

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Máster en Conservación, Gestión y Restauración de la Biodiversidad

Curso 2020-2021



**Universidad de Granada**

**Patrones de diversidad de rotíferos zooplanctónicos  
en Sierra Nevada en relación con las características  
del hábitat.**

**José Sánchez Jiménez**

Tutores:

**Jose María Conde Porcuna**

**Eloísa Ramos Rodríguez**

# Índice

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN.....  | 1  |
| 2. METODOLOGÍA .....  | 4  |
| 2.1. <i>Sitio de estudio</i> .....  | 4  |
| 2.2. <i>Muestreo de campo y análisis de muestras de rotíferos</i> .....     | 5  |
| 2.3. <i>Análisis estadístico</i> .....                                      | 8  |
| 3. RESULTADOS.....  | 10 |
| 3.1. <i>Análisis de las abundancias poblacionales</i> .....                 | 10 |
| 3.2. <i>Análisis de presencia y ausencia de especies de rotíferos</i> ..... | 13 |
| 3.3. <i>Análisis de riqueza y diversidad de especies de rotíferos</i> ..... | 13 |
| 3.4. <i>Análisis multivariante</i> .....                                    | 15 |
| 4. DISCUSIÓN .....  | 19 |
| 5. CONCLUSIONES .....   | 22 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA .....   | 23 |

## APORTACION DEL ESTUDIANTE

### Declaración de autoría y originalidad del Trabajo Final de Máster:

Considerando que la presentación de un trabajo hecho por otra persona o la copia de textos, fotos y gráficas sin citar su procedencia se considera plagio, el abajo firmante D. **José Sánchez Jiménez** con DNI **77865971T**, que presenta el Trabajo Fin de Máster con el título: **Patrones de diversidad de rotíferos zooplanctónicos en Sierra Nevada en relación con las características del hábitat**, declara la autoría y asume la originalidad de este trabajo, donde se han empleado diferentes fuentes que han sido debidamente citadas.

Para que así conste firmo el presente documento en Granada a 13 de septiembre de 2021.

José Sánchez Jiménez:

### Contribución del estudiante al Trabajo Final de Máster:

- **Relación del presente Trabajo Final de Máster con la temática del Máster en Conservación, Gestión y Restauración de la Biodiversidad:** este estudio pretende ampliar el conocimiento sobre los factores tanto bióticos como abióticos que pueden estar interfiriendo en la estructura y composición de las comunidades de rotíferos de las lagunas de Sierra Nevada. Al tratarse de un lugar idóneo para el estudio del cambio global, estos conocimientos pueden arrojar información de como afecta estos cambios a los ecosistemas de alta montaña.
- **Enfoque del Trabajo Final de Máster:** este trabajo se enmarca en las investigaciones llevadas a cabo en Sierra Nevada en relación con el observatorio de cambio global situado en este entorno. Este TFM permitirá tener una idea de la composición y estructura de la comunidad de rotíferos que habitan muchas de las lagunas que podemos encontrar en esta zona.
- **Participación del estudiante en:**
  - Diseño experimental: no contribuyó.
  - Toma de datos: solo contribuyó a la toma de datos de las muestras de rotíferos. En la toma de datos de campo y en los análisis de las muestras de aguas recogidas no contribuyó.
  - Análisis de datos: trabajo 100 %. ○ Redacción de la memoria: trabajo 100%.

## RESUMEN

El estudio de las comunidades de rotíferos de Sierra Nevada necesitaba un enfoque un poco más global en la que se incluyeran un número más o menos elevado de lagunas de alta montaña. Por esto, en el presente trabajo, se han muestreado un total de 53 lagunas pertenecientes a 6 valles diferentes de Sierra Nevada. En estos muestreos llevados a cabo en julio de 2020 se tomaron mediciones sobre: (i) variables fisicoquímicas como concentraciones de nitrógeno y fosforo, conductividad, pH, temperatura, (ii) variables hidromorfológicas como la profundidad o el tipo de cubeta (presencia de salida y/o entrada de agua) y (iii) variables biológicas como la concentración de clorofila-a o las abundancias de zooplancton. Los resultados confirmaron la relación entre algunas de las variables medidas y las especies de rotíferos detectadas. Entre estas relaciones destaca la influencia del tipo de cubeta en las abundancias de algunas especies de rotíferos como son *Notholca squamula*, *Lecane bulla*, *Lecane closterocerca* o *Cephalodella gibba*. También se encontraron relaciones entre variables fisicoquímicas como la conductividad, que se relacionó con la presencia de *Euchlanis dilatata* o la concentración de nitrógeno que presentó relación significativa con los niveles de diversidad de cada laguna.

Palabra clave: Rotíferos – Lagunas alpinas – Variables ambientales – Zooplancton

## SUMMARY

The study of the rotifer communities of Sierra Nevada needed a more global approach in which a more or less large number of alpine lakes were included. Therefore, in the present work, a total of 53 lake belonging to 6 different valleys of Sierra Nevada have been sampled. In these samplings carried out in July 2020, measurements were taken on: (i) physicochemical variables such as nitrogen and phosphorus concentrations, conductivity, pH, temperature, (ii) hydromorphological variables such as depth or type of basin (presence of water outflow and/or inflow) and (iii) biological variables such as chlorophyll-a concentration or zooplankton abundances. The results confirmed the relationship between some of the variables measured and the rotifer species detected. Among these relationships, the influence of the type of basin on the abundance of some rotifer species such as *Notholca squamula*, *Lecane bulla*, *Lecane closterocerca* or *Cephalodella gibba* stands out. Relationships were also found between physicochemical variables such as conductivity, which was related to the presence of *Euchlanis dilatata*, and nitrogen concentration, which was significantly related to the levels of diversity in each lake.

Key words: Rotifers – Alpine lakes – Environmental variables – Zooplankton

## 1. INTRODUCCIÓN

En el estudio de los diferentes sistemas biológicos como comunidades o ecosistemas, los dos indicadores más importantes son el número de especies y el número de individuos dentro de cada una de estas especies (Hamilton, 2005). La riqueza de especies de los conjuntos locales de organismos (comunidades biológicas) equilibra los procesos regionales de formación de especies y dispersión geográfica (Ricklefs, 1987). Por esto, se debe considerar un conjunto local de especies como el resultado de fenómenos dinámicos que abarcan una gama más amplia de escalas espacio-temporales, es decir, factores históricos, evolución de los nichos de las especies, dinámica espacial de las metapoblaciones, dinámica competitiva local, etc (Ricklefs, 1987). En los estudios de diversidad, es habitual centrarse en grupos taxonómicos ya que la diversidad de estos grupos reflejará la diversidad a nivel del ecosistema (Margalef, 1974).

En las últimas décadas, esta diversidad se está viendo lamentablemente dañada debido a la extinción de especies, el cambio climático, la contaminación de aire y aguas y el cambio en el uso del suelo que estamos produciendo. El estudio de los componentes y del funcionamiento de esta diversidad biológica podría ayudar a encontrar un equilibrio entre la gestión y la conservación de dichos procesos (Heydari et al., 2020).

Los lagos de alta montaña son ecosistemas que presentan unas peculiares características como son su pequeño tamaño, la baja producción primaria, sus comunidades biológicas relativamente simplificadas y sus marcadas variaciones estacionales de temperatura (Rogora et al., 2018). Además, están ubicados en entornos que presentan bajas temperaturas, alta radiación solar ultravioleta (290-400 nm) y una capa prolongada de hielo y nieve. En cuanto al estado trófico, frecuentemente los nutrientes están diluidos en estos ecosistemas por lo que suelen presentar oligotrofia (Moser et al., 2019). A estas características se le suma su elevada topografía y su lejanía de la influencia humana directa lo que permite mantener de manera relativamente intacta sus características originales y estudiar así los procesos que se desarrollan en estos ecosistemas con las menores interferencias antrópicas posibles (Catalan et al., 2013). Además, se tratan de lugares que presentan marcados gradientes climáticos y ambientales (e.g. gradientes de altitud, profundidad, materia orgánica, temperatura, concentración de nutrientes y clorofila, pH, ...), condición muy característica de regiones montañosas que influyen en la respuesta que estas lagunas generan ante diversas perturbaciones (Moser et al., 2019).

Todo este conjunto de particularidades hace de los lagos alpinos (i.e., los que se encuentran por encima de la línea de árboles) unos registradores idóneos del cambio global y que sean lugares inmejorables para estudios sobre el impacto de factores climáticos sobre la diversidad biológica (Morales-Baquero et al., 1992; Zaharescu et al., 2016; Pérez-Martínez et al., 2020). Estos estudios son especialmente importantes debido al altísimo ritmo al que los seres humanos estamos forzando el cambio ambiental (Catalan et al., 2013). Estos cambios climáticos producen numerosos cambios físicos, químicos y biológicos en los ecosistemas lacustres y en sus cuencas que afectan a su biota acuática (Pérez-Martínez et al., 2020).

Uno de esos grupos bióticos que es sensible a esos cambios ambientales es el zooplancton. Este grupo de organismos se utiliza ampliamente para la evaluación medioambiental ya que pueden representar de forma exhaustiva los entornos físico, químico y biológico y, a su vez, el impacto humano en el ecosistema (Oh et al., 2017). Concretamente, son

los rotíferos, zooplancton de pequeño tamaño y con amplia distribución, los que actúan como indicadores efectivos de las condiciones tróficas (Snell et al., 1995; Liang et al., 2020). A su vez son buenos representantes de la comunidad pelágica de todo un sistema ya que se encuentran en un nivel trófico en el que van a ser los encargados de conectar la red alimentaria microbiana con los niveles tróficos superiores de la red pelágica. Además, al tratarse de organismos con una amplia gama de estrategias ecológicas, se consideran un grupo de animales bastante útiles para estudios de comunidades completas (Bartumeus et al., 2009).

Los rotíferos son un grupo de animales fundamentalmente dulceacuícolas que presentan unas tallas de entre las 40 micras los más pequeños hasta poder alcanzar los 2 mm los de mayor tamaño (Gilbert et al., 1980). Tienen un ciclo de vida con fase sexual y fase asexual y su tiempo de generación se encuentra entre los más cortos de los metazoos. Este grupo presenta unas 1.500 especies descritas, la mayoría con una distribución cosmopolita, aunque existen algunas otras con una distribución bastante más restringida. Sus diversas características ecofisiológicas les permiten ocupar una gran variedad de sistemas acuáticos (Nogrady et al., 1993, Rocha et al., 1995).

En Sierra Nevada, el sistema montañoso más meridional de Europa, el cambio global es evidente (Zamora et al., 2017). En los últimos años se han venido registrando un aumento en las temperaturas mínimas y máximas, una disminución de la precipitación y un cambio en la dinámica de la cubierta de nieve. Todo esto, unido a una intensificación de la actividad humana con cambios en los usos del suelo en los últimos 50 años, está afectando directamente a la estructura y función de los ecosistemas terrestres y acuáticos de Sierra Nevada (Rodrigo et al. 1999, de Castro et al. 2005; Jiménez-Olivencia et al. 2016). Concretamente, las lagunas alpinas han sufrido cambios relevantes en relación por ejemplo a las concentraciones de clorofila y los taxones de cladóceros (Jiménez et al., 2018).

En Sierra Nevada existen más de 50 pequeñas masas de agua de origen glacial que reúnen todas las características mencionadas anteriormente para ser objeto de estudios de cambio climático a nivel global (Morales-Baquero et al., 1992). Tanto es así que aquí se encuentra el Observatorio del Cambio Global de Sierra Nevada, un proyecto de seguimiento y monitoreo ambiental para la detección y actuación sobre los impactos que el cambio global pueda ocasionar en los ecosistemas de la zona (<https://obsnev.es/>).

Los primeros estudios sobre zooplancton que describen la abundancia y riqueza de especies de las comunidades de rotíferos en las lagunas de Sierra Nevada se remontan a los años 80, hace ya más de 30 años. Entre ellos, destacan los estudios pioneros realizados por Morales-Baquero, (1985; 1987; 1989) en los que se describen las especies de rotíferos más comunes encontradas en un conjunto de 29 lagunas y se relacionan sus patrones de distribución y abundancia sólo con las características fisicoquímicas del agua (pH, conductividad, concentración de oxígeno, y temperatura). El grado de mineralización del agua (i.e., la conductividad), la profundidad o la temperatura en estos pequeños lagos alpinos es un factor clave en la estructuración de estas comunidades en Sierra Nevada (Morales-Baquero et al., 1989; Bartumeus et al., 2009; Liang et al., 2020;). Estos estudios ya hablan de estos parámetros como responsables de la variación en la densidad de especies de las diferentes lagunas. Otros trabajos empiezan a señalar a otros factores hidromorfológicos como la presencia o no de

salidas y entradas de agua a las lagunas como agentes reguladores de las poblaciones de fitoplancton y zooplancton (Rafael Morales-Baquero et al., 2019).

Sin embargo, en estos estudios pioneros sobre rotíferos en Sierra Nevada no se han llegado a calcular hasta la fecha índices de diversidad local de especies ni valores de riqueza específica. Además, no se ha evaluado la significación de otros posibles factores ecológicos relacionados con la morfometría de las lagunas (profundidad, área, *tipo de cubeta*), su estado trófico (concentración de nutrientes, concentración de clorofila, concentración de O<sub>2</sub>) y las características biológicas (abundancia de zooplancton) que podrían ser claves en la distribución de especies en la región.

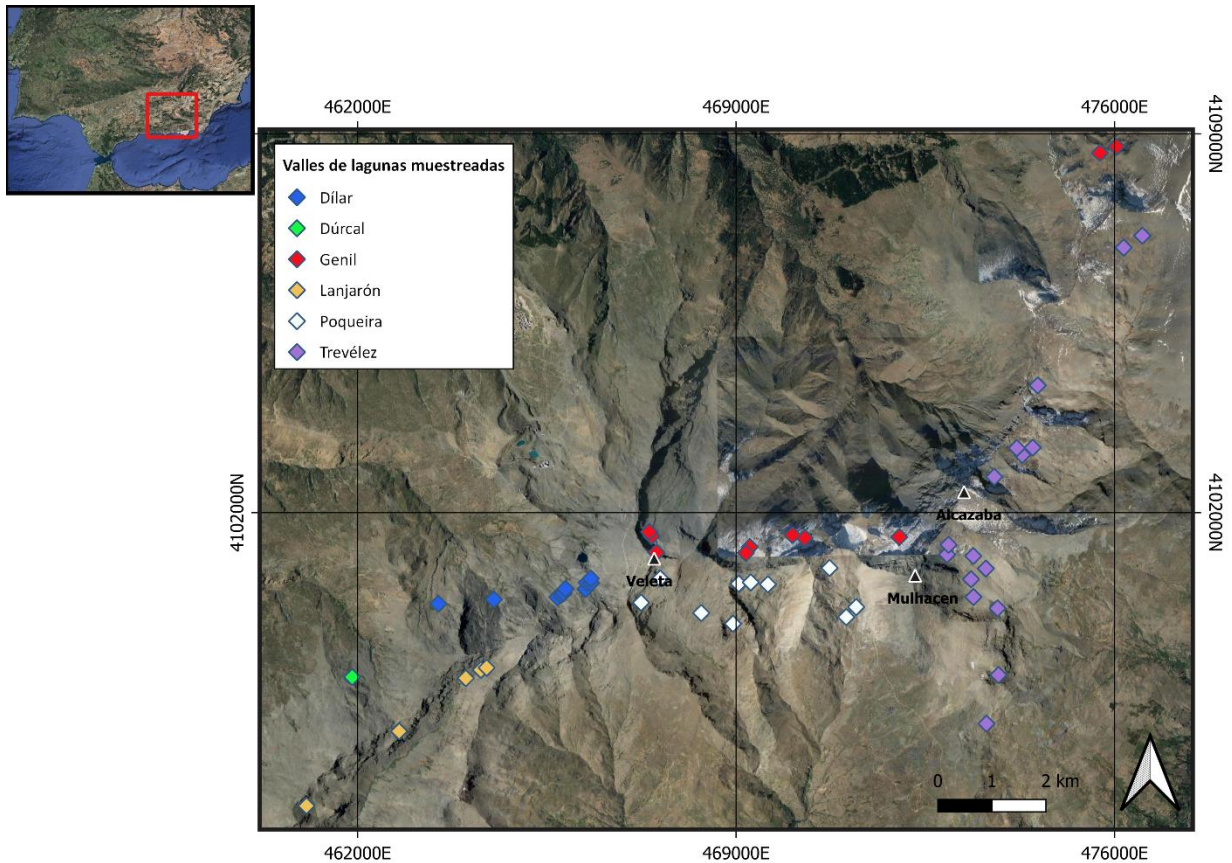
En definitiva, no existen trabajos realizados más recientemente a nivel regional en Sierra Nevada que incluyan la mayoría de sus lagunas alpinas para conseguir tener una idea global de la distribución y variabilidad de estos organismos del plancton y poder así relacionarlos con variables hidromorfológicas y fisicoquímicas de sus hábitats.

El objetivo general de este trabajo fue analizar cuáles son los factores ecológicos claves que están determinando la riqueza y diversidad de las comunidades de rotíferos planctónicos actualmente en las lagunas de alta montaña de Sierra Nevada mediante un estudio extensivo a escala regional con el fin de evaluar si los rotíferos podrían ser indicadores del cambio climático en la región de Sierra Nevada. Para ello, se analizó la variabilidad de su abundancia, riqueza y diversidad de un conjunto de más de 50 lagunas, pertenecientes a diferentes valles, en relación con las características hidromorfológicas y fisicoquímicas de sus hábitats. Los resultados obtenidos permitirán entender y realizar seguimientos de los efectos que el cambio climático llega a tener sobre estos ecosistemas de alta montaña.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Sitio de estudio

En Sierra Nevada (Granada, sureste de España) ( $36^{\circ} 55' - 37^{\circ} 15' \text{ N}$ ,  $2^{\circ} 31' - 3^{\circ} 40' \text{ W}$ ; altitud máxima de 3.482 m.s.n.m.), las lagunas de alta montaña de origen glaciar están situadas a una altitud de entre 2.800 y 3.100 m.s.n.m. La región presenta un clima semiárido mediterráneo de alta montaña con una temperatura media anual de  $3,9^{\circ} \text{ C}$  y una precipitación total de 693 mm con 80 % de nieve entre octubre y abril (Pérez-Martínez et al., 2020).



**Fig. 1.** Localización geográfica de las lagunas muestreadas de Sierra Nevada. Fuente: elaboración propia.

Sierra Nevada alberga alrededor de 70 lagunas, lagunillos y charcas que ocupan en su mayoría los circos glaciares en la cabecera de 6 valles (Fig. 1). Estas lagunas presentan una época de deshielo que cursa normalmente desde principios de mayo a finales de octubre. Las temperaturas del agua en esta época libre de hielo oscilan entre los  $3,4^{\circ} \text{ C}$  y los  $32^{\circ} \text{ C}$  (Tabla 1). En general, se trata de lagunas pequeñas ( $< 1 \text{ ha}$  de área superficial), sin peces, oligotróficas y de baja alcalinidad, con una profundidad máxima en la mayoría de ellas de no más de 5 metros (Pérez-Martínez et al., 2020), a excepción de alguna que pueden llegar a los 14 metros como la laguna de La Caldera (Villar-Argaiz et al., 2002). Pero no hay dos lagunas iguales. La diferente transparencia del agua se debe fundamentalmente a la diferente cantidad de partículas (orgánicas e inorgánicas) en suspensión. Las comunidades de zooplancton son muy simples, estando dominadas por el copépodo calanoide *Mixodiaptomus laciniatus*, el cladócero



planctónico *Daphnia* y algunas especies de rotíferos, entre ellas, según datos de los años 80, se han llegado a identificar hasta 32 especies de rotíferos, siendo las más frecuentes *Euchlanis dilatata*, *Trichocerca relictus* y *Hexarthra bulgarica* (Morales Baquero, 1985).

*Daphnia*, perteneciente al grupo *pulex*, es una de las pocas especies de cladóceros planctónicos (Jiménez et al., 2018; Burillo et al., 2019; Pérez-Martínez et al., 2020) aunque no se encuentra presente en todas las lagunas, sino que su presencia en éstas parece estar relacionada con la profundidad máxima y el tiempo de residencia del agua en las lagunas (Rafael Morales-Baquero et al., 2019; Pérez-Martínez et al., 2020). Recientemente se ha mostrado que diferencias en el grado de mineralización del agua en las distintas lagunas de Sierra Nevada (Conde-Porcuna et al., 2021) y las variaciones en las bajas concentraciones de calcio características de estos sistemas (Pérez-Martínez et al., 2020) podrían influir en la distribución y abundancia relativa de *Daphnia* en estas lagunas.

## **2.2. Muestreo de campo y análisis de muestras de rotíferos**

Las muestras de zooplancton y todos los datos de las variables ambientales analizados en este TFM fueron obtenidos durante las *Jornadas Lagunas de Sierra Nevada* desarrolladas entre los días 17 y 19 de julio de 2020, en el marco de la campaña de Ciencia Ciudadana “74 Oasis Glaciares de Alta Montaña”. Se muestrearon un total de 53 lagunas con distintas características limnológicas (Tabla 1 ANEXO) pertenecientes a 6 valles (Dílar, Dúrcal, Genil, Poqueira, Lanjarón y Trevélez) (Fig. 1). En cada laguna, se muestrearon las siguientes variables limnológicas que podrían explicar la riqueza y diversidad de rotíferos:

- (i) *variables hidromorfológicas: profundidad (m) y tipo de cubeta (abierta vs. cerrada). Se consideraba que una laguna era abierta cuando había entradas y/o salidas de agua durante el periodo libre de hielo y cerrada cuando no existían ni entradas ni salidas de agua. Si la laguna era abierta, se registró además si había flujo de agua visible o no en cada entrada y/o salida.*
- (ii) *variables físico-químicas del agua: pH, temperatura (°C), conductividad (μS/cm) y los nutrientes inorgánicos nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) y su fracción disuelta en el agua (PD y ND).*
- (iii) *variables biológicas: concentración de clorofila-a (μg/L) y abundancia de cladóceros y copépodos.*

Todas las lagunas se muestrearon desde la orilla utilizando una pértiga telescópica con un cubo (1 L) en uno de los extremos (Fig. 2). Se muestrearon 12 puntos al azar alrededor de las lagunas para obtener un total de 12 L de agua de muestra integrada la cual se recogió en un cubo aparte. Con una sonda multiparamétrica previamente calibrada se midieron en el cubo la temperatura (°C), la conductividad (μS/cm) y el pH. Posteriormente se analizó en laboratorio mediante espectrofotometría la concentración de clorofila-a y el contenido en fósforo y en nitrógeno de cada laguna (Tabla 1 y ANEXO) siguiendo métodos estandarizados (APHA, 1995)



**Fig. 2.** Muestreo de zooplancton en las lagunas de Sierra Nevada con pértiga telescópica. Foto cedidas por Luis Ordoñez.

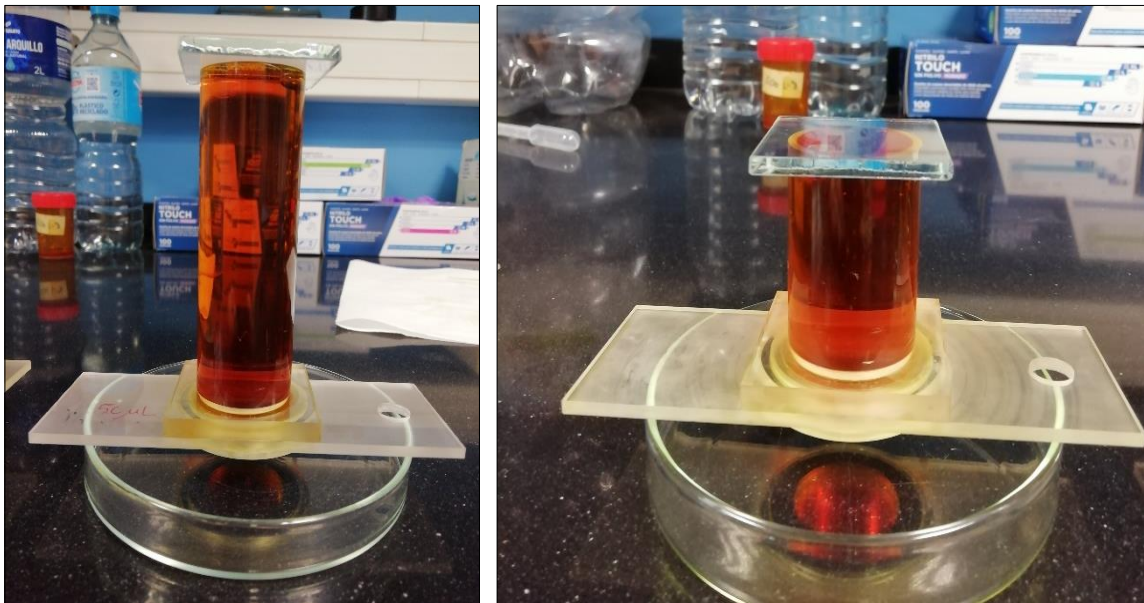
**Tabla 1.** Valores medios, desviación típica (SD), rango (mínimo-máximo) y nº de observaciones (n) de las variables ambientales registradas en las lagunas estudiadas de Sierra Nevada durante julio de 2020.

|  | <b>Media</b>   | <b>SD</b>      | <b>Min-Max.</b> | <b>n</b> |
|--|----------------|----------------|-----------------|----------|
| <b>Clorofila-a</b><br>( $\mu\text{g L}^{-1}$ )         | 1,81           | 3,71           | 0,1 – 26,7      | 53       |
| <b>PT</b><br>( $\mu\text{g L}^{-1}$ )                  | 16,16          | 17,86          | 1,8 - 108       | 53       |
| <b>PD</b><br>( $\mu\text{g L}^{-1}$ )                  | 8,91           | 12,34          | 0,8 – 83,6      | 53       |
| <b>NT</b><br>( $\text{mg L}^{-1}$ )                    | 2,47           | 0,96           | 0,16 – 4,42     | 53       |
| <b>ND</b><br>( $\text{mg L}^{-1}$ )                    | 2,33           | 0,91           | 0,16 – 4,01     | 53       |
| <b>Profundidad</b><br>(m)                              | 1,66           | 1,98           | 0,3 - 12        | 53       |
| <b>Conductividad</b><br>( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )      | 31,37          | 27,94          | 1,00 – 89,3     | 52       |
| <b>pH</b>  | 6,98           | 1,05           | 4,9 – 9,21      | 43       |
| <b>Temperatura</b><br>( $^{\circ}\text{C}$ )           | 15,48          | 5,36           | 3,4 – 32,17     | 53       |
|  | <b>Si</b>      | <b>No</b>      |                 | <b>n</b> |
| <b>Entrada de agua</b><br>(Entrada visible)<br>(Si/No) | 27             | 26             |                 | 53       |
| <b>Salida de agua</b><br>(Salida visible)<br>(Si/No)   | 25             | 28             |                 | 53       |
|  | <b>Abierta</b> | <b>Cerrada</b> |                 | <b>n</b> |
| <b>Abierta/ Cerrada</b><br>(A/C)                       | 39             | 14             |                 | 53       |

Abreviaturas: PT, fósforo total; PD, fósforo disuelto; NT, nitrógeno total; ND, nitrógeno disuelto; Profundidad, *profundidad registrada durante la campaña de muestreo.*

Las muestras de zooplancton se tomaron filtrando un total de 10 L de agua del cubo a través de un filtro de nailon de 45  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro. El filtro se introdujo en un bote de 50 ml con agua filtrada y se fijó con una solución alcalina de lugol. Todas las muestras se conservaron en frío y oscuridad hasta su análisis en microscopio.

Para el análisis de las muestras de zooplancton, se procedió a extraer el filtro de nailon de 45  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro y se aclaró en una placa de Petri con agua de grifo hasta su total lavado. El agua del aclarado fue recuperada de la placa de Petri e incorporada a la muestra fijada previamente con lugol. Una vez extraído y lavado el filtro, la muestra se colocó en una cámara de sedimentación de Utermöhl usando columnas de sedimentación de 25 y 50 ml. El tiempo de sedimentación fue de aproximadamente 7 y 12 horas dependiendo del volumen de la columna y posteriormente se visualizaron en un microscopio invertido (Leica DMI1) con cámara digital (Fig. 3).



**Fig. 3.** Muestras de zooplancton sedimentando en cámaras Utermöhl.

Una vez colocada la muestra en el microscopio, se hacía un barrido en zigzag de toda la superficie de la cámara de sedimentación primero con el objetivo de 10x para la identificación de los crustáceos y luego con el objetivo de 40x para el análisis de los rotíferos. En cada muestra se contaron al menos 400 individuos en total y en el caso de que no se alcanzase ese número, se llegaron a contar todos los individuos de la muestra.

Para la identificación taxonómica de los organismos encontrados en las muestras se utilizaron diferentes claves taxonómicas (Koste, 1978; Bledzki & Rybak, 2016; Morales-Baquero, 1985) e imágenes de bases de datos ya existentes. Todos los taxones de rotíferos se identificaron a nivel de especie con excepción de *Hexarthra* sp. y *Polyarthra* sp. Los crustáceos se identificaron solamente a nivel de género. Por último, se llevó a cabo un conteo de la abundancia de cada especie identificada en cada muestra.

Una vez terminados los análisis, la muestra se recuperó a su bote original y se almacenó.

### 2.3. Análisis estadístico

Para los análisis multivariantes se ha utilizado el paquete “vegan” (Oksanen et al., 2015) del programa R 4.0.3 (The R Project for Statistical Computing) y para la realización de modelos, los test de Kruskal-Wallis, test de Wilcoxon y correlaciones de Spearman, se utilizó R commander (paquete “Rcmdr”).

Para el análisis de los datos de abundancia de especies por laguna se realizaron, por un lado, correlaciones no paramétricas de Spearman de cada especie de rotíferos con 10 variables ambientales y biológicas numéricas: clorofila, fósforo total (PT), fósforo disuelto (PD), nitrógeno total (NT), nitrógeno disuelto (ND), temperatura, profundidad, conductividad, abundancia de cladóceros y abundancia de copépodos. Dichas correlaciones no paramétricas se llevaron a cabo debido a que los valores de abundancia de especies no cumplían la asunción de normalidad ni tampoco la cumplían los residuales de modelos de regresión entre las abundancias de especies y las variables ambientales. La significación de las correlaciones múltiples se estableció siguiendo el método secuencial de Bonferroni (Rice, 1989). Por otro lado, para ver diferencias en la abundancia de especies en función de variables categóricas como la presencia o no de entrada de agua en la laguna, la presencia de salida y si se trataba de una laguna cerrada o abierta, se utilizó el test no paramétrico de Wilcoxon para dos muestras (*U* de Mann-Whitney) debido también a la ausencia de normalidad. En el caso de la variable categórica “Valle”, se realizó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis ya que esta variable presentaba más de dos valores. Para el análisis por pares de los diferentes niveles de la variable “Valle” también se utilizó el test no paramétrico de Wilcoxon.

A partir de los datos de abundancia de especies en cada laguna, se generó una matriz de presencias y ausencias (presencia=1, ausencia=0) que fue analizada mediante modelos lineales generalizados para descubrir que variables ambientales explicaban la variabilidad de estos datos. Para ello se usó una distribución binomial y una posterior selección de modelos paso a paso. La ausencia de colinealidad entre las variables independientes del modelo final se comprobó con la función *vif* (Fox et al., 1992) de R. Con los datos de abundancias de las especies se seleccionaron aquellas lagunas en las que se contabilizaron más de 12 individuos y se calcularon los índices de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y de Simpson ( $D$ ):

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

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

donde  $S$  es el número total de especies y  $p_i$  es la abundancia relativa de cada especie.

Posteriormente, para ver si existían relaciones entre los datos de diversidad y las variables ambientales, se llevaron a cabo modelos lineales con selección de variables por pasos. La normalidad de los residuales se comprobó con el test de Shapiro-Wilk, la heterocedasticidad con el test Breusch-Pagan, la autocorrelación con el test de Durbin-Watson y los valores atípicos con el test de Bonferroni.

Para el cálculo de la riqueza de especies por lagunas, se aplicó en primer lugar el método de rarefacción para poder comparar datos que presentan diferente esfuerzo de muestreo. Luego se calculó la riqueza de cada laguna y, por último, para ver relaciones entre riqueza de especies y variables ambientales se desarrolló una selección de modelos paso a paso. Para obtener la riqueza rarefaccionada de especies por laguna se utilizó la función de *rarefy* del paquete de R “vegan” (Oksanen et al., 2015).

Los análisis multivariantes que se han realizado son análisis de componentes principales (PCA) y análisis de redundancia (RDA). Se eligió el PCA frente a métodos unimodales como el análisis de correspondencia porque un análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) preliminar indicó que la respuesta a los principales gradientes ambientales era lineal. Tras el PCA se utilizó el RDA para ver que variables ambientales podían influir en la distribución de las especies. El método de permutaciones se utilizó para examinar la significación en este análisis canónico (Legendre & Legendre, 1998).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Análisis de las abundancias poblacionales

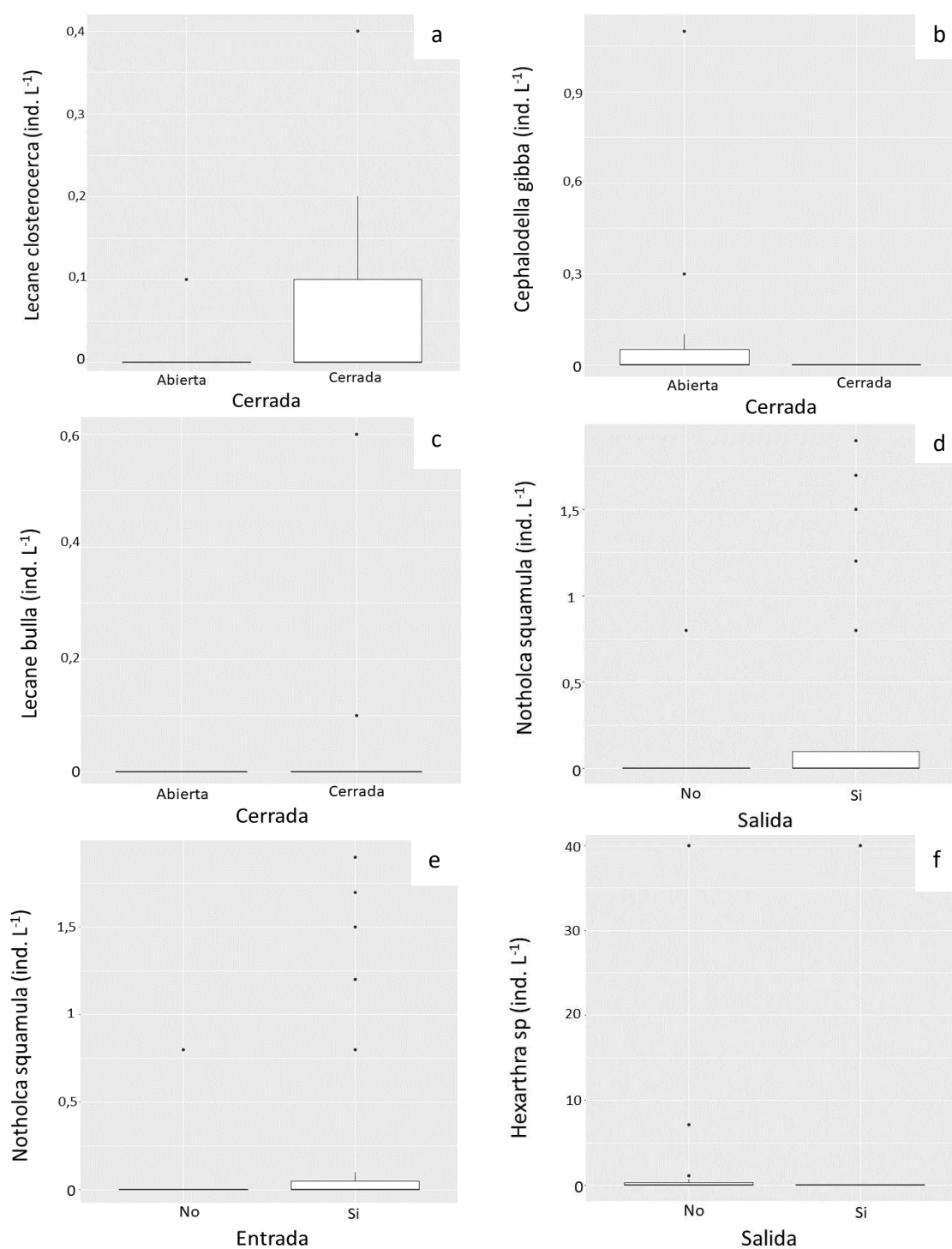
En las muestras recogidas en las 53 lagunas de Sierra Nevada se han identificado un total de 16 taxones diferentes de rotíferos (Tabla 2 ANEXO). Las abundancias de estos taxones registradas en cada laguna han oscilado entre los 0,1 ind L<sup>-1</sup> y los 40 ind L<sup>-1</sup>. Las especies más abundantes fueron *Euchlanis dilatata*, con una abundancia relativa media de 15,6 % apareciendo en 21 lagunas, y *Lepadella patella* con un 13 % de abundancia relativa media y apareciendo en 19 lagunas. Las especies menos abundantes fueron *Lecane bulla* y *Brachionus quadridentatus* con una abundancia relativa media de 0,84 % y 0,36 % respectivamente y apareciendo únicamente en 2 lagunas.

*Cephalodella gibba* presentó una abundancia relativa media del 2,44 % sin embargo se detectó en 10 lagunas. Por el contrario, *Keratella cochlearis* se identificó solamente en una laguna pero presentó una abundancia relativa media de casi el 2 %.

Las correlaciones de Spearman llevadas a cabo entre las abundancias de rotíferos y las variables ambientales y biológicas solamente indicaron una correlación significativa, en concreto entre la abundancia de *Lecane flexilis* y la concentración de clorofila ( $r=0,3895$ ;  $p=0,0043$ ).

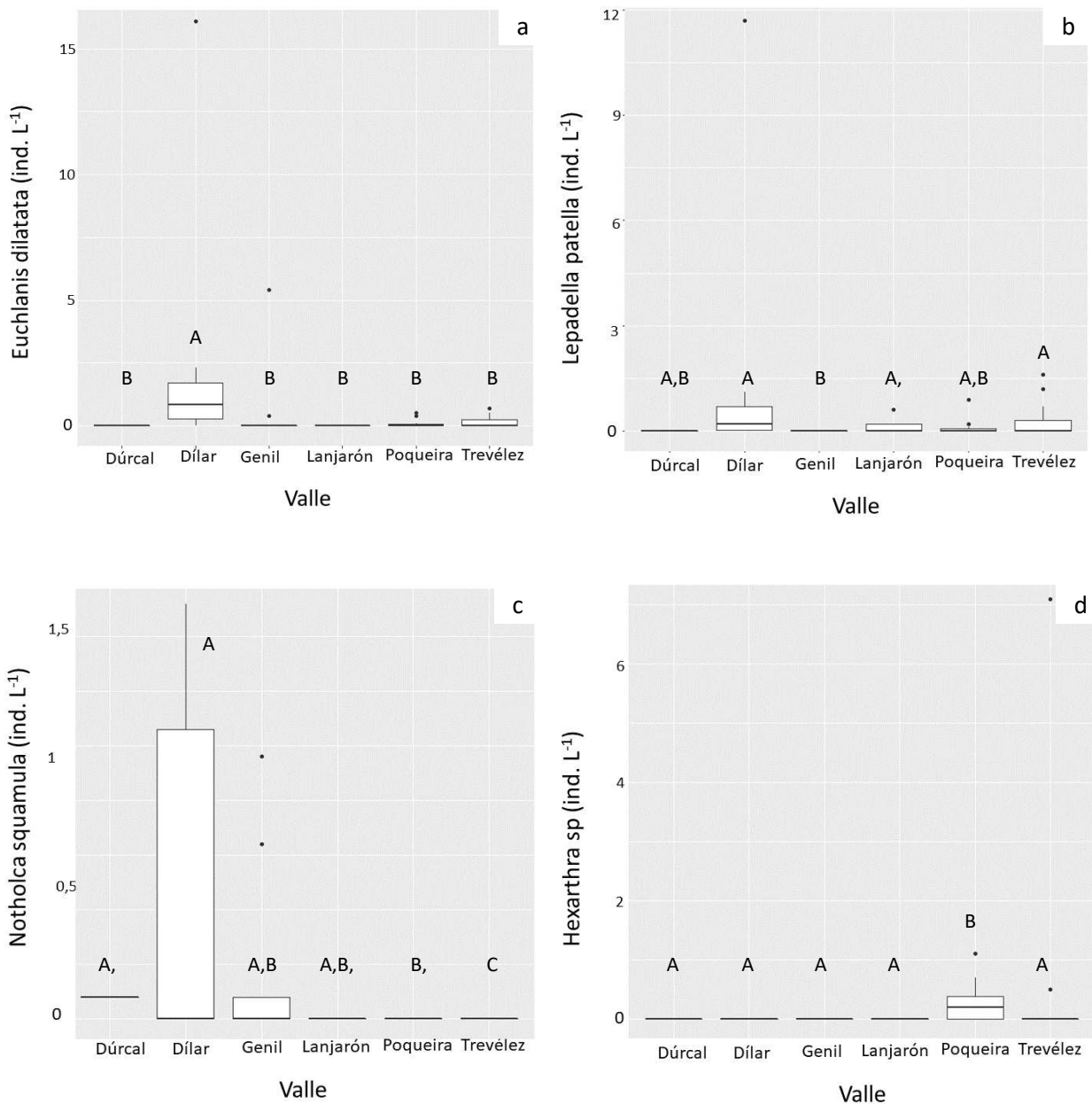
Aunque la temperatura mostró una correlación significativa con *Lecane closterocerca* ( $r=0,3046$ ;  $p=0,0281$ ), esta significación no se mantuvo al realizar la corrección secuencial de Bonferroni. Esto mismo ocurrió con *Euchlanis dilatata* y NT ( $r=0,3037$ ;  $p=0,0286$ ).

Los tests no paramétricos para las variables categóricas mostraron comparaciones significativas para 7 de las 15 especies de rotíferos analizadas. Se obtuvieron diferencias significativas entre lagunas cerradas y abiertas en las abundancias de *Cephalodella gibba* ( $W=318,5$ ;  $p=0,047$ ), *Lecane bulla* ( $W=214,5$ ;  $p=0,015$ ) y *Lecane closterocerca* ( $W=185,5$ ;  $p=0,010$ ). Para *Cephalodella gibba* las abundancias fueron mayores en las lagunas abiertas (Fig. 4-b) mientras que para *Lecane bulla* y *Lecane closterocerca*, esas abundancias fueron mayores en las lagunas cerradas (Fig 4-a y Fig. 4-c). También se observó una mayor abundancia de *Hexarthra* sp en lagunas sin salidas ( $W=432,5$ ;  $p=0,012$ ) (Fig. 4-f) y justo lo contrario para *Notholca squamula* ( $W=254,5$ ;  $p=0,016$ ) (Fig. 4-d). *Notholca squamula* también fue la única especie cuya abundancia es significativamente mayor en lagunas con entrada visible de agua ( $W=262,5$ ;  $p=0,030$ ) (Fig. 4-e).



**Fig. 4.** Abundancias de las diferentes especies de rotíferos en función de las variables Abierta/Cerrada, y Salida y Entrada de agua visible o no que presentaron diferencias significativas tras aplicar el Test de Wilcoxon. Las dimensiones de la caja es la diferencia entre el primer y tercer cuartil. El segmento que divide la caja en dos partes es la mediana. La continuación de los segmentos en la caja determina el límite para la detección de valores atípicos.

Los tests de Kruskal-Wallis mostraron diferencias significativas entre valles para *Euchlanis dilatata* ( $H=18,317$ ;  $P=0,002$ ), *Hexarthra* ( $H= 16,456$ ;  $p=0,006$ ), *Notholca squamula* ( $H=16,953$ ;  $p=0,005$ ) y *Lepadella patella* ( $H=11,088$ ;  $p= 0,049$ ). Para *Euchlanis dilatata*, el valle de Dílar presentó, de manera significativa, una mayor abundancia que en el resto de valle entre los que no se detectaron diferencias (Fig. 5-a). Para *Lepadella patella*, el valle del Genil se diferencia significativamente de los valles de Dílar y Trevélez siendo más abundante la especie en el valle del Dílar y del Trevélez con respecto al valle del Genil (Fig. 5-b). para *Notholca squamula*, fue el valle del Dílar el que mostró mayores abundancias con respecto al valle del Poqueira y con el valle de Trevélez. Este último, a su vez, arrojó menor abundancia de *Notholca squamula* que el valle del Genil (Fig. 5-c). Por último, para *Hexarthra sp*, es el valle del Poqueira el que presenta unas mayores abundancias de la especie con el resto de los valles (Fig. 5-d).



**Fig. 5.** Abundancia de *Lepadella patella*, *Notholca squamula*, *Euchlanis dilatata* y *Hexarthra sp*. en los diferentes valles de Sierra Nevada. Las dimensiones de la caja es la diferencia entre el primer y tercer cuartil. El segmento que divide la caja en dos partes es la mediana. La continuación de dos segmentos en la caja determina el límite para la detección de valores atípicos. Los valles marcados con la misma



### 3.2. Análisis de presencia y ausencia de especies de rotíferos

Sobre los datos obtenidos de presencia y ausencia de especies de cada una de las lagunas, fueron la clorofila y la conductividad la que mostraron resultados significativos para *Euchlanis dilatata* (Tabla 7). Ambas variables presentaron una relación positiva respecto a la abundancia de dicha especie. Para *Lepadella patella*, su presencia disminuye en lagunas cerradas (Tabla 8).

**Tabla 7.** Mejor modelo obtenido para el efecto de las variables ambientales sobre la presencia de *Euchlanis dilatata* en las lagunas. Los valores estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ) se indican en negrita. SE = error estándar.

|               | <b>Estima</b> | <b>SE</b> | <b>z valor</b> | <b>P</b>     |
|---------------|---------------|-----------|----------------|--------------|
| Intercepto    | -2.219        | 0.736     | -3.015         | <b>0.003</b> |
| Clorofila     | 0.663         | 0.315     | 2.105          | <b>0.035</b> |
| Conductividad | 0.027         | 0.012     | 2.245          | <b>0.025</b> |

AIC = 64.578

**Tabla 8.** Mejor modelo obtenido para el efecto de las variables ambientales sobre la presencia de *Lepadella patella* en las lagunas. Los valores estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ) se indican en negrita. SE = error estándar.

|            | <b>Estima</b> | <b>SE</b> | <b>z valor</b> | <b>P</b>     |
|------------|---------------|-----------|----------------|--------------|
| Intercepto | -0.051        | 0.320     | -0.160         | 0.8728       |
| Cerrada    | -1.653        | 0.833     | -1.986         | <b>0.047</b> |

AIC = 69.202

### 3.3. Análisis de riqueza y diversidad de especies de rotíferos

Los cálculos de diversidad de Shannon-Wiener y de Simpson arrojaron unos índices que oscilaron entre 0,20 y 1,78 para el índice de Shannon-Wiener y entre 0,09 y 0,79 para el índice de Simpson (Tabla 3). Con estos datos se procedió a llevar a cabo la selección de modelos por pasos que señalaron que tanto la diversidad de Shannon-Wiener como de Simpson tenían una relación negativa con el nitrógeno total y positiva con la presencia de salidas en las lagunas (Tabla 4).

En el caso de la riqueza de especies por laguna, la selección de modelos indicó que la única variable significativa fue la profundidad. En este caso la profundidad favorecería la riqueza específica (Tabla 5).

**Tabla 3.** Índices de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson.

| Lagunas  | Valle    | Shannon-Wiener | Simpson |
|--|----------|----------------|---------|
| Laguna Media de las Calderetas                                     | Trevélez | 1,785          | 0,791   |
| Laguna de Vacares  | Trevélez | 1,757          | 0,77    |
| Laguna Alta de las Calderetas                                      | Trevélez | 1,368          | 0,703   |
| Lagunillo de la Virgen tributario a la laguna de las Yeguas (Alto) | Dílar    | 1,265          | 0,694   |
| Lagunillo Bajo del Valdeinfierno                                   | Genil    | 1,253          | 0,678   |
| Laguna Baja de Rio Seco  | Poqueira | 1,098          | 0,603   |
| Laguna de Juntillas  | Trevélez | 0,965          | 0,592   |
| Charca de la ermita  | Dílar    | 1,109          | 0,585   |
| Lagunillo grande de la virgen                                      | Dílar    | 0,926          | 0,568   |
| Laguna de Lanjarón   | Lanjarón | 0,9            | 0,514   |
| Laguna de la Caldera   | Poqueira | 0,874          | 0,512   |
| Lagunillo medio de la ermita                                       | Dílar    | 0,806          | 0,507   |
| Laguna de las Cabras   | Poqueira | 0,693          | 0,5     |
| Laguna del Borreguil   | Trevélez | 0,739          | 0,446   |
| Lagunillo de la Virgen tributario a la laguna de las Yeguas (Bajo) | Dílar    | 0,659          | 0,381   |
| Lagunillo Bajo del Pulpito   | Poqueira | 0,562          | 0,375   |
| Lagunillo bajo de la ermita  | Dílar    | 0,661          | 0,355   |
| Lagunillo de los Lavaderos de la Reina                             | Genil    | 0,61           | 0,297   |
| Laguna del Carnero   | Dílar    | 0,606          | 0,283   |
| Lagunillo de la Virgen que drena aguas abajo de las Yeguas         | Dílar    | 0,505          | 0,228   |
| Lagunillo alto de la ermita  | Dílar    | 0,207          | 0,091   |

**Tabla 4.** Modelo obtenido para el efecto de las variables ambientales sobre la diversidad de Shannon-Wiener y la diversidad de Simpson de las lagunas. Los valores estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ) se indican en negrita. SE = error estándar.

| Diversidad                       | Estima | SE    | t valor | p            |
|----------------------------------|--------|-------|---------|--------------|
| <b>Shannon-Wiener</b>            |        |       |         |              |
| Intercepto                       | 2.185  | 0.288 | 7.579   | <b>0.000</b> |
| NT                               | -0.510 | 0.106 | -4.801  | <b>0.000</b> |
| Salida                           | 0.376  | 0.140 | 2.676   | <b>0.016</b> |
| R <sup>2</sup> ajustado = 0.5303 |        |       |         |              |
| Diversidad                       | Estima | SE    | t valor | p            |
| <b>Simpson</b>                   |        |       |         |              |
| Intercepto                       | 1.095  | 0.115 | 9.487   | <b>0.000</b> |
| NT                               | -0.250 | 0.043 | -5.864  | <b>0.000</b> |
| Salida                           | 0.216  | 0.056 | 3.847   | <b>0.001</b> |
| R <sup>2</sup> ajustado = 0.644  |        |       |         |              |

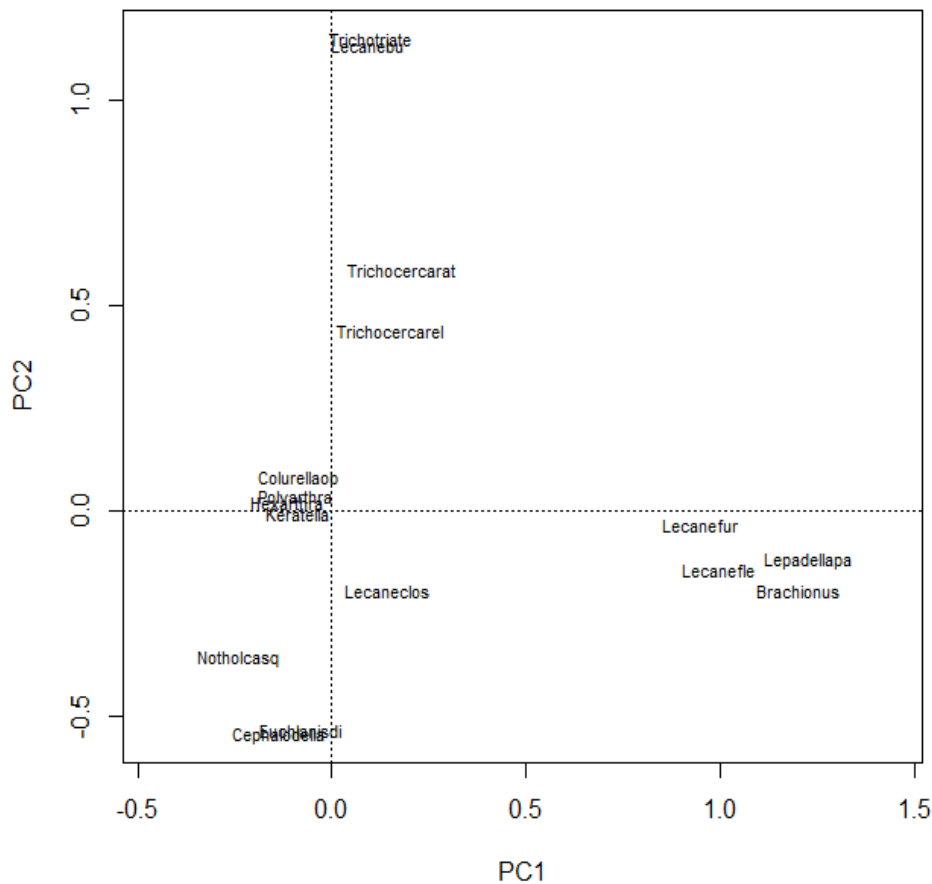
**Tabla 5.** Modelo obtenido para el efecto de las variables ambientales sobre la riqueza de especies de las lagunas. Los valores estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ) se indican en negrita. SE = error estándar.

| Riqueza     | Estima | SE    | t valor | p            |
|-------------|--------|-------|---------|--------------|
| Intercepto  | 2.301  | 0.289 | 7.969   | <b>0.000</b> |
| Profundidad | 0.484  | 0.151 | 3.199   | <b>0.004</b> |

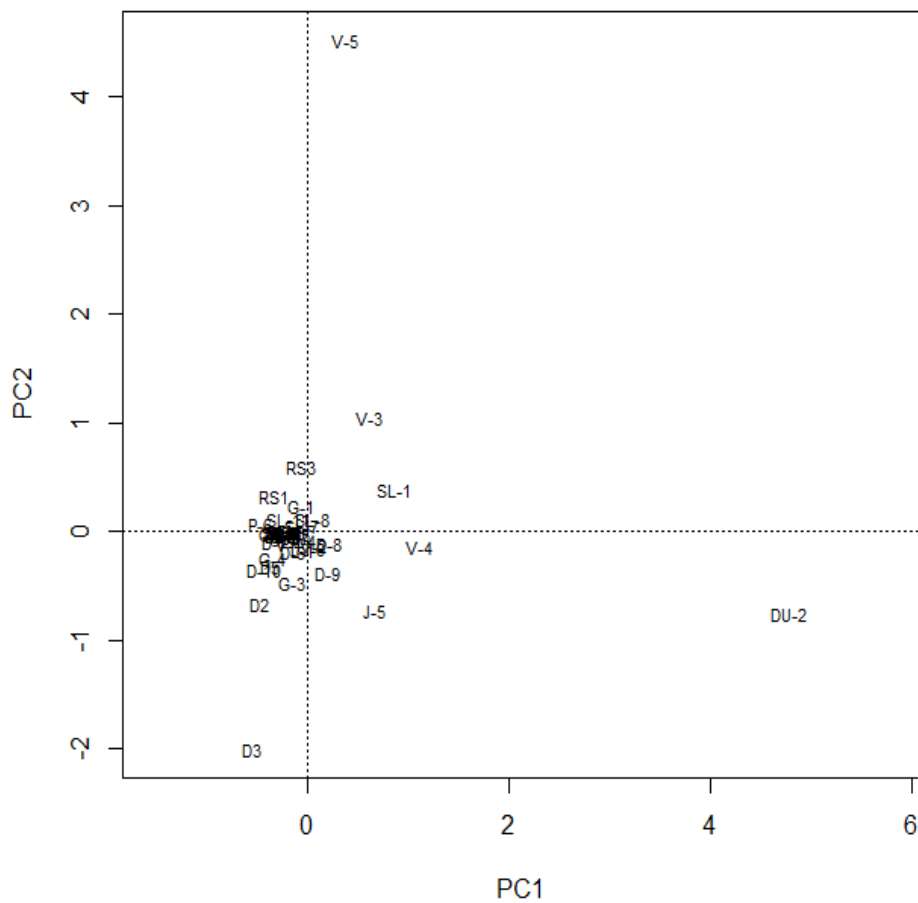
R<sup>2</sup> ajustado = 0.305

### 3.4. Análisis multivariante

Para ver la ordenación de las especies y comunidades, un PCA mostró que los 6 primeros ejes explicaban el 70,17 % de la variación de los datos. Los resultados del eje 1 (17,69 %) del PCA diferenció a *Lecane furcata*, *Lecane flexilis*, *Lepadella patella* y *Brachionus quadridentatus* del resto de especies y también separó a la Laguna del Carnero (DU-2) de las demás lagunas (Fig. 6). Según el eje 2 (13,99 %), el Lagunillo de la Virgen que drena aguas abajo de las Yeguas (D-3) y el Lagunillo Alto del Goterón (V-5) son los sistemas que presentan mayor diferencia en cuanto a composición de especies en sus aguas mientras que todas las demás lagunas parecen ser que pueden llegar a presentar comunidades de rotíferos más o menos coincidentes. La Laguna del Carnero (DU-2) también presenta diferencias claras con el resto respecto al eje1 y se diferencia bastante del Lagunillo Alto del Goterón (V-5) respecto al eje 2 (Fig. 7).



**Fig. 6.** Gráfico de los ejes 1 y 2 del análisis de componentes principales (PCA) con las especies de rotíferos representadas.

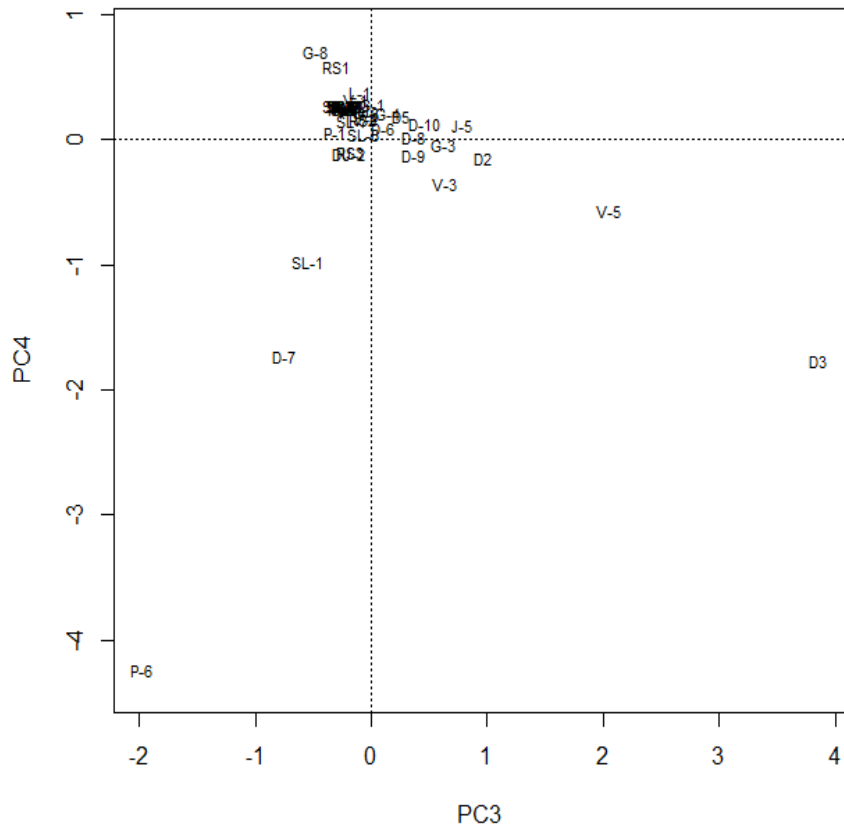


**Fig. 7.** Gráfico de los ejes 1 y 2 del análisis de componentes principales (PCA) con las lagunas representadas.

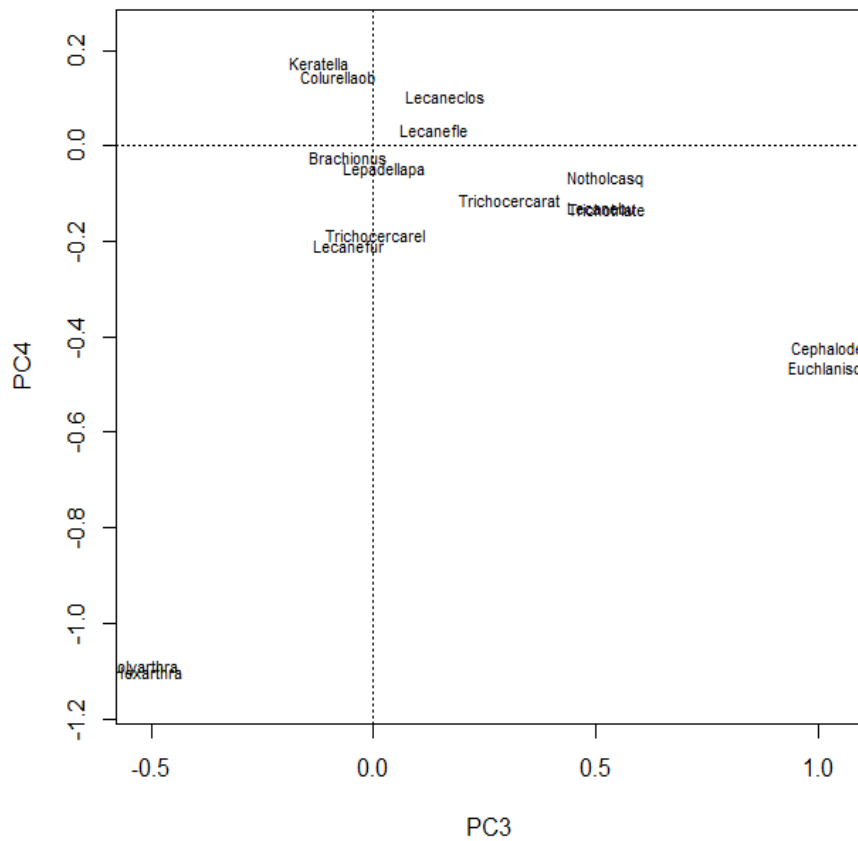
Atendiendo ahora a los requerimientos de cada especie y atendiendo de nuevo al eje 2, *Lecane bulla* y *Trichotria tetractis* necesitarían unas condiciones ambientales casi idénticas para sobrevivir que serían muy diferentes a las que requerirían *Cephalodella gibba* o *Euchlanis dilatata* (Fig. 6).

El eje 3 (12,6 %) separó claramente a la Laguna del Majano (P6) y al Lagunillo de la Virgen que dreña aguas abajo de las Yeguas (D3) y, a su vez, el eje 4 (10,5 %) separó de nuevo a la Laguna del Majano (P6) del resto de lagunas (Fig. 8). En cuanto a las especies de rotíferos, el eje 4 separó a *Hexarthra* sp. y *Polyarthra* sp. del resto de especies. El eje 3 separó, por un lado, a *Cephalodella gibba* y *Euchlanis dilatata* y por otro a *Hexarthra* sp. y *Polyarthra* sp. (Fig. 9).

Sin embargo, tras el RDA realizado para interpretar el análisis de ordenación con las variables ambientales medidas., ningún eje RDA ni variable ambiental mostró resultados significativos con la distribución de los datos de abundancia de rotíferos (Tabla 6).



**Fig. 8.** Gráfico de los ejes 3 y 4 del análisis de componentes principales (PCA) con las lagunas representadas.



**Fig. 9.** Gráfico de los ejes 3 y 4 del análisis de componentes principales (PCA) con las especies de rotíferos representadas.

**Tabla 6.** Resultados del análisis de redundancia (RDA) de las comunidades de rotíferos como variables respuesta y las variables predictoras mostradas en la Tabla 1.

|                      | <b>Df</b> | <b>Varianza</b> | <b>F</b> | <b>p-valor</b> |
|----------------------|-----------|-----------------|----------|----------------|
| <b>Clorofila</b>     | 1         | 1.154           | 0.5614   | 0.408          |
| <b>PT</b>            | 1         | 0.240           | 0.1167   | 0.877          |
| <b>PD</b>            | 1         | 1.003           | 0.4879   | 0.172          |
| <b>NT</b>            | 1         | 0.200           | 0.0972   | 0.938          |
| <b>ND</b>            | 1         | 2.039           | 0.9920   | 0.316          |
| <b>Profundidad</b>   | 1         | 1.300           | 0.6326   | 0.280          |
| <b>Conductividad</b> | 1         | 0.232           | 0.1128   | 0.942          |
| <b>Temperatura</b>   | 1         | 6.114           | 2.9742   | 0.076          |
| <b>Cladóceros</b>    | 1         | 1.653           | 0.8041   | 0.347          |
| <b>Copépodos</b>     | 1         | 0.508           | 0.2471   | 0.491          |
| Residual             | 41        | 84.276          |          |                |

R<sup>2</sup> ajustado = -0.043

Abreviaciones: PT, fósforo tota; PD, fósforo disuelto; NT, nitrógeno total; ND, nitrógeno disuelto; cladóceros, la abundancia de cladóceros; y copépodos, abundancia de copépodos.

#### 4. DISCUSIÓN

En el presente estudio se han llegado a identificar 16 especies diferentes de rotíferos en el conjunto de lagunas analizadas, un número algo menor que el encontrado por Morales-Baquero (1987) en Sierra Nevada, que fue de 25 especies. Esto puede deberse a la diferencia en el periodo de muestreo llevados a cabo entre ambos trabajos, ya que en Morales-Baquero (1987), la recogida de muestras se realizó a lo largo de dos de años en la época libre de hielo, en contraposición, en este trabajo solo se han tomado muestras de las lagunas en un momento puntual del verano y solamente en el año 2020. La importancia en la época de muestreo en los resultados radica en que durante el verano se producen importantes fluctuaciones en la abundancia y riqueza de zooplancton, pudiendo llegar a generar las diferencias encontradas en el trabajo con respecto a otras investigaciones.

En diferentes estudios de lagunas de alta montaña de toda Europa, el patrón que más se repite es la presencia de pocas especies muy frecuentes seguidas de una lista más o menos larga de especies raras ( Miracle, 1978; Bartumeus et al., 2009). La abundancia relativa media de las especies de rotíferos en todas las lagunas analizadas en este estudio fue relativamente pequeña, no superando ninguna de ellas el 16 % de abundancia. De esta forma, *Euchlanis dilatata* y *Lepadella patella* son las más frecuentes al encontrarse en 21 y 19 lagunas de las 53 muestreadas respectivamente. Los estudios previos de Morales-Baquero (1987) en Sierra Nevada también señalaron a estas dos especies entre las más abundantes de las lagunas siendo del 81 % la máxima abundancia para *Euchlanis dilatata*. Esto confirmaría la distribución cosmopolita y los amplios rangos ecológicos en los que pueden proliferar y sobrevivir estas dos especies. En esta misma línea, en este estudio se han encontrado tres especies con una abundancia relativamente alta, mientras que las demás no superaron el 4,5 % de abundancia, cumpliendo así las características generales de abundancia -unas pocas especies muy abundantes acompañadas por otras especies más infrecuentes- en consonancia con lo encontrado en la mayoría de los sistemas naturales.

A la hora de explicar la composición y estructura de las comunidades de rotíferos en los lagos estudiados, se utilizaron tres grupos de variables ambientales, entre las que se pueden diferenciar las variables hidromorfológicas (profundidad, tipo de cubeta), las variables físico-químicas (*pH*, *temperatura* (°C), *conductividad* (μS/cm)) y *los nutrientes inorgánicos (nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) y su fracción disuelta en el agua)* y por último las variables biológicas (concentración de clorofila-a y zooplancton). La ausencia de variables significativas en el RDA sugiere que, aunque desde el punto de vista de la estructura de la comunidad de rotíferos las variables ambientales estudiadas no aportan información valiosa, desde el punto de vista poblacional algunas especies sí que parecen mostrar relación con las variables ambientales medidas.

Un grupo de variables que han mostrado influencia sobre la abundancia y presencia de algunas especies son aquellas relacionadas con las características hidromorfológicas de las lagunas. Un ejemplo de ello son *Cephalodella gibba* y *Notholca squamula* (Fig. 4), especies que presentan mayores abundancias en lagunas que poseen una entrada y/o una salida de agua. Asimismo, este factor también estaría relacionado con la presencia de *Lepadella patella* quien tiende a estar presente en lagunas abiertas. Por su parte, *Lecane bulla* y *Lecane closterocerca*

presentaron mayores abundancias en lagunas cerradas. Morales-Barquero et al. (2019) obtuvieron mayores abundancias de zooplancton en lagos cerrados que abiertos debido a la pérdida por el flujo de agua de la laguna, si bien hay que tener en cuenta que, en el zooplancton no solo se engloban los rotíferos, sino también los cladóceros y copépodos que son muy sensibles a la presencia de entradas y salidas de agua de las lagunas y, además, pueden competir (cladóceros) o depredar (copépodos) a los rotíferos (Ramos-Rodríguez & Conde-Porcuna, 2004). En cualquier caso, habría que destacar que los muestreos de este estudio tuvieron lugar al principio de la época libre de hielo, por lo que es posible que el zooplancton y, en concreto algunas especies de rotíferos, no se hubieran podido desarrollar aún en aquellas lagunas en la que no existe un movimiento de agua.

En lo referente a las variables físico-químicas, ya Margalef (1976) y posteriormente Green (1981) en lagos australianos señalaban que el grado de mineralización del sistema provocaba cambios en la diversidad de las comunidades de rotíferos. En lagos de Sierra Nevada también se ha observado que valores bajos de conductividad se corresponden con altas densidades de especies planctónicas y viceversa (Morales-Baquero et al., 1989). Por el contrario, se describió una relación significativa positiva entre la conductividad y *Euchlanis dilatata*, lo que lleva a pensar que los niveles de solutos disueltos en el agua podrían influir directamente en el tipo de especies dominantes en dicha comunidad.

Otro de los factores importantes en la estructura de las comunidades zooplanctónicas de lagunas es el estado trófico de las mismas (Tolotti et al., 2006; Liang et al., 2020). Dicho estado trófico viene condicionado por las concentraciones de nitrógeno, fósforo y clorofila-a que puedan registrarse en el agua (Carlson, 1977; OCDE, 1982; Nürnberg, 1996). Es de hecho la concentración de clorofila-a la que arrojó una relación positiva con los datos de presencia y ausencia de *Euchlanis dilatata*. Esta variable también influyó positivamente en la abundancia de *Lecane flexilis*. Cabe destacar que, aunque la concentración total de nitrógeno también mostró una correlación significativa con *Euchlanis dilatata*, esta significación no se mantuvo al realizar la corrección secuencial de Bonferroni y aunque no se pueda hablar de correlaciones significativas, podrían ser marginalmente significativas.

Las lagunas que han sido muestreadas en este trabajo presentaron unos valores de diversidad que fluctuaron desde los 0,2 hasta los 1,7 en el caso de la diversidad de Shannon-Wiener. Uno de los parámetros físicoquímicos que parece estar influyendo en esta variabilidad de diversidad es el nitrógeno total. Kernan et al. (2009) y Tolotti et al. (2006) en lagos de los Alpes italianos también relacionan la estructura de las comunidades tanto de fitoplancton como de zooplancton con la concentración de nitratos del medio. Coincidiendo con nuestros resultados, estos estudios relacionan la riqueza de rotíferos en las lagunas con las concentraciones de nitrógeno.

Las características de las cuencas lacustres también juegan un papel muy importante en los parámetros físicoquímicos del agua y de forma indirecta en los hábitats y en la formación de las comunidades de organismos de los lagos (Zaharescu et al., 2016). De esta manera, la vegetación, la ubicación y los usos de suelos que se estén desarrollando dentro de la cuenca de captación del lago va a tener una influencia directa sobre los niveles de nutrientes e iones (Müller et al., 1998). Esto podría explicar las diferencias significativas en las abundancias de algunas especies al hacer comparaciones entre los 6 valles diferentes a los que pertenecen las



lagunas analizadas. Este es el caso de los valles del río Dílar y del río Poqueira, donde se obtuvieron abundancias significativamente más altas de *Euchlanis dilatata* y de *Hexarthra sp* en comparación a otras zonas estudiadas. Una de las hipótesis planteadas para justificarlo es que la diferencia de suelo o incluso de condiciones microclimáticas puedan tener un efecto sobre la proliferación de determinadas especies (Müller et al., 1998), sin embargo, no se ha podido obtener suficiente información detallada a este respecto para los distintos valles de Sierra Nevada

Finalmente, se debe de tener en consideración que todos estos resultados estarían condicionados por el número de variables ambientales incluidas en el estudio y por el número de muestreos que se han llevado a cabo, ya que, aunque se han muestreado un numero bastante considerable de lagunas, estos se realizaron en una ocasión puntual. Por ello, para estudiar mejor las relaciones existentes y obtener resultados más concretos se necesitaría, por un lado, un seguimiento durante toda la época libre de hielo para recoger toda la variación que sufren las comunidades de rotíferos y, por otro lado, una repetición de los muestreos en varios años diferentes para poder comparar resultados de la misma etapa del verano entre años.

## 5. CONCLUSIONES

Como se ha visto reflejado en este estudio, los factores ambientales y ecológicos estarían afectando a la configuración de las comunidades de rotíferos de las lagunas de Sierra Nevada. Se han llegado a detectar hasta 16 especies diferentes de rotíferos y varias variables ambientales que estarían afectando a las abundancias y presencias de distintas especies de rotíferos. Por un lado, variables hidromorfológicas de las lagunas como la presencia de salidas y/o entradas de agua en la propia laguna estarían influyendo en las abundancias de especies como *Cephalodella gibba* y *Notholca squamula*. Por otra parte, las variables fisicoquímicas y biológicas también estarían teniendo un efecto directo sobre la distribución de especies. La concentración de clorofila-a, la concentración de nitrógeno total, la profundidad o la conductividad tendrían efectos tanto en la abundancia de especies como en los valores de diversidad y riqueza específica. Estos estudios tanto a escala local como regional nos ayudarán a comprender cuales son los procesos y factores que van a moldear la estructura de las comunidades presentes en estos ecosistemas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- American Public Health Association (APHA) (1995) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. New York: American Public Health Association.
- Bartumeus, F., Ventura, M., & Catalan, J. (2009). Factors shaping diversity patterns in pelagic rotifer assemblages of high mountain lakes (Pyrenees). *Advances in Limnology*, 62, 99–122. <https://doi.org/10.1127/advlim/62/2009/99>
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes 1. *Limnology and oceanography*, 22(2), 361–369.
- Catalan, J., Pla-Rabés, S., Wolfe, A. P., Smol, J. P., Rühland, K. M., Anderson, N. J., Kopáček, J., Stuchlík, E., Schmidt, R., Koinig, K. A., Camarero, L., Flower, R. J., Heiri, O., Kamenik, C., Korhola, A., Leavitt, P. R., Psenner, R., & Renberg, I. (2013). Global change revealed by palaeolimnological records from remote lakes: A review. *Journal of Paleolimnology*, 49(3), 513–535. <https://doi.org/10.1007/s10933-013-9681-2>
- Hamilton, A. J. (2005). Species diversity or biodiversity? *Journal of Environmental Management*, 75(1), 89–92. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.11.012>
- Jiménez, L., Rühland, K. M., Jeziorski, A., Smol, J. P., & Pérez-Martínez, C. (2018). Climate change and Saharan dust drive recent cladoceran and primary production changes in remote alpine lakes of Sierra Nevada, Spain. *Global Change Biology*, 24(1), e139–e158. <https://doi.org/10.1111/gcb.13878>
- Liang, D., Wang, Q., Wei, N., Tang, C., Sun, X., & Yang, Y. (2020). Biological indicators of ecological quality in typical urban river-lake ecosystems: The planktonic rotifer community and its response to environmental factors. *Ecological Indicators*, 112(January), 106127. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106127>
- Morales-Baquero, R. (1987). Rotifer fauna of lakes and ponds over 2500 m above sea level in the Sierra Nevada, Spain, with description of a new subspecies. *Hydrobiologia*, 147(1), 97–101. <https://doi.org/10.1007/BF00025731>
- Morales-Baquero, R., Carrillo, P., Cruz-Pizarro, L., & Sanchez-Castillo, P. (1992). Southernmost High Mountain Lakes in Europe (Sierra Nevada) As Reference Sites for Pollution and Climate Change. *Limnetica*, 8, 39–47. [http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne08/L08u039\\_Sierra\\_Nevada\\_lakes\\_reference\\_sites.pdf](http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne08/L08u039_Sierra_Nevada_lakes_reference_sites.pdf)
- Morales-Baquero, R., Cruz-Pizarro, L., & Carrillo, P. (1989). Patterns in the composition of the rotifer communities from high mountain lakes and ponds in Sierra Nevada (Spain). *Hydrobiologia*, 186–187(1), 215–221. <https://doi.org/10.1007/BF00048915>
- Morales-Baquero, Rafael, Pérez-Martínez, C., Ramos-Rodríguez, E., Sánchez-Castillo, P., Villar-Argaiz, M., & Conde-Porcuna, J. M. (2019). Zooplankton advective losses may affect chlorophyll-a concentrations in fishless high-mountain lakes. *Limnetica*, 38(1), 55–65. <https://doi.org/10.23818/limn.38.12>
- Morales Baquero, R. (1985). *Estudio de las Comunidades de Rotíferos Monogontes de las Lagunas de Alta Montaña de Sierra Nevada*.
- Moser, K. A., Baron, J. S., Brahney, J., Oleksy, I. A., Saros, J. E., Hundey, E. J., Sadro, S. A., Kopáček, J., Sommaruga, R., Kainz, M. J., Strecker, A. L., Chandra, S., Walters, D. M., Preston, D. L.,

- Michelutti, N., Lepori, F., Spaulding, S. A., Christianson, K. R., Melack, J. M., & Smol, J. P. (2019). Mountain lakes: Eyes on global environmental change. *Global and Planetary Change*, 178(November 2018), 77–95. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.04.001>
- Müller, B., Lotter, A. F., Sturm, M., & Ammann, A. (1998). Influence of catchment quality and altitude on the water and sediment composition of 68 small lakes in Central Europe. *Aquatic Sciences*, 60(4), 316–337. <https://doi.org/10.1007/s000270050044>
- Nürnberg, G. K. (1996). Trophic state of clear and colored, soft- and hardwater lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish. *Lake and Reservoir Management*, 12(4), 432–447. <https://doi.org/10.1080/07438149609354283>
- Oh, H. J., Jeong, H. G., Nam, G. S., Oda, Y., Dai, W., Lee, E. H., Kong, D., Hwang, S. J., & Chang, K. H. (2017). Comparison of taxon-based and trophi-based response patterns of rotifer community to water quality: applicability of the rotifer functional group as an indicator of water quality. *Animal Cells and Systems*, 21(2), 133–140. <https://doi.org/10.1080/19768354.2017.1292952>
- Pérez-Martínez, C., Conde-Porcuna, J. M., Moreno, E., Ramos-Rodríguez, E., & Jiménez, L. (2020). Cladoceran assemblage distribution in shallow alpine lakes of Sierra Nevada (Spain) and its relationship with environmental variables. *Aquatic Sciences*, 82(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s00027-019-0677-5>
- Ramos-Rodríguez, E., & Conde-Porcuna, J. M. (2004). Impact of copepod predation on the fecundity of *Keratella cochlearis* (Rotifera). *Archiv Fur Hydrobiologie*, 161(4), 541–552. <https://doi.org/10.1127/0003-9136/2004/0161-0541>
- Ricklefs, R. E. (1987). Community Diversity : Relative Roles of Local and Regional Processes  
Author ( s ): Robert E . Ricklefs Published by : American Association for the Advancement of Science Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/1698957> . *Science*, 235(4785), 167–171.
- Rogora, M., Frate, L., Carranza, M. L., Freppaz, M., Stanisci, A., Bertani, I., Bottarin, R., Brambilla, A., Canullo, R., Carbognani, M., Cerrato, C., Chelli, S., Cremonese, E., Cutini, M., Di Musciano, M., Erschbamer, B., Godone, D., Iocchi, M., Isabellon, M., ... Matteucci, G. (2018). Assessment of climate change effects on mountain ecosystems through a cross-site analysis in the Alps and Apennines. *Science of the Total Environment*, 624, 1429–1442. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.155>
- Rosa Miracle, M. (1978). Composición específica de las comunidades zooplanctónicas de 153 lagos de los Pirineos y su interés biogeográfico. *Oecologia Aquatica*, 3, 167–191.
- Tolotti, M., Manca, M., Angeli, N., Morabito, G., Thaler, B., Rott, E., & Stuchlik, E. (2006). Phytoplankton and zooplankton associations in a set of Alpine high altitude lakes: Geographic distribution and ecology. *Hydrobiologia*, 562(1), 99–122. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1807-8>
- Villar-Argaiz, M., Medina-Sánchez, J. M., & Carrillo, P. (2002). Microbial plankton response to contrasting climatic conditions: Insights from community structure, productivity and fraction stoichiometry. *Aquatic Microbial Ecology*, 29(3), 253–266. <https://doi.org/10.3354/ame029253>
- Zaharescu, D. G., Burghilea, C. I., Hooda, P. S., Lester, R. N., & Palanca-Soler, A. (2016). Small lakes in big landscape: Multi-scale drivers of littoral ecosystem in alpine lakes. *Science of the Total Environment*, 551–552(April 2006), 496–505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.066>

Zamora, R., Pérez-Luque, A. J., Bonet, F. J., Barea-Azcón, J. M., Aspizua, R., Sánchez-Gutiérrez, F. J., Cano-Manuel, F. J., Ramos-Losada, B., & Henares-Civantos, I. (2017). Global Change Impact in the Sierra Nevada Long-Term Ecological Research Site (Southern Spain). *The Bulletin of the Ecological Society of America*, 98(2), 157–164. <https://doi.org/10.1002/bes2.1308>

**ANEXO**

**Tabla 1.** Datos ambientales de las lagunas estudiadas de Sierra Nevada.

| Valle | Laguna   | Código | Entrada visible | Salida visible | Laguna cerrada /abierta | Clorofila-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) | PT ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) | PD ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) | NT (mg L-1) | ND (mg L-1) | Profundidad (m) | Conductividad ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) | pH   | Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|-------|--|--------|-----------------|----------------|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-----------------|---|------|------------------------------------|
| Dílar | Lagunillo Grande de la Virgen                                      | D-2    | S               | S              | A                       | 0,5                                  | 13,2                        | 19,1                        | 3,21        | 3,08        | 1,4             | 88,3                                    | 8,29 | 14,6                               |
| Dílar | Lagunillo de la Virgen que drena aguas abajo de las Yeguas         | D-3    | N               | N              | A                       | 0,4                                  | 8,7                         | 8,1                         | 2,88        | 2,74        | 1,5             | 69,7                                    | 7,96 | 22,3                               |
| Dílar | Lagunillo Misterioso   | D-4    | S               | S              | A                       | 0                                    | 4,5                         | 5,7                         | 3,27        | 3,53        | 2               | 89,3                                    |      | 3,4                                |
| Dílar | Lagunillo Bajo de la Ermita  | D-5    | S               | S              | A                       | 0,8                                  | 9,4                         | 5,4                         | 3,89        | 3,53        | 0,3             | 81,3                                    |      | 11,7                               |
| Dílar | Lagunillo Medio de la Ermita                                       | D-6    | S               | S              | A                       | 0,6                                  | 4,8                         | 1,8                         | 3,28        | 2,92        | 0,5             | 48,4                                    |      | 15,4                               |
| Dílar | Lagunillo Alto de la Ermita  | D-7    | N               | N              | A                       | 1,3                                  | 32,1                        | 16,3                        | 3,56        | 3,03        | 0,7             | 50,6                                    |      | 21,7                               |
| Dílar | Charca de la Ermita  | D-8    | N               | S              | A                       | 3,6                                  | 8,6                         | 4,8                         | 2,52        | 2,55        | 0,5             | 37                                      |      | 14,6                               |
| Dílar | Lagunillo de la Virgen tributario a la laguna de las Yeguas (Alto) | D-9    | S               | S              | A                       | 0,5                                  | 6,4                         | 8                           | 2,72        | 2,69        | 0,4             | 65,5                                    |      | 19,8                               |

Tabla 1. Continuación.

| Valle  | Laguna   | Código | Entrada visible | Salida visible | Laguna cerrada /abierta | Clorofila-a (µg L-1) | PTlaguna (µg L-1) | PDlaguna (µg L-1) | NTlaguna (mg L-1) | NDlaguna (mg L-1) | Profundidad (m) | Conductividad (µS cm- 1) | pH   | Temperatura (°C) |
|--------|--|--------|-----------------|----------------|-------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|------|------------------|
| Dílar  | Lagunillo de la Virgen tributario a la laguna de las Yeguas (Bajo) | D-10   | S               | S              | A                       | 5,5                  | 30,1              | 7,8               | 3,65              | 2,75              | 0,3             | 62,8                     |      | 21,3             |
| Dílar  | Laguna del Carnero   | DU-2   | S               | S              | A                       | 1,7                  | 45                | 34,7              | 4                 | 4,01              | 0,5             | 67,1                     | 9,2  | 23,6             |
| Dúrcal | Lagunillo del Puesto del Cura                                      | DU-1   | S               | S              | A                       | 0,1                  | 13,2              | 19,1              | 1,5               | 2,1               | 1,5             | 7,6                      | 8,75 | 6,3              |
| Genil  | Laguna Larga   | G-1    | N               | N              | C                       | 0,9                  | 1,8               | 2,1               | 1,67              | 2,01              | 12              | 19                       | 7,26 | 17,25            |
| Genil  | Laguna de la Gabata  | G-2    | S               | S              | A                       | 0,1                  | 6,4               | 4,6               | 2,23              | 3,14              | 1,5             | 30                       | 6,65 | 8,36             |
| Genil  | Lagunillo Bajo del Valdeinfierro                                   | G-3    | S               | S              | A                       | 1,1                  | 9,1               | 6,3               | 2,91              | 3,03              | 0,3             | 46                       | 6,98 | 7,95             |
| Genil  | Lagunillo Alto del Valdeinfierro                                   | G-4    | S               | S              | A                       | 0,3                  | 17,1              | 8,8               | 3,2               | 3,14              | 0,3             | 28                       | 6,52 | 6,38             |
| Genil  | Laguna del Corral  | G-5    | N               | N              | C                       | 0,4                  | 6,1               | 3,9               | 2,79              | 3,12              | 4,9             | 124,1                    | 4,9  | 10,1             |
| Genil  | Lagunillo Alto del Corral  | G-6    | N               | N              | C                       | 0,6                  | 20,9              | 6,6               | 1,63              | 0,43              | 7,1             | 3,5                      | 7,1  | 8,2              |



**Tabla 1.** Continuación.

| Valle    | Laguna                                 | Código | Entrada visible | Salida visible | Laguna cerrada /abierta | Clorofila-a (µg L-1) | PTlaguna (µg L-1) | PDlaguna (µg L-1) | NTlaguna (mg L-1) | NDlaguna (mg L-1) | Profundidad (m) | Conductividad (µS cm- 1) | pH   | Temperatura (°C) |
|----------|--|--------|-----------------|----------------|-------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|------|------------------|
| Genil    | Lagunillo Bajo del Corral              | G-7    | N               | N              | C                       | 0,9                  | 34,8              | 4,1               | 1,95              | 1,57              | 6,7             | 5,2                      | 6,7  | 5                |
| Genil    | Laguna de la Mosca                     | G-8    | S               | S              | A                       | 1                    | 8,6               | 4,6               | 3,65              | 3,62              | 3               | 71,4                     | 9,21 | 11,5             |
| Genil    | Lagunillo de los Lavaderos de la Reina | J-5    | N               | N              | C                       | 3,4                  | 18,3              | 12,8              | 3,2               | 2,72              | 0,3             | 24                       | 6,94 | 18,25            |
| Genil    | Laguna de los Lavaderos de la Reina    | J-6    | N               | N              | A                       | 1,7                  | 13,3              | 83,6              | 3,4               | 3,16              | 0,3             | 51                       | 6,66 | 15,9             |
| Lanjarón | Laguna del Caballo                     | L-1    | N               | N              | C                       | 0,7                  | 9,9               | 7,1               | 0,35              | 0,72              | 5               | 0                        | 6,39 | 16,99            |
| Lanjarón | Laguna Cuadrada                        | L-3    | N               | N              | C                       | 0,9                  | 14,5              | 5,1               | 0,16              | 0,69              | 5               | 17,89                    | 5,91 | 17,5             |
| Lanjarón | Lagunillo de Charca Pala               | L-6    | N               | S              | A                       | 2,9                  | 29,2              | 9,4               | 1,65              | 1,08              | 1               | 16,03                    | 6,45 | 18,8             |
| Lanjarón | Lagunillo de Lanjarón                  | L-7    | S               | S              | A                       | 0,4                  | 11,21             | 6,8               | 0,58              | 0,16              | 0,5             | 10,57                    | 7,8  | 14,1             |
| Lanjarón | Laguna de Lanjarón                     | L-8    | N               | N              | A                       | 0,9                  | 20,9              | 4                 | 0,51              | 0,3               | 3,2             | 9,55                     | 5,03 | 17,5             |
| Poqueira | Charca del Veleta                      | P-1    | N               | N              | A                       | 0,3                  | 13,8              | 4                 | 3,11              | 2,33              | 0,5             | 13                       | 7,14 | 14,3             |
| Poqueira | Laguna de Aguas Verdes                 | P-2    | S               | S              | A                       | 0,7                  | 11                | 2,7               | 4,41              | 3,2               | 1,5             | 30                       | 6,56 | 12,92            |

**Tabla 1.** Continuación.

| Valle    | Laguna                     | Código | Entrada visible | Salida visible | Laguna cerrada /abierta | Clorofila-a (µg L-1) | PTlaguna (µg L-1) | PDlaguna (µg L-1) | NTlaguna (mg L-1) | NDlaguna (mg L-1) | Profundidad (m) | Conductividad (µS cm- 1) | pH   | Temperatura (°C) |
|----------|----------------------------|--------|-----------------|----------------|-------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|------|------------------|
| Poqueira | Lagunillo Bajo del Pulpito | P-4    | S               | S              | A                       | 0,6                  | 6,6               | 2,7               | 2,56              | 2,62              | 0,5             | 19                       | 6,33 | 16,44            |
| Poqueira | Laguna de las Cabras       | P-5    | S               | N              | A                       | 2,1                  | 22,4              | 16,1              | 2,54              | 2,73              | 0,5             | 5                        | 6,25 | 19,28            |
| Poqueira | Laguna del Majano          | P-6    | S               | S              | A                       | 1,7                  | 8,3               | 3,5               | 3,37              | 3,55              | 0,15            | 49                       | 8,69 | 21,75            |
| Poqueira | Lagunillo del Majano       | P-7    | S               | N              | A                       | 2,2                  | 6                 | 7,6               | 2,15              | 2,06              | 1               | 43                       | 8,04 | 17,25            |
| Poqueira | Laguna de la Caldera       | P-8    | N               | N              | C                       | 1,1                  | 3                 | 4                 | 1,96              | 1,81              | 3               | 28                       | 7,83 | 17,7             |
| Poqueira | Lagunillo Alto de Río Seco | RS-1   | N               | N              | C                       | 0,5                  | 22,1              | 6,3               | 1,93              | 0,86              | 2,5             | 67,5                     |      | 16,5             |
| Poqueira | Lagunillo Bajo de Río Seco | RS-2   | N               | N              | A                       | 2,1                  | 22,4              | 11                | 1,39              | 1,73              | 1               | 13,1                     | 7,9  | 24,1             |
| Poqueira | Laguna de Río Seco         | RS-3   | N               | N              | A                       | 0,8                  | 25,5              | 12,7              | 1,37              | 1,87              | 2,9             | 14,68                    |      | 14,2             |
| Poqueira | Laguna Baja de Río Seco    | RS-4   | N               | N              | C                       | 6,6                  | 47,3              | 10,9              | 1,92              | 1,31              | 0,5             | 4                        | 6,77 | 32,17            |
| Trevélez | Lagunillo Altero           | SL-1   | N               | N              | C                       | 3,1                  | 13,5              | 2,8               | 2,27              | 1,86              | 0,25            | 3                        | 5,67 | 15,69            |
| Trevélez | Laguna Altera              | SL-2   | S               | N              | A                       | 1,6                  | 5,9               | 6,5               | 2,37              | 2,2               | 0,5             | 4                        | 6,35 | 14,45            |
| Trevélez | Laguna de Tajos Coloraos   | SL-4   | S               | N              | A                       | 0,9                  | 8,1               | 3,6               | 2,11              | 1,81              | 2               | 6                        | 6,26 | 15,28            |

**Tabla 1.** Continuación.

| Valle    | Laguna                             | Código | Entrada visible | Salida visible | Laguna cerrada /abierta | Clorofila-a (µg L-1) | PTlaguna (µg L-1) | PDlaguna (µg L-1) | NTlaguna (mg L-1) | NDlaguna (mg L-1) | Profundidad (m) | Conductividad (µS cm- 1) | pH   | Temperatura (°C) |
|----------|------------------------------------|--------|-----------------|----------------|-------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|------|------------------|
| Trevélez | Laguna de la Loma de Culo de Perro | SL-6   | N               | N              | A                       | 0,5                  | 4,7               | 1,4               | 2,58              | 2,33              | 0,5             | 27                       | 6,55 | 15,85            |
| Trevélez | Laguna del Borreguil               | SL-7   | S               | N              | A                       | 2,7                  | 2,5               | 0,8               | 2,21              | 1,9               | 3               | 11                       | 6,51 | 14,98            |
| Trevélez | Lagunillo del Borreguil            | SL-8   | S               | S              | A                       | 0,3                  | 4,4               | 3,3               | 2,76              | 2,49              | 0,5             | 37                       | 6,78 | 8,71             |
| Trevélez | Laguna Hondera                     | SL-9   | S               | S              | A                       | 0,2                  | 3,2               | 1,1               | 2,45              | 2,6               | 1               | 30                       | 6,65 | 10,3             |
| Trevélez | Lagunillo de Peñón Negro           | SL-10  | S               | S              | A                       | 0,4                  | 4,3               | 1,6               | 2,21              | 2,02              | 1               | 1                        | 5,81 | 8,79             |
| Trevélez | Laguna de Peñón Negro              | SL-11  | N               | S              | A                       | 1,7                  | 108,7             | 6,8               | 4,42              | 2,36              | 4               | 25                       | 8,97 | 17,8             |
| Trevélez | Laguna Baja de las Calderetas      | V-1    | N               | N              | C                       | 26,7                 | 62                | 29,6              | 3,22              | 3,8               | 0,5             | 38                       | 6,28 | 21,05            |
| Trevélez | Laguna Media de las Calderetas     | V-2    | N               | N              | A                       | 1,3                  | 9,2               | 6,5               | 2,71              | 2,58              | 3               | 11                       | 7,2  | 19,41            |
| Trevélez | Laguna Alta de las Calderetas      | V-3    | S               | S              | A                       | 1,3                  | 7                 | 3                 | 2,29              | 2,96              | 3               | 10                       | 6,5  | 18               |

**Tabla 1.** Continuación.

| Valle    | Laguna                     | Código | Entrada visible | Salida visible | Laguna cerrada /abierta | Clorofila-a (µg L-1) | PTlaguna (µg L-1) | PDlaguna (µg L-1) | NTlaguna (mg L-1) | NDlaguna (mg L-1) | Profundidad (m) | Conductividad (µS cm- 1) | pH   | Temperatura (°C) |
|----------|----------------------------|--------|-----------------|----------------|-------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|------|------------------|
| Trevélez | Laguna de Vacares          | V-4    | N               | N              | C                       | 1,3                  | 4,7               | 1,6               | 1,36              | 1,57              | 5               | 10                       | 6,06 | 16,83            |
| Trevélez | Lagunillo Alto del Goterón | V-5    | N               | N              | C                       | 2,2                  | 12,9              | 7,4               | 2,23              | 2,23              | 0,5             | 2                        | 6,15 | 17,8             |
| Trevélez | Lagunillo de Juntillas     | J-3    | S               | S              | A                       | 1,6                  | 10,8              | 6,8               | 2,06              | 2,4               | 0,5             | 12,6                     | 8,17 | 14,1             |
| Trevélez | Laguna de Juntillas        | J-4    | S               | S              | A                       | 0,5                  | 7,9               | 7,4               | 2,39              | 2,41              | 1,5             | 24,9                     |      | 16,4             |

Abreviaturas: PT, fósforo total; PD, fósforo disuelto; NT, nitrógeno total; ND, nitrógeno disuelto.

**Tabla 2.** Listado de especies de rotíferos encontradas en las lagunas muestreadas.

| Laguna | Notholca squamula | Euchlanis dilatata | Trichotria tetricas | Colurella obtusa | Lepadella patella | Lecane flexilis | Lecane furcata | Lecane closterocerca | Lecane bulla | Cephalodella gibba | Trichocerca relictata | Trichocerca rattus | Polyarthra sp | Hexarthra sp | Keratella cochlearis | Brachionus quadridentatus |
|--------|-------------------|--------------------|---------------------|------------------|-------------------|-----------------|----------------|----------------------|--------------|--------------------|-----------------------|--------------------|---------------|--------------|----------------------|---------------------------|
| D-2    | X                 | X                  |                     |                  |                   |                 |                |                      |              | X                  |                       |                    |               |              |                      |                           |
| D-3    | X                 | X                  |                     |                  | X                 |                 |                |                      |              | X                  |                       |                    |               |              |                      |                           |
| D-4    |                   | X                  |                     |                  | X                 |                 |                |                      |              |                    |                       |                    |               |              |                      |                           |
| D-5    | X                 | X                  |                     |                  | X                 |                 |                |                      |              |                    |                       |                    |               |              |                      |                           |
| D-6    |                   | X                  |                     |                  | X                 |                 |                |                      |              | X                  |                       |                    |               |              |                      |                           |
| D-7    |                   | X                  |                     |                  | X                 |                 |                |                      |              |                    |                       |                    |               | X            |                      |                           |
| D-8    |                   | X                  | X                   |                  | X                 | X               |                |                      |              | X                  |                       |                    |               |              |                      |                           |
| D-9    |                   | X                  |                     |                  |                   |                 | X              | X                    |              | X                  |                       |                    |               |              |                      |                           |
| D-10   | X                 | X                  |                     |                  |                   |                 |                |                      |              |                    |                       | X                  |               |              |                      |                           |
| DU-2   |                   |                    |                     |                  | X                 | X               | X              |                      |              |                    |                       |                    |               |              |                      | X                         |
| DU-1   | X                 |                    |                     |                  |                   |                 |                |                      |              |                    |                       |                    |               |              |                      |                           |
| G-1    |                   |                    |                     |                  |                   | X               |                | X                    | X            |                    |                       |                    |               |              |                      |                           |
| G-2    | X                 |                    |                     |                  |                   |                 |                |                      |              |                    |                       |                    |               |              |                      |                           |
| G-3    | X                 | X                  |                     |                  |                   | X               |                |                      |              | X                  |                       |                    |               |              |                      |                           |
| G-4    | X                 |                    |                     |                  |                   |                 |                |                      |              |                    |                       |                    |               |              |                      |                           |
| G-5    |                   |                    |                     |                  |                   |                 |                |                      |              |                    |                       |                    |               |              |                      |                           |
| G-6    |                   |                    |                     |                  |                   |                 |                |                      |              |                    |                       |                    |               |              |                      |                           |
| G-8    |                   |                    |                     |                  |                   |                 |                |                      |              |                    |                       |                    |               |              | X                    |                           |
| J-5    |                   | X                  |                     |                  |                   | X               | X              | X                    |              |                    |                       |                    |               |              |                      |                           |
| J-6    |                   |                    |                     |                  |                   | X               |                |                      |              | X                  |                       |                    |               |              |                      |                           |
| L-1    |                   |                    |                     |                  |                   |                 |                |                      |              |                    |                       |                    |               | X            |                      |                           |
| L-3    |                   |                    |                     |                  |                   |                 |                |                      |              |                    |                       |                    |               |              |                      |                           |
| L-6    |                   |                    |                     |                  | X                 |                 |                |                      |              |                    |                       |                    |               |              |                      |                           |
| L-7    |                   |                    |                     |                  |                   |                 |                |                      |              |                    |                       |                    |               |              |                      |                           |
| L-8    |                   | X                  |                     |                  | X                 |                 |                |                      |              |                    |                       |                    | X             | X            |                      |                           |
| P-1    |                   |                    |                     |                  |                   |                 |                |                      |              |                    |                       |                    |               |              |                      |                           |
| P-2    |                   |                    |                     |                  | X                 |                 |                |                      |              |                    |                       |                    |               | X            |                      |                           |

