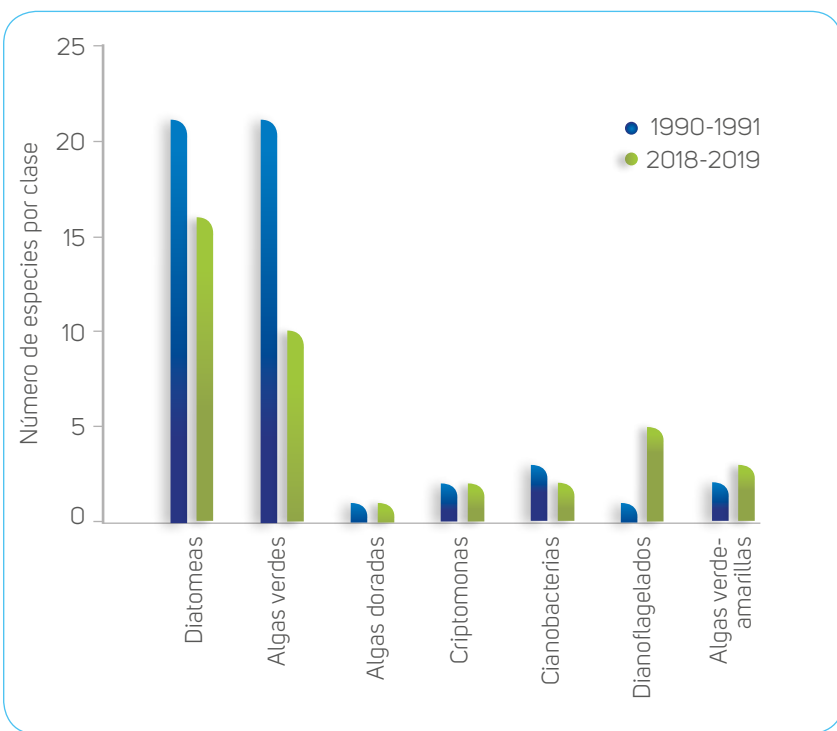


Figura 12.

Comparación del número de especies de fitoplancton por clase entre los periodos 1990-1991 y 2018-2019, en el lago Icalma.

Propuesta para la conservación del estado trófico

La recuperación de un ecosistema, definida como el retorno a una condición previa a la degradación, producida por cualquier tipo de perturbación (Welch & Cooke 1987). Sin embargo, en la realidad no se suele conocer el estado exacto de los ecosistemas en el pasado, por lo que el término “recuperación” tiene amplia definición, a pesar que en la mayoría de los sistemas acuáticos sólo se realiza una rehabilitación (Moss 1996), es decir, se alcanza un estado o condición aceptable del ecosistema, sin necesariamente recuperar las características previas a la alteración.

Dado que la carga de nutrientes es considerada el factor determinante en la transición de los lagos eutróficos, su reducción es naturalmente el primer paso para restaurar cualquier sistema (Scheffer 1998). La eliminación de las entradas implica acciones concretas que eliminan fuentes externas de nutrientes, entre ellas se encuentran la construcción de plantas de tratamientos (primarias, secundarias, terciarias), desvío de los efluentes y construcción de humedales artificiales. En general, es más fácil controlar el aporte externo de fósforo que de nitrógeno. El primero es comparativamente insoluble, puede ser fácilmente precipitado y además, en la mayoría de los casos proviene de escasas fuentes altamente concentradas. En cambio, el nitrógeno en forma de nitrato y amonio es muy soluble, no puede precipitarse fácilmente y en general es aportado de forma difusa desde la cuenca (Moss 1996). Por otro lado, un lago que ha recibido un aporte importante de nutrientes durante muchos años libera una mayor cantidad de fósforo que de nitrógeno desde el sedimento, debido a las pérdidas de nitrógeno por desnitrificación y lavado. La mayor dificultad para disminuir la concentración de nutrientes en la columna de agua es la eliminación de la reserva de éstos desde los sedimentos.

Un Plan de Manejo Integrado debe incluir básicamente, medidas de control externas e internas, que permitan recuperar el estado ambiental a un nivel aceptable para la mayor parte de sus usuarios.

Es más fácil, barato y efectivo controlar las fuentes de nutrientes y contaminantes que restaurar un cuerpo de agua una vez deteriorado. Por lo tanto, todo Plan de Manejo Integrado debería comenzar con la implementación de medidas de carácter externo. Ello implica, manejar la cuenca de drenaje, tanto en su parte inmediata, como en aquellas secciones de la cuenca que están más alejadas. Especial cuidado se debería

tener con las entradas provenientes de las descargas de plantas de tratamiento de aguas servidas, dado los altos niveles de nutrientes y otros contaminantes.

Nuestro país presenta condiciones geomorfológicas donde es posible implementar la gestión de los ecosistemas lacustres tomando como unidad de referencia las cuencas hidrográficas. En la actualidad se presenta a la cuenca como un sistema unitario, ya que está formada por un conjunto de elementos que se interrelacionan, siendo los más importantes el agua, el suelo, la vegetación y la geología. El territorio de una cuenca facilita la comprensión de las relaciones de sus habitantes -independientemente de la existencia de otros límites político-administrativos- debido a la dependencia común a un sistema hídrico compartido, a la existencia de un cierto tipo de recursos naturales, clima e infraestructura, y porque a menudo deben enfrentar problemas similares.

Sin embargo, se debe tener presente que en Chile no existe legislación que regule el uso integrado de las cuencas y sus recursos. Por otro lado, el que los límites de las unidades territoriales, tales como regiones, provincias y comunas, no coincidan con los límites de una cuenca hidrográfica, lo que dificulta aún más la gestión de ellas (e.g. La cuenca del río Biobío es compartida entre las regiones del Biobío y Araucanía). Generalmente estos límites están definidos por densidad poblacional o actividades económicas, en vez de definirlos por cuencas. Es por esta razón que a menudo una cuenca hidrográfica depende de dos (o más) regiones, las cuales pueden tener prioridades diferentes de acuerdo con sus planes de desarrollo regional.

La gestión integrada de cuencas, es un instrumento que existe en todos los países miembros de la OCDE, organización internacional del cual nuestro país es integrante. Tanto en el Primer Informe del año 2005 como en el segundo Informe del presente año, la OCDE ha indicado e insistido, en esta gran falencia que tiene nuestro país respecto a la gestión de sus recursos hídricos y de los servicios ecosistémicos que ellos prestan a la sociedad. Por lo tanto, no es posible desarrollar un plan de gestión de los lagos estudiados, sin tener a la cuenca de drenaje como la unidad geográfica de referencia.

La calidad del agua y el estado trófico de los lagos estudiados reflejan que estos sistemas presentan un buen estado de conservación, de manera que es importante implementar medidas para que estos sistemas sigan manteniendo su actual condición y no incrementen su estado trófico, ya que se observan signos de un leve aumento en la trofia de ellos. Las evidencias más claras de estos cambios se aprecian en la

disminución del número de especies del fitoplancton de los lagos Galletué e Icalma y el desarrollo de floraciones de cianobacterias en los lagos Laja y Galletué. Estos organismos son potencialmente productores de sustancias tóxicas, conocidas como cianotoxinas, que dependiendo de la especie puede ser nocivas para la salud de las personas y el ecosistema en general. En este sentido es sumamente importante desarrollar e implementar un programa de monitoreo permanente para estos cuerpos de agua, de manera de generar información científica para la elaboración de futuros planes de manejo. Particularmente importante, para los lagos Icalma y Galletué, ya que ambos ecosistemas dan origen al río Biobío, que es la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo humano y actividades recreativas de la Región, y no forman parte de la red de control de lagos de la Dirección General de Aguas.



EUULA - CHILE

Referencias Bibliográficas

- Arnett HA, Saros JE & Mast MA. 2012. A caveat regarding diatom-inferred nitrogen concentrations in oligotrophic lakes. *Journal of Paleolimnology* 47: 277-291.
- Bertrand S, Charlet F, Chapron E, Fagel N & De Batist M. 2008. Reconstruction of the Holocene seismotectonic activity of the Southern Andes from seismites recorded in Lago Icalma, Chile, 39°S. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 259: 301-322.
- Carlson R. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* 22(2): 361-369.
- DGA. 2017. Pronóstico de caudales de deshielo temporada de riego 2017 – 2018.
- Interlandi S, Kilham J & Theriot E. 2003. Diatom chemistry relationships in Yellowstone Lake (Wyoming) sediments: Implications for climatic and aquatic processes research. *Limnology and oceanography*. 48(1): 79-92.
- Mardones M, Ugarte E, Rondanelli M, Rodríguez A & Barrientos C. 1993. Planificación ecológica en el sector Icalma-Liucura (IX Región): Proposición de un método, EULA, Concepción, Chile.
- Mardones M & Vargas J. 2005. Efectos hidrológicos de los usos eléctrico y agrícola en la cuenca del río Laja. *Revista de Geografía Norte Grande* 33: 89-102.
- Meichtry de Zaburlín N, Vogler R, Molina M & Llano V. 2016. Potential distribution of the invasive freshwater dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans (Dinophyta) in South America. *Journal of Phycology*, 52(2): 200-208.
- Moss B. 1996. Aland awash with nutrients – the problem of eutrophication. *Chemistry & Industry* 3: 407-411.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 1982. Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. Final report, OECD cooperative programme on monitoring of inland waters (eutrophication control), Environment Directorate, OECD, Paris. Francia, 154 pp.
- Parra O, Campos H, Steffen W, Agüero G, Basualto S, Avilés D & Vighi M. 1993. Estudios limnológicos de los lagos Icalma y Galletué: lagos de origen del río Biobío (Chile Central). Serie monografías científicas del Centro EULA-Chile, 12: 161-168.
- Parra O, Valdovinos C, Urrutia R, Cisternas M, Habit E & Mardones M. 2003. Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile Central. *Limnetica* 22(1-2): 51-83.
- Parra O. 1989. La eutroficación de la Laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: Un caso de estudio. *Ambiente y Desarrollo* 1: 117-136.
- Rivera P, Cruces F & Vila I. 2003. *Cyclotella ocellata* Pantocsek (Bacillariophyceae): Primera cita en Chile y comentarios sobre su variabilidad morfológica. *Gayana. Botánica* 60(2): 123-131.
- Ryding S & Rast W. 1992. El control de la eutrofización en lagos y pantanos. Ed. Pirámide. Madrid, España. 375 pp.
- Salmaso N, Morabito G, Buzzi F, Garibaldi L, Simona M & Mosello R. 2006. Phytoplankton as an indicator of the water quality of the deep lakes south of the Alps. *Hydrobiologia* 563: 167-187.
- Saros JE & Anderson NJ. 2015. The ecology of the planktonic diatom *Cyclotella* and its implications for global environmental change studies. *Biological Reviews*. 90(2): 522-541.
- Scheffer M. 1998. Ecology of shallow lakes. Kluwer academic publisher. Dordrecht. Netherlands. 380 pp.
- Urrutia R, Araneda A, Torres L, Cruces F, Vivero C, Torrejón F, Barra R, Fagel N, Scharf B. 2010. Late Holocene environmental changes inferred from diatom, chironomid, and pollen assemblages in an Andean lake in Central Chile, Lake Laja (36°S). *Hydrobiologia* 648: 207-225.
- Welch E & Cooke G. 1987. Lakes. En W. Jordan, M Gilpin & J. Aber (Eds), *Restoration Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge: 109 -129.
- Williams M & Tonnessen KA. 2000. Critical loads for inorganic nitrogen deposition in the Colorado Front Range, USA, *Ecological Applications* 10(6): 1648-1665.