

## Caracterización limnológica y del zooplancton de lagos andinos en un gradiente altitudinal en Tierra del Fuego, Argentina

PATRICIA RODRÍGUEZ<sup>1,2</sup>✉; LAURA WOLINSKI<sup>2</sup> & SOLEDAD DIODATO<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC). Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina. <sup>2</sup>Universidad Nacional de Tierra del Fuego (UNTdF), Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales (ICPA), Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina.

**RESUMEN.** Durante el período comprendido entre diciembre 2022 y enero 2023 se relevan 8 lagos en un gradiente altitudinal (294-871 m s. n. m.) de la zona cordillerana de Tierra del Fuego. El objetivo fue realizar una caracterización limnológica y analizar la composición del mesozoopláncton (copépodos y cladóceros) a inicios de verano. Los lagos también abarcaron un gradiente de concentración de carbono orgánico disuelto (COD, 1-14 mg/L), color ( $a440$ , 8.1-19.6 m<sup>-1</sup>), nitrógeno total (NT, 0.56-0.92 mg/L) y concentración de clorofila *a* fitoplánctonica (cl-*a*, 0.22-4.10 µg/L). Se encontraron en total 8 taxas. La riqueza por lago varió entre 2 y 5, y fue máxima en Óvalo, el lago situado a la menor altitud, el más coloreado, con mayor concentración de COD, NT y cl-*a*. Los resultados obtenidos nos permiten hipotetizar que una mayor disponibilidad de recursos y fotoprotección conferida por la materia orgánica coloreada permitiría el desarrollo de una mayor riqueza específica de zooplancton durante el verano temprano fueguino.

[Palabras clave: lagos de altura, mesozoopláncton, carbono orgánico disuelto, clorofila *a*]

**ABSTRACT.** Limnological features and zooplankton composition in high altitude lakes from Tierra del Fuego, Argentina. During the period encompassed between December 2022 and January 2023, 8 high altitude lakes (294-871 m a. s. l.) from the Andean Mountain Range in Tierra del Fuego were monitored to describe their limnological characteristics and mesozooplankton composition (copepods and cladocerans) during early summer. The lakes covered a gradient of dissolved organic carbon (DOC, 1-14 mg/L), color ( $a440$ , 8.1-19.6 m<sup>-1</sup>), total nitrogen (TN, 0.56-0.92 mg/L) and phytoplankton chlorophyll *a* (chl-*a*, 0.22-4.10 µg/L). Total species richness was 8 including all sites, ranging from 2 to 5 at each lake. The highest richness was observed in Óvalo, the lower elevation lake, most colored, with highest DOC, TN and Chl-*a* concentration. This finding allows us to hypothesize that larger resources content and photoprotection from colored organic matter allowed the development of a more diverse zooplankton community.

[Keywords: high altitude lakes, mesozooplankton, dissolved organic carbon, chlorophyll *a*]

### INTRODUCCIÓN

El zooplancton de agua dulce está dominado principalmente por cuatro grupos de organismos: a) protistas, que incluyen los flagelados heterotróficos y protozoos; b) rotíferos, y dos sub-clases de crustáceos: c) cladóceros, y d) copépodos (Wetzel 2001). Los grupos enumerados como (a) y (b) se pueden clasificar como micro- o protozoopláncton (20-200 µm de longitud), mientras que los grupos (c) y (d), como meso- o metazoopláncton (200-2000 µm de longitud) (e.g., Sieburth et al. 1978). En la Argentina, un reciente estudio de recopilación bibliográfica sobre la diversidad taxonómica del zooplancton en ambientes acuáticos continentales mostró que, en general, está mayormente representado por rotíferos, protozoos, cladóceros y copépodos calanoideos, en ese orden (José de Paggi et al. 2023). El zooplancton, es el eslabón

que relaciona los productores primarios planctónicos (fitopláncton) con los organismos superiores de la trama trófica acuática (peces). Además, posee un rol esencial en el reciclado y la movilización de nutrientes y de materia orgánica en la columna de agua, entre otras funciones (Sterner 2009). Por otro lado, las asociaciones de especies zoopláncticas dan cuenta del estado trófico de los lagos, relacionando las tramas tróficas y los parámetros ambientales (e.g., luz y materia orgánica) con el número y tipo de especies (Modenutti et al. 2010; De los Ríos et al. 2010).

En su mayoría, los ambientes léticos de la zona cordillerana de Tierra del Fuego consisten en lagos profundos de altura y lagunas someras coloreadas a pocos metros sobre el nivel del mar; algunas en zonas de turberas, algunos grandes lagos profundos

transparentes y lagos de circo a mayor altura, influenciados por glaciares remanentes (Quirós and Drago 1999). A los ambientes dulceacuícolas de pequeño tamaño —que se encuentran sobre todo en los glaciares de circo de la cordillera— se los considera ambientes muy sensibles, centinelas del cambio climático (Adrian et al. 2009; Tartarotti et al. 2019). Si bien se ha descripto la comunidad micro- y mesozooplanctónica en cuerpos de agua de turberas (Quiroga et al. 2013; García et al. 2017) y de un ambiente mixohalino de origen artificial de la zona (Bahía Encerrada) (Biancalana and Torres 2011), los lagos de altura de Tierra del Fuego están muy poco estudiados, tanto en su caracterización limnológica general como en la descripción de su composición zooplanctónica (e.g., Mariazzi et al. 1987; De los Ríos et al. 2010). En su reciente revisión, José de Paggi et al. (2023) resaltan la urgente necesidad de ampliar nuestro conocimiento sobre la diversidad taxonómica del zooplancton en el vasto territorio de nuestro país, donde pocas regiones, o un pequeño número de ambientes dentro de grandes regiones, han sido contemplado en detalle hasta ahora. Teniendo en cuenta el vacío de conocimiento que existe en estos lagos en particular y la importancia de conocer la comunidad zooplanctónica y su relación con los parámetros ambientales, el objetivo de este trabajo fue realizar una caracterización limnológica y analizar la composición del mesozoopláncton (i.e., copépodos y cladóceros) a inicios de verano. Se seleccionaron lagos en un gradiente altitudinal que mostraran a priori diferencias en color para abarcar de esta manera la mayor heterogeneidad ambiental posible.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Se estudiaron 8 lagos de la zona cordillerana de Tierra del Fuego: Óvalo, Del Ausente,

Raquel, Perros, Lobito, Lobo, Esmeralda y Margot (Figura 1). Los nombres Lobo y Lobito no son oficiales. El rango de altitud de los cuerpos de agua estudiados varió entre 294 y 870 m s. n. m., considerando lagos por debajo y por encima de la línea de árboles, situada a ~600 m s. n. m. (Tukhanen et al. 1989) (Tabla 1). Los lagos se encuentran, en general, descongelados durante la época estival, pero suelen presentar una capa de hielo de espesor variable durante el resto del año (San Martín et al. 2021). El clima de la zona es frío oceánico húmedo con variaciones locales debido a la topografía montañosa (Coronato et al. 2017). La temperatura media para el periodo comprendido entre enero 2021 y septiembre 2022 fue 6 °C, con 10 °C en promedio en verano y 3 °C en invierno (Castro et al. 2023). La precipitación media para ese mismo periodo fue 500 mm, con mayores valores durante el período enero-marzo (SIAG, Servicio de Información Ambiental y Geográfico de CADIC). La vegetación circundante a los cuerpos de agua estudiados es, en general, bosque mixto de lenga (*Nothofagus pumilio*) y guindo (*Nothofagus betuloides*), y turbera de *Sphagnum magellanicum* (Moore 1983). Los lagos Óvalo, Del Ausente, Perros, Lobito y Esmeralda están rodeados de bosque y turba, mientras que los lagos Margot, Raquel y Lobo están ubicados por encima de la línea de árboles. Margot se encuentra en un ambiente puramente rocoso, mientras que el lago Raquel está rodeado por completo de vegetación típica de altura (i.e., plantas en cojín de los géneros *Bolax* y *Astelia*). El lago Lobo está rodeado por rocas y vegetación en cojín.

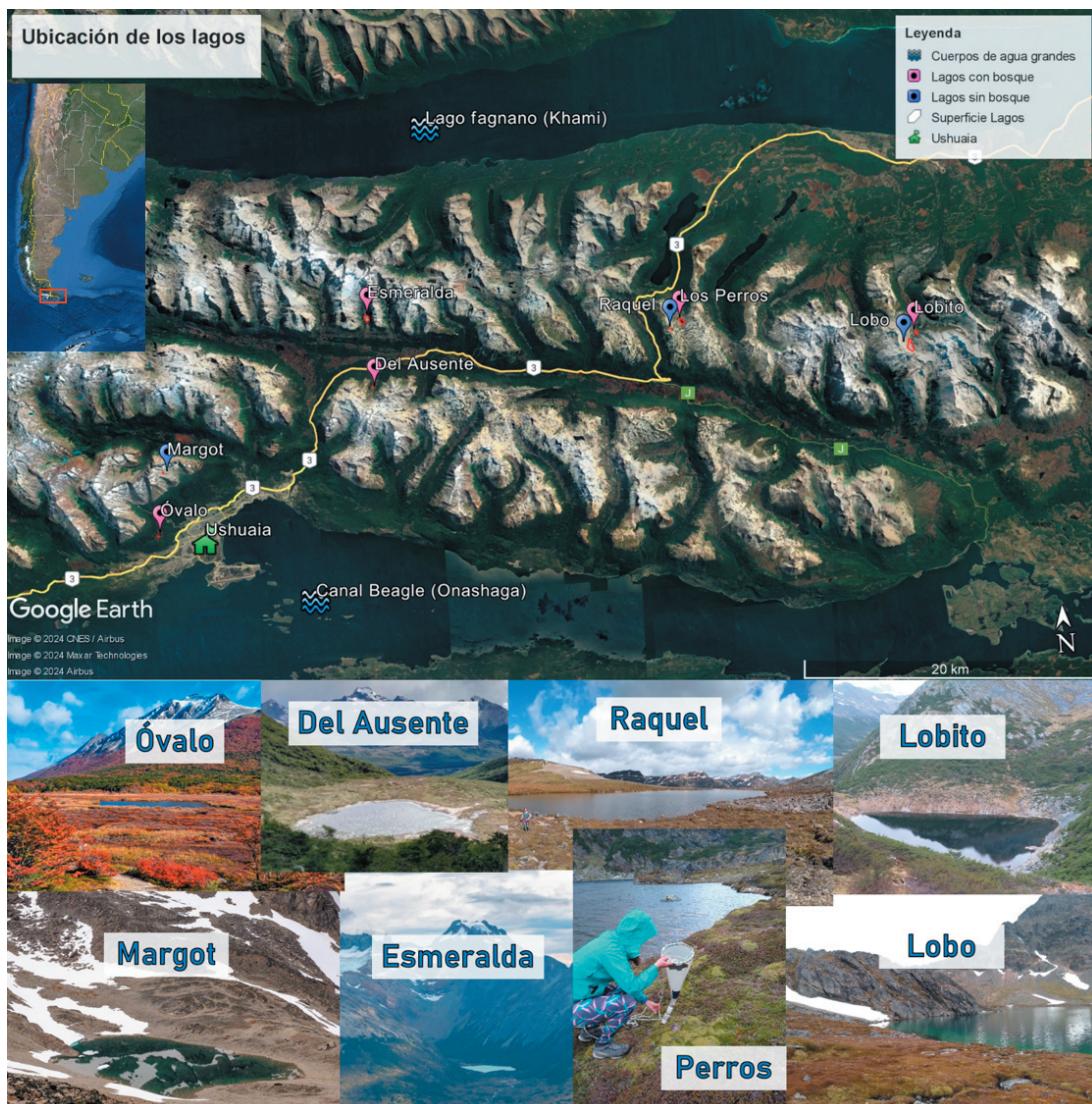
### Caracterización limnológica

Los muestreos se realizaron entre diciembre 2022 y enero 2023 en cuerpos de agua que se encontraban en su mayoría descongelados al momento de tomar las muestras. Cada cuerpo de agua se muestreó una vez durante

**Tabla 1.** Ubicación geográfica, altitud y área estimada de los lagos estudiados para este trabajo.

**Table 1.** Geographic position, altitude and area from the studied lakes.

	Ubicación (coordenadas)	Altitud (msnm)	Área (ha)
Óvalo	54°48'39.15" S - 68°22'0.99" O	294	0.5
Del Ausente	54°43'53.99" S - 68° 7'42.04" O	466	0.6
Raquel	54°42'31.35" S - 67°48'38.61" O	708	0.8
Perros	54°42'13.54" S - 67°47'59.16" O	596	8
Lobito	54°43'15.20" S - 67°33'9.53" O	498	2.5
Lobo	54°43'41.45" S - 67°33'52.41" O	628	19
Esmeralda	54°41'15.23" S - 68° 7'48.95" O	401	9.8
Margot	54°46'25.94" S - 68°21'15.87" O	870	0.7



**Figura 1.** Mapa de los lagos estudiados en la zona cordillerana del sector argentino de Tierra del Fuego. En los paneles inferiores se muestran fotos de cada sitio.

**Figure 1.** Map of the studied lakes in southern Tierra del Fuego, Argentina. In the lower panels, pictures from each lake.

el periodo indicado. En cada sitio se tomó una muestra subsuperficial de agua con una botella de PVC de 2 L previamente enjuagada con HCl 2%, agua ultrapura y agua del lago para determinar en el laboratorio la turbidez, concentración de clorofila-*a* fitoplanctónica (cl-*a*), sólidos en suspensión (SS), carbono orgánico disuelto (COD), absorbancias y nitrógeno total (NT). La turbidez se midió en la muestra de agua sin filtrar con un turbidímetro Lutron. El agua de la botella se filtró el mismo día o la mañana siguiente a la toma de muestras a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F de 0.7  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro y 47 mm de diámetro para determinar la concentración de cl-*a*. La

extracción del pigmento se realizó empleando etanol caliente (60-70 °C) como solvente. A las 24 horas se midieron las absorbancias a 665 y 750 nm en un espectrofotómetro Perkin Elmer lambda 25 UV visible, en el extracto antes y después de acidificar con HCl 0.1N (Jespersen and Christoffersen 1987; Bursztyn Fuentes et al. 2022). Para estimar la concentración de SS se filtró un volumen conocido de muestra a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/C de 1.2  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro y 47 mm de diámetro, previamente secados en estufa hasta peso constante. El filtro con el material retenido se secó nuevamente a 105 °C y los SS se obtuvieron por diferencia de los pesos de los filtros (APHA 2017). Para determinar

la concentración de COD, las muestras de agua de cada ambiente se filtraron a través de membranas hidrofílicas PVDF de 0.22 µm de tamaño de poro y 47 mm de diámetro. El agua filtrada fue analizada en un analizador Shimadzu TOC-N (Japón) dentro de la semana de filtrada, y los resultados que se presentan como COD corresponden a la fracción de carbono orgánico no purgable. También se realizaron mediciones de absorbancia a 250, 254, 365 y 440 nm en el agua filtrada por 0.22 µm con un espectrofotómetro Perkin Elmer lambda 25 UV visible con una cubeta de cuarzo de 1 cm de paso óptico. Con las absorbancias se calcularon: 1) el índice de absorbancia UV específica:

$$\text{SUVA} = \text{abs } 254 \text{ nm} * 100 / \text{concentración de COD}$$

Ecuación 1

que se encuentra directamente relacionado con la aromaticidad de la materia orgánica disuelta cromofórica (MODC); 2) el coeficiente de absorción a 440 nm:

$$a_{440} = 2.303 \text{ abs} / r$$

Ecuación 2

donde  $r$ =camino óptico de la cubeta), una medida del color del agua directamente relacionada con la concentración de MODC, y 3) el cociente entre las absorbancias a 250 y 365 nm (E2/E3), inversamente relacionado al tamaño molecular de la MODC (Kirk 2011; Aguilar Zurita and Rodríguez 2016). La concentración de NT se midió en agua sin filtrar luego de una digestión con peroxodisulfato de potasio (Valderrama 1981) y se efectuó la determinación de los nitratos en un autoanalizador Quattro Marine (Seal Analytics).

#### Zooplancton

Las muestras se colectaron a través de dos arrastres horizontales con una red de 50 µm de tamaño de poro. Se trasvasaron a frascos de plástico de 200 mL manteniéndolas frescas y en oscuridad. Luego, bajo microscopio estereoscópico LEICA se observaron *in vivo* únicamente los copépodos y cladóceros presentes en las muestras (mesozooplankton) y se determinaron las especies encontradas al nivel taxonómico más bajo posible utilizando bibliografía específica (Menu-Marque et al. 2000; Menu-Marque 2003).

#### Análisis de datos

Los datos se analizaron mediante correlaciones de Spearman ( $r_s$ ). Se muestran

resultados significativos con un  $P < 0.05$ . Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) considerando las siguientes variables ambientales estandarizadas: altitud, turbidez, SS, NT y COD. La selección de variables resultó de la inclusión de aquellas menos correlacionadas entre sí ya que al haber gradientes tan marcados de altitud, cl-a, NT, MODC y COD, la mayoría de las variables mostraron fuertes correlaciones significativas entre ellas. Se seleccionaron entonces aquellas que tuvieran correlación con el menor número de variables incluidas en el análisis (i.e., turbidez no está correlacionada con ninguna otra variable, altitud solo está correlacionada con NT, y NT lo está con SS y altitud). Los datos de presencia-ausencia de especies se clasificaron con agrupamiento usando el coeficiente de similitud de Jaccard y el método de ligamiento UPGMA. Se usaron los programas NTSYSpc 2.2 y SPSS 17.0.

## RESULTADOS

#### *Caracterización limnológica*

En general, la turbidez de los lagos fue muy baja, con valores no detectables por nuestro equipamiento a excepción de los lagos Del Ausente y Esmeralda, cuerpos de agua donde se midieron 13 y 28 NTU, respectivamente (Tabla 2). Los lagos muestreados comprenden un amplio rango de concentraciones de COD, desde 1.02 mg/L en Margot a 14.2 mg/L en Óvalo. La mayor aromaticidad de la MODC se observó en Lobo, Esmeralda y Margot (mayores índices SUVA), mientras que Óvalo fue el lago más coloreado (mayor valor de  $a_{440}$ ) y con MODC de menor tamaño molecular en relación con los demás sitios estudiados (mayor valor de cociente E2/E3) (Tabla 2). En general, la concentración de COD se correlacionó de manera positiva y significativa con el cociente E2/E3 ( $r_s = 0.83$ ), el cual, a su vez, se correlacionó negativamente con el índice SUVA ( $r_s = -0.73$ ), indicando mayor aromaticidad a mayor tamaño relativo de las moléculas de MODC. La concentración de SS varió entre no detectable (Margot, Perros y Lobo) y 7.9 mg/L en Del Ausente (Tabla 2), y se correlacionó de manera positiva con el color ( $r_s = 0.78$ ) y con la concentración de NT ( $r_s = 0.85$ ). Los valores de NT variaron poco entre cuerpos de agua, oscilando entre 0.56 mg/L en Margot y 0.92 mg/L en Óvalo. El NT se correlacionó de forma negativa con la altitud ( $r_s = -0.86$ ). La concentración de cl-a fue

**Tabla 2.** Características físicas y químicas del agua de los lagos estudiados. COD: carbono orgánico disuelto.  $a440$ : coeficiente de absorción a 440 nm. E2/E3: cociente de absorbancias a 250 y 365 nm. SUVA: índice de absorbancia UV específica. NT: nitrógeno total. SS: sólidos en suspensión. cl-*a*: concentración de clorofila *a* fitoplanctónica. nd: no detectable.

**Table 2.** Physical and chemical features of the water from the studied lakes. COD: dissolved organic carbon.  $a440$ : absorption coefficient at 440 nm. E2/E3: quotient between water absorbance at 250 nm and 365 nm. SUVA: UV absorbance specific index. NT: total nitrogen. SS: suspended solids. cl-*a*: phytoplankton chlorophyll *a*. nd: non detectable.

	Óvalo	Del Ausente	Raquel	Perros	Lobito	Lobo	Esmeralda	Margot
Turbidez (NTU)	nd	13	nd	nd	nd	nd	28	nd
COD (mg/L)	14.2	4.07	2.22	1.79	1.70	1.38	1.37	1.02
$a440$ ( $m^{-1}$ )	19.6	12.2	8.3	8.1	10.6	10.8	10.8	10.3
E2/E3	3.91	2.74	1.89	3.05	1.86	2.09	1.78	1.64
SUVA ( $L \cdot mg^{-1} \cdot m^{-1}$ )	4.82	5.44	6.04	6.03	6.10	8.98	7.42	8.64
NT (mg/L)	0.92	0.79	0.62	0.60	0.64	0.63	0.64	0.56
SS (mg/L)	5.2	7.9	0.4	nd	6.5	nd	4.5	nd
cl- <i>a</i> ( $\mu g/L$ )	4.14	1.96	1.96	0.44	0.44	0.44	0.65	0.22

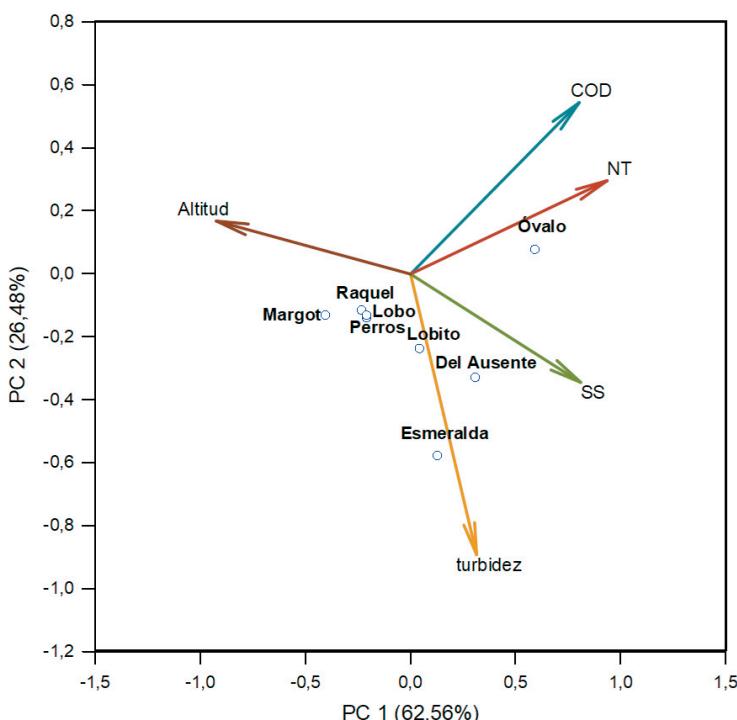
mayor en Óvalo ( $4.14 \mu g/L$ ) y menor en Margot ( $0.22 \mu g/L$ ), y se correlacionó positivamente con la concentración de COD ( $r_s=0.82$ ) y NT ( $r_s=0.71$ ).

El porcentaje de varianza explicado por los dos primeros ejes del ACP fue 62.6% para el eje 1 y 26.5% para el eje 2 (Figura 2, Material Suplementario-Tabla S1). De acuerdo con el primer eje, los lagos se ordenaron en un gradiente de altitud, NT y SS; el lago Del Ausente se ubicó en el extremo de mayor concentración de SS; Margot, en el extremo de mayor altitud, y Óvalo, en el de menor

altura y mayor concentración de NT. En el segundo eje, los lagos se ordenaron según un gradiente de concentración de COD y turbidez que colocó a Óvalo en el extremo de mayor concentración de COD y menor turbidez, seguido por Raquel, Perros, Lobo, Margot, Lobito, Del Ausente y Esmeralda (Figura 2).

#### Zooplancton

Se registraron un total de 8 taxa, con un mínimo de 2 especies y un máximo de 5 por cuerpo de agua (Tabla 3). En general, los individuos observados fueron poco

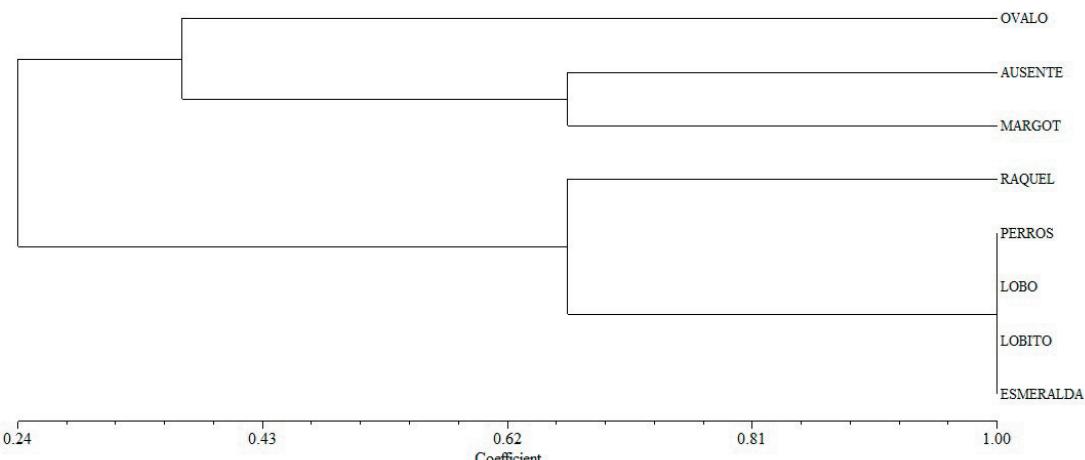


**Figura 2.** Biplot del análisis de componentes principales (ACP) en el que se ordenan los lagos estudiados en función de la altitud, la concentración de carbono orgánico disuelto (COD), la turbidez, el nitrógeno total (NT) y los sólidos en suspensión (SS).

**Figure 2.** Principal component analysis (PCA) biplot in which the studied lakes are arranged according to their altitude, concentration of dissolved organic carbon (COD), turbidity (turbidez), total nitrogen (NT) and suspended solids (SS).

**Tabla 3.** Lista de taxa encontrados en los lagos estudiados (cladóceros y copépodos).  
**Table 3.** List of taxa found in the studied lakes (cladocerans and copepods).

	Óvalo	Del Ausente	Raquel	Perros	Lobito	Lobo	Esmeralda	Margot
<b>Cladocera</b>								
Flia. Bosminidae								
<i>Bosmina longirostris</i>	x							
Flia. Chydoridae					x			
<i>Chydorus sp.</i>			x					
Flia. Daphniidae								
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	x							
<i>Daphnia dadayana</i>				x				
<b>Copepoda</b>								
O. Calanoidea								
<i>Boeckella gracilipes</i>	x	x						x
<i>Boeckella michaelensi</i>			x	x	x	x	x	
<i>Parabroteas sarsi</i>	x	x	x	x	x	x	x	x
O. Cyclopoidae								
cf. <i>Mesocyclops sp.</i>	x							



**Figura 3.** Dendrograma del análisis de agrupamiento de especies de zooplancton en base al índice de Jaccard.

**Figure 3.** Cluster analysis of zooplankton taxa based on the Jaccard index.

pigmentados. En todos los cuerpos de agua se encontró el copépodo depredador *Parabroteas sarsi* Daday. La mayor riqueza se dio en Óvalo, donde se encontraron, además de *P. sarsi*, *Ceriodaphnia dubia* Richard, *Bosmina longirostris* Müller, un ciclopoideo no identificado (cf. *Mesocyclops sp.*) y el calanoideo *Boeckella gracilipes* Daday. En Del Ausente se encontró a *P. sarsi* junto con *B. gracilipes* y *Chydorus sp.*. En Raquel se encontró, además, *Daphnia dadayana* Paggi y *Boeckella michaelensi* Mrázek. En Perros, Lobito, Lobo y Esmeralda se encontraron *P. sarsi* y *B. michaelensi*. Finalmente, en Margot, se encontró *P. sarsi* y *B. gracilipes* (Tabla 3).

La máxima similitud entre cuerpos de agua en cuanto a la composición específica se dio entre Perros, Lobo, Lobito y Esmeralda; estos lagos comparten el 100% de las especies. Óvalo fue el cuerpo de agua con mayor disimilitud en cuanto a la composición específica, mientras que Del Ausente, Margot y Raquel mostraron valores intermedios de similitud del índice de Jaccard (Figura 3).

## DISCUSIÓN

Los lagos de la zona cordillerana de Tierra del Fuego son ambientes oligotróficos o distróficos

en su mayoría, con bajas concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos, lo que limita el crecimiento algal y, en consecuencia, el de sus depredadores (Saad et al. 2013; Castro et al. 2023; Rodríguez et al. 2023). En estas condiciones es esperable encontrar baja riqueza de zooplancton, como en este trabajo. En la zona chilena de Tierra del Fuego, De los Ríos (2010) también registró pocas especies de zooplancton, con dominancia de copépodos calanoideos. La mayoría de los taxa aquí registrados ya se citaron para la Patagonia o son de amplia distribución en el país (Modenutti et al. 1998; Balseiro et al. 2023; José de Paggi et al. 2023).

Los lagos por encima de la línea de árboles (i.e., Lobo, Raquel y Margot) resultaron menos coloreados y presentaron menor concentración de COD, tal como lo observado en trabajos previos (Morris et al. 1995). No obstante, en nuestro estudio, tanto los lagos por encima como por debajo de la línea de árboles –a excepción de Óvalo— presentaron, en general, estas características limnológicas, compartiendo asimismo la mayoría de las especies de zooplancton registradas. De esta manera, no encontramos un agrupamiento diferencial de los ambientes en relación con su posición con respecto a la línea de árboles (o gradiente de altura), en relación con las características fisicoquímicas o en la comunidad de zooplancton. Por otro lado, algunos lagos de altura reciben arcillas glaciares que incrementan la turbidez y reducen la penetración de luz en profundidad (Modenutti et al. 2000); así se evidencia en el ACP para el caso de Del Ausente y Esmeralda.

En su mayoría, las especies presentes en los lagos estudiados ya habían sido registradas para la provincia en sitios más cercanos al nivel del mar, como es el caso de *Boeckella michaelseni*, que fue el taxón más frecuente y abundante en el trabajo pionero de Mariazzi et al. (1987). El copépodo *B. michaelseni* se encontró en todos los lagos, a excepción de los tres cuerpos de agua donde se registró a *B. gracilipes* (i.e., lagos Óvalo, Del Ausente y Margot). Modenutti et al. (2010) observaron en estudios de campo que estas especies no se encuentran simultáneamente en lagos andino-patagónicos. Son especies similares en tamaño y se comprobó de manera experimental que depredan sobre el mismo tipo y rango de tamaño de presa (Balseiro et al. 2001; Modenutti et al. 2003). Óvalo, además de ser

el lago más rico en especies, fue el que presentó mayor número de estrategias alimentarias. Se encontraron especies reportadas en la literatura como depredadoras (*P. sarsi*), omnívoras (*Boeckella spp.*) y herbívoras filtradoras (*Bosmina longirostris* y *Ceriodaphnia dubia*) (Tóth and Kato 1997; Reissig et al. 2004; Modenutti et al. 2010; Adamczuk 2016).

La MODC genera fotoprotección al romperse por acción de la radiación ultravioleta (rUV), fenómeno conocido como fotoblanqueado (photobleaching, en inglés) de la materia orgánica (Williamson and Morris et al. 1999). En este sentido, los copépodos que habitan lagos con altas concentraciones de MODC son menos pigmentados que los que se encuentran en ambientes transparentes (Hylander 2020). En este estudio, el lago más coloreado (mayor  $a440$ ) y con mayor concentración de COD fue Óvalo, que, además, resultó contener MODC menos aromática (menor índice SUVA) y de menor tamaño molecular relativo en relación con los demás lagos (i.e., mayor cociente E2/E3). Una posible explicación para el menor tamaño molecular relativo de la MODC de Óvalo podría ser su mayor concentración de cl-a, ya que el fitoplancton suele aportar MODC de menor peso molecular y aromaticidad (Williamson and Morris et al. 1999). En consonancia con esta observación, Óvalo es el único sitio donde se encontraron especies herbívoras filtradoras de fitoplancton, como *C. dubia* y *B. longirostris*. La mayor productividad de este lago —que se puede inferir de la concentración de cl-a, NT, COD y MODC— podría tener relación con su menor altitud y la mayor recepción de aportes terrestres del medio circundante, turbera y bosque (Salomon et al. 2015). De esta manera, la mayor riqueza de zooplancton en Óvalo podría estar relacionada con una mayor fotoprotección recibida de la MODC frente a la rUV y depredadores visuales, además de la mayor disponibilidad de recursos tróficos. Sería interesante constatar esta hipótesis con un mayor número de muestreos en lagos con distintas concentraciones de MODC durante la estación de crecimiento.

## CONCLUSIONES

En este estudio realizamos una caracterización general ambiental de lagos cordilleranos fueguinos en un gradiente de altura. Encontramos especies de zooplancton ya registradas para Patagonia y observamos

que el lago con mayor riqueza de especies y de grupos tróficos es el más coloreado y con mayor concentración de COD, NT y cl-a. Una mayor fotoprotección y abundancia de recursos tróficos permitiría así el desarrollo de una mayor riqueza específica.

**AGRADECIMIENTOS.** Las autoras agradecen el acompañamiento esencial durante los muestreos a las/os compañeras/os de CADIC:

Mariela Victorio, Coni Lobo, María Granitto, Ayelén Farias, Daniel Aureliano. Agradecemos al Dr. Álvaro Vázquez por la determinación de nutrientes y COD, y al Dr. Esteban Balseiro por la ayuda en la identificación de especies de copépodos. Para finalizar, queremos agradecer muy especialmente a los revisores y revisoras anónimas cuyos detallados comentarios, observaciones y sugerencias mejoraron sustancialmente la calidad de este trabajo.

## REFERENCIAS

- Adamczuk, M. 2016. Past, present, and future roles of small cladoceran *Bosmina longirostris* (O. F. Müller, 1785) in aquatic ecosystems. *Hydrobiologia* 767:1-11. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2495-7>.
- Adrian, R., C. O'Reilly, H. Zagarese, S. B. Baines, D. O. Hessen, W. Keller, D. M. Livingstone, et al. 2009. Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and Oceanography* 54(6/2):2283-2297. [https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6\\_part\\_2.2283](https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2283).
- Aguilar Zurita, A., and P. Rodríguez. 2016. Relationship between phytoplankton and bacterioplankton production in vegetated humic shallow lakes. *Ecología Austral* 26(3):305-310. <https://doi.org/10.25260/EA.16.26.3.0.223>.
- APHA. 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington D.C., USA.
- Balseiro, E., B. Modenutti, and C. Queimaliños. 2001. Feeding of *Boeckella gracilipes* (Copepoda, Calanoida) on ciliates and phytoflagellates in an ultraoligotrophic Andean lake. *Journal of Plankton Research* 23:849-857. <https://doi.org/10.1093/plankt/23.8.849>.
- Balseiro, E., B. Modenutti, C. Laspoumaderes, L. Schenone, M. Bastidas Navarro, and N. Martyniuk. 2022. Stoichiometric constraints in plankton communities of Patagonian lakes: Implications for *Parabroteas sarsi*. *Ecología Austral* 32:638-649. <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.2.1.1841>.
- Balseiro, E., B. Modenutti, M. F. Gutiérrez, M. A. González Sagrario, and C. Laspoumaderes. 2023. Status of the zooplankton ecology in freshwater ecosystems from Argentina. *Limnologica* 100:126011. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2022.126011>.
- Biancalana, F., and A. Torres. 2011. Variations of mesozooplankton composition in a eutrophicated semi-enclosed system (Encerrada Bay, Tierra del Fuego, Argentina). *Brazilian Journal of Oceanography* 59:195-199. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592011000200008>.
- Bursztyn Fuentes, A., M. Granito, M. C. Maluendez Testoni, M. V. Castro, and P. Rodríguez. 2022. Revisión y optimización metodológica para extraer clorofila-a fitoplanctónica en ambientes acuáticos. *Ecología Austral* 32: 1019-1028. <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.3.0.2031>.
- Castro, M. V., P. E. García, M. C. Maluendez Testoni, and P. Rodríguez. 2023. Dissolved organic matter (DOM) characterization in subantarctic shallow lakes and beaver ponds. *Aquatic Sciences* 85(3):72. <https://doi.org/10.1007/s00027-023-00969-5>.
- Coronato, A., E. Mazzoni, M. Vázquez, and F. Coronato. 2017. Patagonia. Una síntesis de su Geografía Física. Editorial UNPA. Río Gallegos.
- De los Ríos, P., A. Mancilla, and M. Vega. 2010. Species co-occurrences based on a presence/absence null model. *Biología* 65(6):1019-1027. <https://doi.org/10.2478/s11756-010-0123-6>.
- García, P. E., R. D. García, M. C. Marinone, V. Casa, G. C. González Garraza, and G. Mataloni. 2017. Aquatic microinvertebrate abundance and species diversity in peat bogs of Tierra del Fuego (Argentina). *Limnology* 18:85-96. <https://doi.org/10.1007/s10201-016-0492-9>.
- Hylander, S. 2020. Mycosporine-like amino acids (MAAs) in zooplankton. *Marine Drugs* 18(2):72. <https://doi.org/10.3390/md18020072>.
- Jespersen, A. M., and K. Christoffersen. 1987. Measurements of chlorophyll-a from phytoplankton using ethanol as extraction solvent. *Archiv für Hydrobiologie* 109:445-454. <https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/109/1987/445>.
- José de Paggi, S. B., M. C. Marinone, G. C. Kuppers, M. C. Claps, and J. C. Paggi. 2023. Taxonomic diversity of the freshwater Zooplankton in Argentina: A review. *Limnologica* 100:126029. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2022.126029>.
- Kirk, J. T. O. 2011. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Second edition. Cambridge University Press, Cambridge, UK. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511623370>.
- Menu Marque, S. 2003. Las especies del género *Boeckella* (Copepoda, Calanoida, Centropagidae) de la República Argentina y taxa afines. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- Menu Marque, S., J. J. Morrone, and C. Locascio de Mitrovich. 2000. Distributional patterns of the South American species of *Boeckella* (Copepoda: Centropagidae): a track analysis. *Journal of Crustacean Biology* 20(2):262-272. <https://doi.org/10.1163/20021975-99990038>.
- Mariazzi, A. A., V. H. Conzonno, J. Ulibarrena, J. C. Paggi, and J. L. Donadelli. 1987. Limnological investigation in Tierra del Fuego, Argentina. *Biología Acuática* 10:1-80.
- Modenutti, B., E. Balseiro, C. Queimaliños, D. Añón Suárez, M. C. Diéguez, and R. Albariño. 1998. Structure and

- dynamics of food webs in Andean lakes. Lakes and Reservoirs: Research and Management 3:179-186. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1770.1998.00071.x>.
- Modenutti, B., G. Pérez, E. Balseiro, and C. Queimaliños. 2000. The relationship between light attenuation, chlorophyll a and total suspended solids in a Southern Andes glacial lake. Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen 27(5):2648-2651. <https://doi.org/10.1080/03680770.1998.11898147>.
- Modenutti, B., C. Queimaliños, and E. Balseiro. 2003. Impact of different zooplankton structures on the microbial food web of a South Andean oligotrophic lake. Acta Oecologica 24:S289-S298. [https://doi.org/10.1016/S1146-609X\(03\)00030-4](https://doi.org/10.1016/S1146-609X(03)00030-4).
- Modenutti, B., R. Albariño, M. Bastidas Navarro, V. Días Villanueva, M. S. Souza, C. Trochine, et al. 2010. Structure and dynamic of food webs in Andean North Patagonian freshwater systems: organic matter, light and nutrient relationships. Ecología Austral 20:95-114.
- Moore, D. M. 1983. Flora of Tierra del Fuego. Anthony Nelson - Missouri Botanical Garden, London.
- Morris, D. P., H. Zagarese, C. E. Williamson, E. Balseiro, B. R. Hargreaves, B. Modenutti, R. Moeller, and C. Queimalinos. 1995. The attenuation of solar UV radiation in lakes and the role of dissolved organic carbon. Limnology and Oceanography 40(8):1381-1391. <https://doi.org/10.4319/lo.1995.40.8.1381>.
- Quiroga, M. V., F. Unrein, G. C. González Garraza, G. Kueppers, R. Lombardo, M. C. Marinone, S. Menu Marque, A. Vinocur, and G. Mataloni, G. 2013. The plankton communities from peat bog pools: structure, temporal variation and environmental factors. Journal of Plankton Research 35(6):1234-1253. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbt082>.
- Quirós, R., and E. Drago. 1999. The environmental state of Argentinean lakes: An overview. Lakes and Reservoirs: Research and Management 4:55-64. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1770.1999.00076.x>.
- Reissig, M., B. Modenutti, E. Balseiro, and C. Queimalinos. 2004. The role of the predaceous copepod *Parabroteas sarsi* in the pelagic food web of a large deep Andean lake. Hydrobiologia 524:67-77. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.00036120.33105.05>.
- Rodríguez, P., G. González Garraza, V. García, M. Granitto, and J. Escobar. 2020. Beaver dam effect on phytoplankton and periphyton composition and hydrology in streams from Tierra del Fuego (Argentina). Hydrobiologia 847:1461-1477. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04201-5>.
- Saad, J. F., M. R. Schiaffino, A. Vinocur, I. O'Farrell, G. Tell, and I. Izaguirre. 2013. Microbial planktonic communities of freshwater environments from Tierra del Fuego: dominant trophic strategies in lakes with contrasting features. Journal of Plankton Research 35(6):1220-1233. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbt075>.
- Solomon, C. T., S. E. Jones, B. Weidel, I. Buffam, M. L. Fork, J. Karlsson, S. Larsen, J. T. Lennon, J. S. Read, S. Sandro, and J. E. Saros. 2015. Ecosystem consequences of changing inputs of terrestrial dissolved organic matter to lakes: current knowledge and future challenges. Ecosystems 18:376-389. <https://doi.org/10.1007/s10021-015-9848-y>.
- San Martín, C. N., J. F. Ponce, and A. Coronato. 2021. Lakes and glaciers from Fuegian Andes. Morphology, distribution and origin. Pp. 173-188 en R. D. Acevedo (ed.). Geological resources of Tierra del Fuego. Springer Geology, Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-60683-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-60683-1_10).
- Sieburth, J. M., V. Smetacek, and J. Lenz. 1978. Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions 1. Limnology and Oceanography 23(6):1256-1263. <https://doi.org/10.4319/lo.1978.23.6.1256>.
- Sternér, R. W. 2009. Role of zooplankton in aquatic ecosystems. Pp. 678-688 en Encyclopedia of inland waters. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00153-8>.
- Tartarotti, B., R. Sommaruga, and N. Saul. 2019. Contrasting diurnal patterns in antioxidant capacities, but not in expression of stress protein genes among copepod populations from clear versus glacially fed alpine and subalpine lakes. Journal of Plankton Research 41(6):897-908. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbz061>.
- Tóth, L., and K. Kato. 1997. Size-selective grazing of bacteria by *Bosmina longirostris*—an image-analysis study. Journal of Plankton Research 19(10):1477-1493. <https://doi.org/10.1093/plankt/19.10.1477>.
- Tuhkanen, S., I. Kuokka, J. Hyvönen, S. Stenroos, and J. Niemelä. 1989. Tierra del Fuego as a target for biogeographical research in the past and present. Anales del Instituto de la Patagonia 19:5-107.
- Valderrama, J. C. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. Marine chemistry 10(2):109-122. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(81\)90027-X](https://doi.org/10.1016/0304-4203(81)90027-X).
- Wetzel, R. G. 2001. Limnology, Lake and River Ecosystems. Academic Press, San Diego.
- Williamson, C. E., D. P. Morris, M. L. Pace, and O. G. Olson. 1999. Dissolved organic carbon and nutrients as regulators of lake ecosystems: Resurrection of a more integrated paradigm. Limnology and Oceanography 44(3/2):795-803. [https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.3\\_part\\_2.0795](https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.3_part_2.0795).

## Material Supplementario

**Tabla S1.** Resultados del análisis de componentes principales (ACP) obtenido para las variables físicas y químicas del agua. Se muestran los autovectores y autovalores para los dos primeros ejes así como el porcentaje de varianza explicada por cada uno. COD=carbono orgánico disuelto, NT=nitrógeno total, SS=sólidos en suspensión.

**Table S1.** Results obtained from the principal component analysis (PCA) performed on the physical and chemical variables. The eigenvectors and eigenvalues for the first two axes are shown along with the percentage of variance explained for each one. COD=dissolved organic carbon, NT=total nitrogen, SS=suspended solids.

	PC1	PC2
COD	0.454	0.473
Turbidez	0.178	-0.774
NT	0.529	0.258
SS	0.458	-0.299
Altitud	-0.523	0.146
Eigenvalue	3.128	1.324
Variance explained	62.6	26.5