



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

Trabajo Final de Máster

Máster en Ecología, Gestión y Restauración del Medio Natural

**Caracterización de la comunidad de  
macroinvertebrados en 4 lagunas costeras  
de nueva creación en el Baix Penedés**

Autor

---

**Miguel Angel Redañez Saavedra**

Tutor

---

**Margarita Menéndez López**  
*Universidad de Barcelona*

Departamento de Biología Evolutiva, Ecología y Ciencias Ambientales de la  
Universidad de Barcelona  
Facultad de Biología  
Curso 2021/2022

Barcelona, 15 de setiembre de 2022



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

Trabajo Final de Máster

Máster en Ecología, Gestión y Restauración del Medio Natural

**Caracterización de la comunidad de  
macroinvertebrados en 4 lagunas costeras  
de nueva creación en el Baix Penedés**

---

**Firma autor: Miguel Angel Redañez Saavedra**

---

**Firma tutor: Margarita Menéndez López**

*Universidad de Barcelona*

Departamento de Biología Evolutiva, Ecología y Ciencias Ambientales de la  
Universidad de Barcelona  
Facultad de Biología  
Curso 2021/2022

Barcelona, 15 de setiembre de 2022

## **Abstract**

This study consisted of the characterization and temporal monitoring of four coastal lagoons located in the wetland area called "Las Madrigueras", located in the municipality of El Vendrell, province of Tarragona, in the Autonomous Community of Catalonia, on the coast of the Mediterranean Sea. This natural space has undergone drastic anthropic changes over the years. Nowadays, the lagoons have an ecological function based on the establishment of coastal vegetation and access to avifauna as a refuge or food source. The methodology consisted of field work and laboratory analysis to obtain information to characterize the lagoons.

In relation to the characterization of the lagoons, it was determined that the physical and chemical variables of the water would be explained by climatic variables, mainly by precipitation and environmental temperature; in addition, hydrology would have an important role in lagoons A and C. Likewise, it was shown that the dynamics of dissolved nutrients would be explained mainly by external inputs, whether they come from precipitation (surface runoff) or by seawater exchange or contribution of groundwater. Regarding the macroinvertebrate community, according to the redundancy analysis, lagoon A presented the most differentiated macroinvertebrate community compared to the other lagoons, mainly represented by crustacean species, which are explained by the higher values of electrical conductivity (higher salinity).

The follow-up with respect to a previous study performed in the period 2018 - 2019 showed that the lagoons have undergone changes over time, mainly with a decrease in salinity and a change in the macroinvertebrate community in Lagoon A; as well as, a succession of macrophytes in Lagoon PERM.

## **Resumen**

Este estudio consistió en realizar la caracterización y el seguimiento temporal de cuatro lagunas costeras ubicadas en la zona húmeda denominada "Las Madrigueras", situadas en el municipio de El Vendrell, provincia de Tarragona, en la comunidad Autónoma de Cataluña, en el litoral del mar Mediterráneo. Este espacio natural ha sufrido cambios antrópicos drásticos a través de los años. Hoy en día, las lagunas tienen una función ecológica basada en el establecimiento de la vegetación litoral y el acceso a la avifauna como refugio o fuente de alimentación. La metodología consistió en un trabajo de campo y análisis en laboratorio que permitió obtener información para caracterizar las lagunas.

En relación a la caracterización de las lagunas, se determinó que las variables físicas y químicas del agua estarían explicadas por las variables climáticas, principalmente por la precipitación y la temperatura ambiental; además, la hidrología tendría un rol importante en las lagunas A y C. Asimismo, se demostró que la dinámica de los nutrientes disueltos estaría explicada principalmente por los aportes externos, sean estos provenientes de las precipitaciones

(escorrentía superficial) o por el intercambio de agua de mar o aporte del freático. En lo que respecta a la comunidad de macroinvertebrados, según el análisis de la redundancia, la laguna A es la que presentó la comunidad de macroinvertebrados más diferenciada en comparación con las otras lagunas, representada mayoritariamente por especies de crustáceos que se explican por los valores más altos de conductividad eléctrica (mayor salinidad).

El seguimiento respecto a un estudio anterior realizado en el período 2018 – 2019 demostró que las lagunas han sufrido cambios con el paso del tiempo, principalmente con una disminución de la salinidad y un cambio de la comunidad de macroinvertebrados en la laguna A; así como, una sucesión de macrófitos en la laguna PERM.

# CONTENIDO

1. Introducción .....	1
1.1. Área de estudio .....	3
2. Objetivos .....	5
3. Metodología .....	5
3.1. Trabajo de campo .....	5
3.1.1. Información recabada y mediciones realizadas <i>in situ</i> .....	5
3.1.2. Toma de muestras de agua .....	6
3.1.3. Colecta de macroinvertebrados acuáticos .....	6
3.2. Análisis de laboratorio .....	7
3.2.1. Determinación de nutrientes disueltos .....	7
3.2.2. Identificación y conteo de macroinvertebrados .....	7
3.3. Análisis estadísticos .....	7
4. Resultados .....	8
4.1. Datos meteorológicos .....	8
4.2. Parámetros físicos y químicos del agua .....	9
4.2.1. Temperatura .....	9
4.2.2. Conductividad eléctrica .....	9
4.2.3. pH .....	10
4.2.4. Porcentaje de saturación de oxígeno .....	11
4.3. Nutrientes disueltos en el agua .....	12
4.3.1. Amonio .....	12
4.3.2. Nitrato .....	13
4.3.3. Fosfato .....	14
4.4. Variable biológica: Macroinvertebrados .....	15
4.4.1. Abundancia relativa .....	15
4.4.2. Riqueza de macroinvertebrados .....	19
4.4.3. Anàlisis estadístico .....	20
5. Discusión .....	21
5.1. Parámetros físicos y químicos del agua .....	21
5.2. Nutrientes disueltos en el agua .....	22
5.3. Abundancia relativa y riqueza de macroinvertebrados .....	24
5.4. Comparación entre el período 2018-2019 y 2021-2022 .....	25
6. Conclusiones .....	27
7. Lista de referencias bibliográficas .....	29

<b>Anexos</b> .....	32
<b>Anexo 1:</b> .....	32
<b>Anexo 2:</b> .....	33
<b>Anexo 3:</b> .....	40
<b>Anexo 4:</b> .....	44
<b>Anexo 6:</b> .....	46
<b>Anexo 7:</b> .....	47
<b>Anexo 8:</b> .....	53

# 1. Introducción

Las lagunas costeras se definen como cuerpos de agua situados en el litoral marino, de agua somera (con menos de 3 m de profundidad), se separan del mar por una barrera arenosa y tienen pendientes muy planas (inferiores al 3%) (Ambrosio et al., 2002). Sus aguas tienen salinidad variable, dado que hay influencia tanto de las aguas marinas como de las aguas continentales superficiales o subterráneas que alimentan estas lagunas (Soria & Sahuquillo, 2009).

Respecto a la biodiversidad que habita en estos ambientes, resulta importante mencionar que, los humedales costeros se caracterizan por presentar una baja diversidad alfa (a escala local o en cada laguna), pero presentan una alta diversidad gamma (escala regional o la suma de sitios con condiciones ambientales variadas) (Whittaker, 1960). Por otra parte, según Valiela (2006), muchas lagunas costeras del Mediterráneo se degradan debido a las transformaciones de los usos del suelo y los vertidos continuos de contaminantes de las actividades humanas continentales.

La hidrología es una de las variables más importantes a considerar para la restauración de humedales costeros (Flores-Verdugo et al., 2007). En general, la hidrología de las lagunas costeras, tiene entradas de agua irregulares y súbitas, coincidiendo con perturbaciones hídricas como temporales de mar, precipitaciones intensas o riadas (Quintana, 2002); además, pueden tener salidas de agua como flujos con dirección al mar, evapotranspiración o alimentación a otros acuíferos (Ambrosio et al., 2002). Esta hidrología típicamente mediterránea, con entradas puntuales y largos períodos sin entradas de agua, condiciona la dinámica de nutrientes de estos ecosistemas (Quintana et al., 2004).

Las entradas de nitrógeno y fósforo de las lagunas costeras mediterráneas coinciden con las entradas de agua, mientras que, durante el confinamiento (periodos de estabilidad sin entradas de agua), las aportaciones de nutrientes son prácticamente inexistentes, de manera que el sistema tiende a una cierta oligotrofia (Quintana et al., 2004). A su vez, bajo condiciones de confinamiento (sin entradas de agua) el nitrógeno inorgánico es transferido a la atmósfera por el proceso de desnitrificación, de manera que las concentraciones de nitrógeno inorgánico son muy bajas, por el contrario, el fósforo tiende a acumularse. A este proceso, se le ha denominado confinamiento diferencial de los nutrientes (Quintana et al., 1998).

En lo que respecta a las entradas de agua dulce en las lagunas costeras, sea este procedente de escorrentías naturales o surgencias de aguas subterráneas, se conoce que, si bien estos reducen la salinidad, también aportan nutrientes, mayoritariamente nitrógeno en forma de nitratos, lo cual suele provocar un incremento del grado de eutrofia de las lagunas receptoras, las cuales habitualmente son pobres en nitrógeno (Quintana et al., 2004). De esta manera, la concentración de nitratos nos da una idea de las condiciones de circulación del agua, dado que es un indicativo de la entrada de agua en las lagunas (Quintana et al., 1999).

El presente trabajo pretende caracterizar cuatro lagunas costeras ubicadas en la zona húmeda denominada “Las Madrigueras”, o en catalán, "Les Madrigueres", situado en el Baix Penedés en el litoral del mar Mediterráneo, con una superficie aproximada de 30 hectáreas, el mismo que abarca los terrenos inundables adyacentes a la Riera de la Bisbal. La riera de la Bisbal presenta una cuenca de 190 km<sup>2</sup> que durante la mayor parte del año permanece seca (Carulla & Albalat, 2008). Originariamente, la Riera de la Bisbal desembocaba aproximadamente a unos 500 metros más al este de la desembocadura actual, en la playa de Las Madrigueras, el cauce fue desviado más al oeste en los años 60, a causa de un proyecto de urbanización iniciado en la zona. Hoy en día, el cauce de la Riera de la Bisbal tiene una trayectoria perpendicular a la línea costera y desemboca entre las playas de Sant Salvador y de Las Madrigueras (Ver Anexo 1).

En la actualidad, el espacio natural de “Las Madrigueras” sigue sin estar urbanizado, de hecho, es uno de los últimos parajes sin urbanizar de la costa del Penedès, gracias a que desde el año 1993, el Grupo Ecologista de El Vendrell y del Baix Penedès (en lo sucesivo, **GEVEN**) ha sumado esfuerzos para preservar este espacio. No obstante, a pesar de los esfuerzos del GEVEN, el espacio natural ha sufrido cambios drásticos a través de los años (Vilanova, 2017), dejando de ser un espacio destinado para la agricultura hasta experimentar el incremento de la ocupación urbanística en los alrededores; asimismo, se han dado en el pasado incumplimientos del Plan Especial de Protección aprobado en el año 2006 por parte de la Comisión Territorial de Urbanismo de la provincia de Tarragona. Los incumplimientos del Plan Especial fueron: presencia de establecimientos destinados al ocio en el espacio dunar, aparcamientos, paso de tractores para el mantenimiento y limpieza de las playas, y acumulación de residuos en diferentes puntos del espacio.

En el año 2015, la Generalitat de Catalunya y el Ayuntamiento de El Vendrell, concedieron al GEVEN una financiación para ejecutar actuaciones en los espacios naturales protegidos de Cataluña. Este financiamiento permitió la primera actuación de naturalización de “Las Madrigueras”, creando una primera laguna litoral. Posteriormente, a finales del año 2017, la Dirección General de Costas y el Mar del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, ejecutó la excavación de tres lagunas adicionales, esto como medida compensatoria a la realización de un proyecto de construcción de un puente peatonal ubicado en la Riera de Bisbal.

Hoy en día, existen cuatro lagunas litorales en el espacio, una excavada en el año 2015 y ampliada a inicios del año 2017, y las otras tres excavadas en el año 2017, estas últimas tuvieron problemas de diseño/creación, ya que la zona de ribera tenía una pendiente muy pronunciada, motivo por el cual fueron modificadas en diciembre del año 2018, logrando suavizar la pendiente, y de esta manera, se facilitó el establecimiento de la vegetación litoral y el acceso a la avifauna para que pudieran utilizar las lagunas como refugio o fuente de alimentación.

Como parte de la caracterización de las lagunas, se ha identificado y cuantificado la comunidad biológica de macroinvertebrados acuáticos. Estos organismos son ampliamente utilizados en ecosistemas acuáticos como bioindicadores, principalmente por tener una gran riqueza de especies con gran diversidad de respuestas a los gradientes o presiones ambientales, por su relativa inmovilidad o sedentarismo y porque son relativamente fáciles y económicos de muestrear (Domínguez & Fernández, 2009). Sumado a lo anterior, la presencia de macroinvertebrados es importante porque participan en el funcionamiento ecológico de las lagunas favoreciendo los procesos de descomposición de la materia orgánica; por lo tanto, contribuyen al ciclo de nutrientes y a la regulación de las comunidades de plantas acuáticas por herbivoría; asimismo, ocupan una posición intermedia en la cadena trófica, en la medida que se alimentan de algas y plantas (y sus detritos), pero también son consumidos por peces, anfibios, reptiles y aves (Batzler et al. 1999).

## **1.1. Área de estudio**

El área de estudio corresponde al espacio natural llamado “Las Madrigueras”, ubicado en el municipio de El Vendrell, provincia de Tarragona, en la comunidad Autónoma de Cataluña, España, cuya extensión es de aproximadamente 30 hectáreas. En este

espacio natural se sitúan las cuatro lagunas a estudiar. Las lagunas fueron denominadas de la siguiente manera: laguna A, laguna B y laguna C (creadas en el año 2017 y ubicadas paralelamente a la línea de costa, en la parte más litoral del espacio) y la laguna PERM, denominada así por sus características hidrológicas permanentes en el tiempo (creada en el año 2015 y ubicada más alejada del litoral), a una distancia aproximada de 50 metros en dirección norte desde la laguna A (Fig. 1).



Figura 1. Zona de muestreo “Las Madrigueras”, ubicado en el Municipio de El Vendrell  
Elaboración propia a partir del Google Earth Pro.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las lagunas costeras en “Las Madrigueras”

Laguna	Coordenadas UTM (Datum ETRS89, Zona 31 N)	
	X	Y
A	378439.5	4560256
B	378574.5	4560257
C	378687.5	4560280
PERM	378359.5	4560334

Nota: Coordenadas referenciales al centro de cada laguna.

Respecto a la vegetación de las lagunas, cada una de ellas presenta amplia cobertura de macrófitos sumergidos que las caracterizan. La laguna PERM está cubierta en su totalidad por *Ruppia marítima* y *Potamogeton pectinatus*. En las lagunas A y B domina *Ruppia marítima*, aunque con menor cobertura que en la laguna PERM, y en la laguna C se observa una cobertura prácticamente total de *Chara hispida*. En lo referente a la vegetación emergida, todas ellas están rodeadas de un cinturón litoral de

*Phragmites australis* y *Typha angustifolia*; además, en la laguna C también se desarrolla *Salicornia herbácea*, en la parte sur más cercana al mar.

## 2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es caracterizar las cuatro lagunas costeras ubicadas en el espacio natural “Las Madrigueras”, en relación a las características físicas y químicas del agua, la concentración de nutrientes disueltos en el agua y la comunidad biológica de macroinvertebrados acuáticos.

Los objetivos específicos son:

- Conocer los cambios de las características físicas y químicas del agua en las cuatro lagunas costeras durante un período determinado de tiempo, en relación a las siguientes variables: pH, temperatura, conductividad eléctrica, concentración de oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno; así como, su relación con las condiciones ambientales (precipitación y temperatura) y su conectividad con otros ambientes acuáticos.
- Determinar analíticamente la concentración de nutrientes disueltos en el agua de las cuatro lagunas costeras, en relación a los siguientes nutrientes: amonio, nitrato y fosfato.
- Identificar y cuantificar la comunidad biológica de macroinvertebrados acuáticos en las cuatro lagunas costeras, a partir de descriptores de la estructura de la comunidad como abundancia y riqueza.
- Evaluar los cambios en el tiempo de las lagunas costeras realizando una comparación entre el estudio efectuado entre noviembre del 2018 y abril del 2019, y, el presente estudio efectuado entre noviembre del 2021 y abril del 2022.

## 3. Metodología

### 3.1. Trabajo de campo

#### 3.1.1. Información recabada y mediciones realizadas *in situ*

La información recabada *in situ* consistió en observar el estado actual de las lagunas (vegetación predominante y nivel de agua) y su interacción con el medio (condiciones climáticas y posibles intercambios de agua con las masas de agua circundantes). Adicionalmente, se recopilaron datos meteorológicos, utilizando como variables, el promedio mensual de temperatura ambiental y la precipitación acumulada mensual. La fuente de información meteorológica corresponde a los datos de RuralCat del Departamento de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Generalitat de Cataluña, con información comprendida desde el 1 de octubre del 2021 hasta el 31 de mayo del 2022, con lo que se cubre un mes previo y posterior al período de muestreo.

Para la caracterización física y química del agua, se utilizó un equipo multiparámetro marca HACH modelo HQ30D, el cual integraba sondas de medición directa de los siguientes parámetros: pH, temperatura (°C), conductividad eléctrica (mS/cm), oxígeno disuelto (mg/L) y porcentaje de saturación (%). Las fechas exactas de las mediciones y toma de muestras pueden consultarse en el Anexo 1. Tabla 1.1.

### **3.1.2. Toma de muestras de agua**

Las muestras de agua fueron filtradas a través de un filtro de fibra de vidrio Whatman GF/F (0.7  $\mu\text{m}$ ), luego fueron inmediatamente conservadas en frío y almacenadas a  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$  para su posterior análisis en el laboratorio del Departamento de Biología Evolutiva Ecología y Ciencias Ambientales de la Facultad de Biología. Los análisis en laboratorio consistieron en determinar la concentración de los siguientes nutrientes disueltos: Fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).

### **3.1.3. Colecta de macroinvertebrados acuáticos**

Para la colecta de muestras de macroinvertebrados se tomó como referencia el Protocolo de Evaluación del Estado Ecológico de los Humedales (ECOZO) de la Agencia Catalana del Agua (2006).

Se utilizó una red tipo D (o salabre) de 20 cm de diámetro con una malla de 250  $\mu\text{m}$ . La metodología consistió en dar 20 golpes de salabre (arrastre de la red) muestreando todos los hábitats de las lagunas. Las muestras colectadas fueron colocadas en una bandeja de plástico de 20 x 30 cm, trasvasadas a un pote de plástico, fijadas con etanol al 70 % y congeladas a  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$  para su posterior conteo en las lupas.

## **3.2. Análisis de laboratorio**

### **3.2.1. Determinación de nutrientes disueltos**

Para cuantificar la concentración de amonio y fosfato disuelto, se utilizaron técnicas colorimétricas. Para la concentración de fosfato disuelto se utilizó la técnica del ácido ascórbico (Murphy & Riley, 1962); mientras que, para la concentración de amonio disuelto se utilizó la técnica del salicilato (Reardon et al., 1966).

Para determinar la concentración de nitrato disuelto se utilizó un autoanalizador Technicon Autoanalyzer II (Bran and Luebbe Analyzing Technologies Inc.).

### **3.2.2. Identificación y conteo de macroinvertebrados**

Los macroinvertebrados colectados en campo fueron identificados y contabilizados mediante el uso de una lupa estereoscópica de la Facultad de Biología, utilizando las guías taxonómicas de Tachet et al., 2010.

## **3.3. Análisis estadísticos**

Se realizó un Análisis de Componentes Principales (en adelante, **ACP**) para cada laguna, esto con la finalidad de obtener un espacio multivariado de las variables físicas y químicas del agua, los nutrientes disueltos y las variables climáticas (temperatura y precipitación), el criterio fue considerar la representación con el mayor porcentaje de variabilidad explicada y verificar las variables con mayor peso. Este análisis estadístico fue realizado con el programa RSTUDIO 2021.09.0. Versión 4.1.1.

Adicionalmente, se realizó una Análisis de Redundancia (RDA) con la finalidad de conocer el grado en el que el conjunto de variables predictoras (variables ambientales) explicaron la estructura de la comunidad de macroinvertebrados (variables de respuesta). Para analizar estas variables, se tabularon los datos en una matriz de doble entrada, se estandarizaron las variables ambientales y se calculó la distancia de similitudes de Bray Curtis. Este análisis estadístico fue realizado con el programa PRIMER 7. Versión 7.0.21.

## 4. Resultados

### 4.1. Datos meteorológicos

De acuerdo a los resultados obtenidos (ver Figura 2), la temperatura ambiental tiende a disminuir a partir de octubre del 2021 hasta alcanzar el valor medio mensual mínimo en enero del 2022 (7.6 °C), luego la temperatura aumenta paulatinamente hasta alcanzar casi los 20 °C de valor medio mensual en mayo del 2022. Cabe precisar que, el comportamiento de la temperatura ambiental representa claramente la transición del invierno a primavera, típico del clima mediterráneo.

Respecto a los registros de precipitación durante el periodo de estudio, los meses de noviembre del 2021 y marzo del 2022 fueron los que registraron mayor precipitación durante el período de muestreo (106.9 mm y 106.8 mm, respectivamente); por el contrario, los meses con muy poca precipitación fueron diciembre del 2021, enero y febrero del 2022, con un registro mínimo de 0.9 mm en febrero del 2022.

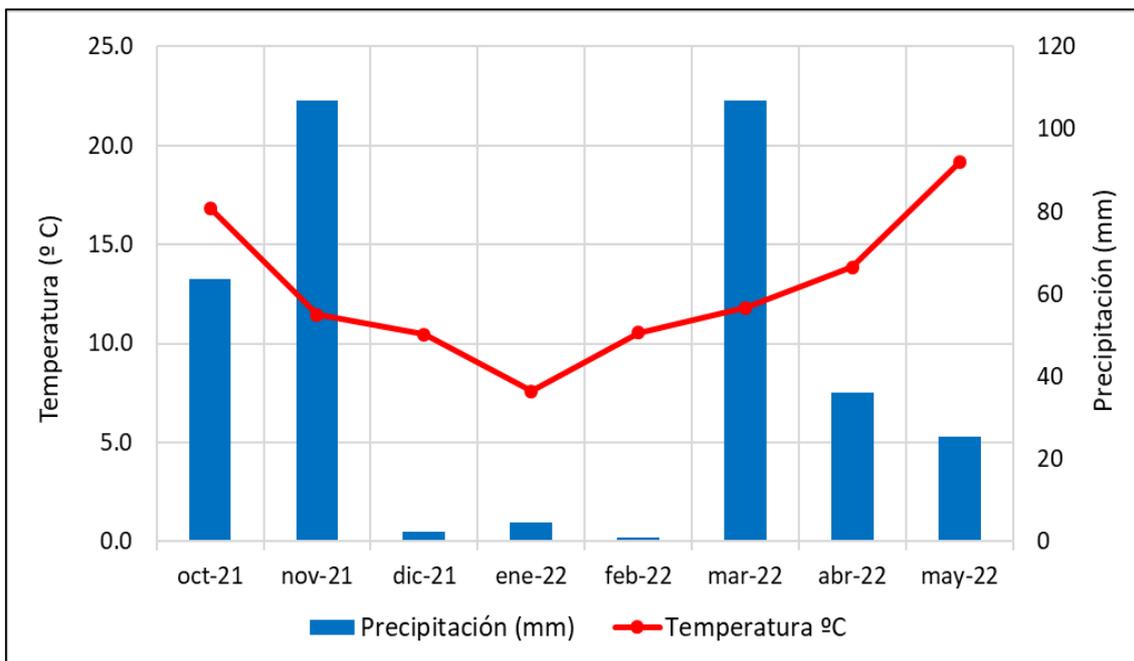


Figura 2. Temperatura media mensual del aire y precipitación acumulada mensual en la zona de estudio (datos de la estación meteorológica de El Vendrell), entre octubre del 2021 y mayo del 2022

## 4.2. Parámetros físicos y químicos del agua

### 4.2.1. Temperatura

A partir de los resultados obtenidos de las mediciones de temperatura del agua (ver Anexo 2, Tabla 2.1 y Anexo 3, Figura 3.1), y tal y como se aprecia en la Fig. 3, a lo largo del estudio, los valores siguen un mismo patrón, registrando los valores más altos en abril del 2022 (con una media en todas las lagunas = 22.1 °C); mientras que, los valores más bajos se registraron en enero del 2022 (con una media en todas las lagunas = 6.6 °C). El rango de temperatura estuvo entre 5.5 °C (enero del 2022 en la laguna B) y 23.8 °C (abril del 2022 en la laguna PERM).

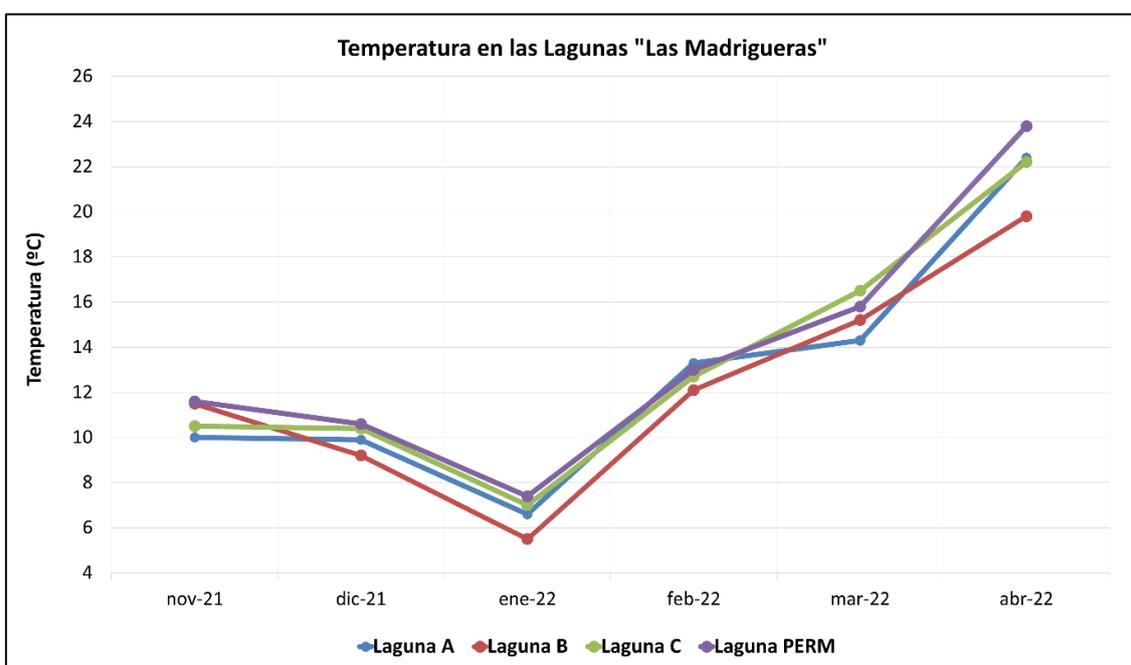


Figura 3. Dinámica de la temperatura del agua a lo largo del periodo de estudio

### 4.2.2. Conductividad eléctrica

A partir de los resultados obtenidos de las mediciones de conductividad eléctrica del agua (ver Anexo 2, Tabla 2.2 y Anexo 3, Figura 3.3), y tal y como se aprecia en la Fig. 4, a lo largo del estudio, la laguna A es la que presentó el valor medio más alto ( $18.9 \pm 1.7$  mS/cm), seguido de la laguna B ( $10 \pm 2.2$  mS/cm), con excepción del valor mínimo de 5.42 mS/cm registrado en marzo del 2022; en tanto, la laguna C, es la que presentó el valor medio más bajo ( $8.8 \pm 1.1$  mS/cm). Las cuatro lagunas alcanzaron los valores más altos en febrero del 2022 y los valores más bajos en marzo del 2022, con un rango

de valores desde los 5.42 mS/cm en la laguna B hasta los 22.9 mS/cm en la laguna A. Por otro lado, en relación a la variabilidad de los valores obtenidos, durante todo el estudio, la laguna A es el que presentó mayor variabilidad (desviación estándar = 4.2 mS/cm); mientras que, la laguna C es el que presentó menor variabilidad (desviación estándar = 0.8 mS/cm).

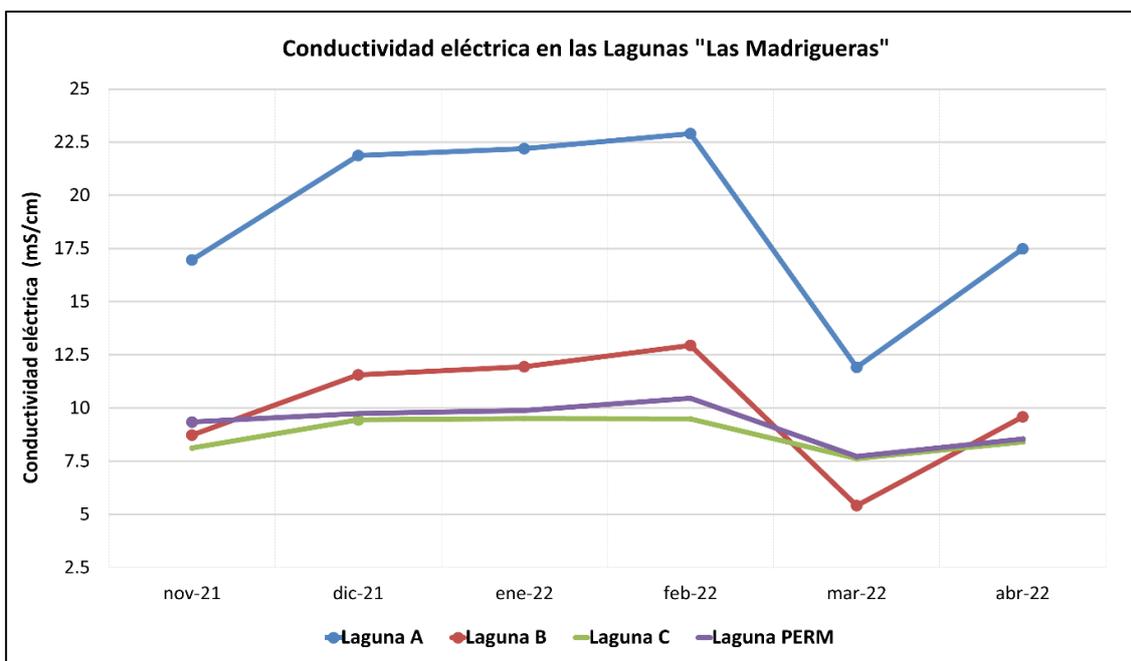


Figura 4. Dinámica de la conductividad eléctrica a lo largo del periodo de estudio

### 4.2.3. pH

A partir de los resultados obtenidos de las mediciones de pH en el agua (ver Anexo 2, Tabla 2.3 y Anexo 3, Figura 3.2), y tal y como se aprecia en la Fig. 5, a lo largo del estudio, los valores en todas las lagunas estuvieron entre 7.68 y 9.26. Asimismo, se visualiza que los valores de pH en la laguna A y PERM, tienden a aumentar desde noviembre del 2021 hasta abril del 2022; por el contrario, los valores de pH en la laguna B, tienden a disminuir desde enero hasta marzo del 2022. Respecto a los valores de pH en la laguna C, estos fueron variables en el tiempo sin seguir una tendencia clara.

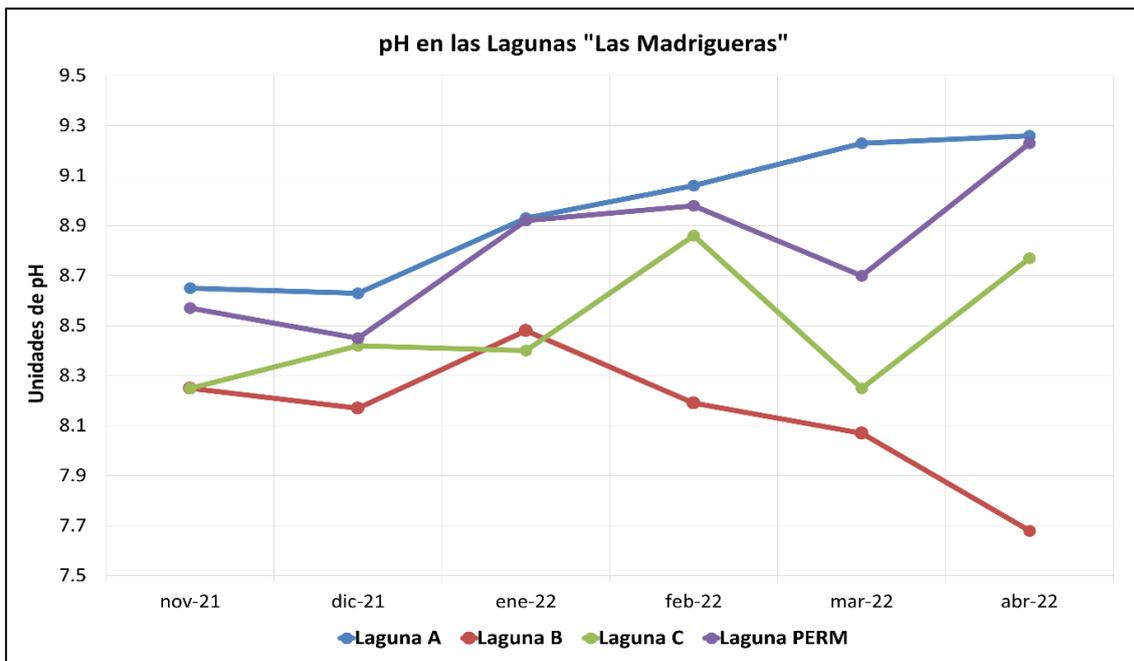


Figura 5. Dinámica del pH a lo largo del periodo de estudio

#### 4.2.4. Porcentaje de saturación de oxígeno

Considerando que las concentraciones de oxígeno disuelto y los porcentajes de saturación de oxígeno, dan básicamente la misma información, se ha visto conveniente explicar los porcentajes de saturación de oxígeno, dado que proporcionan información sobre el metabolismo predominante en la columna de agua. Los valores de concentración de oxígeno disuelto pueden consultarse en el Anexo 2, Tabla 2.4.

A partir de los resultados obtenidos (ver Anexo 2, Tabla 2.5 y Anexo 3, Figura 3.4), y tal y como se aprecia en la Fig. 6, la laguna B es el que presentó el valor medio más bajo ( $54.9 \pm 7.4$  %), con valores que no superaron en ningún momento el 100 % de saturación; mientras que, las lagunas A, C y PERM presentaron valores por encima del 100 % de saturación durante todo el estudio, con valores medios de  $111.3 \pm 6.6$  %,  $110.8 \pm 12.3$  % y  $114.7 \pm 25$  %, respectivamente); asimismo, en estas lagunas se observa que los valores de porcentaje de saturación tienden a incrementarse a medida que pasamos de los meses más fríos del invierno y nos acercamos a la primavera.

El rango de porcentaje de saturación de oxígeno estuvo entre 32.2 % (registrado en febrero del 2022 en la laguna B) y 237.7 % (registrado en abril del 2022 en la laguna PERM).

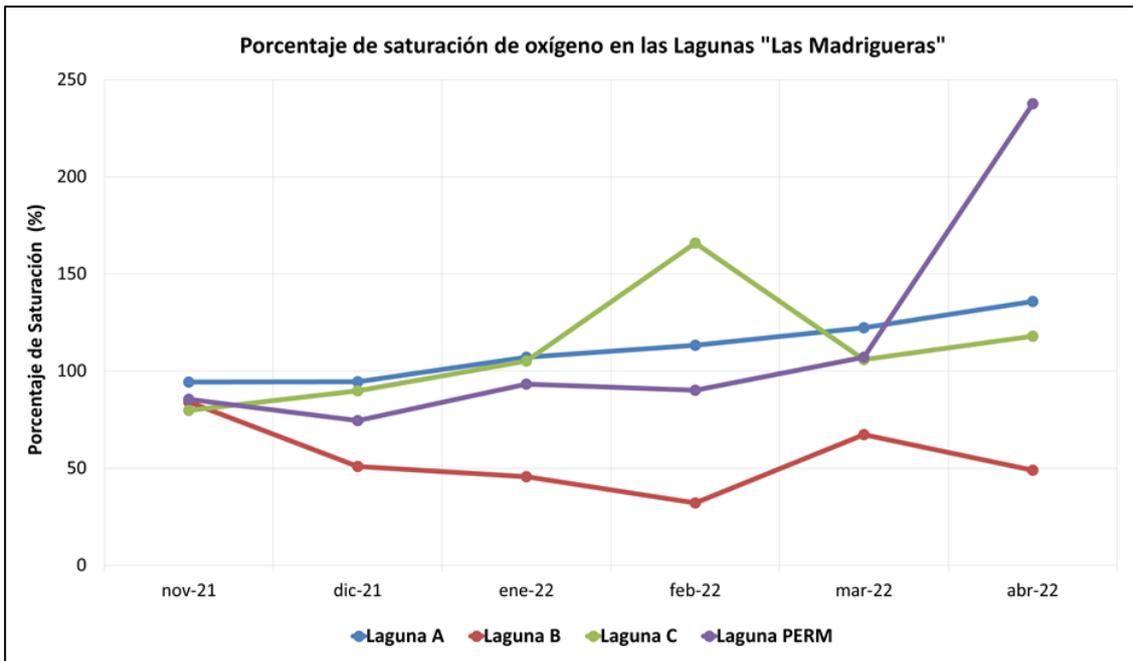


Figura 6. Dinámica del porcentaje de saturación de oxígeno a lo largo del periodo del estudio

### 4.3. Nutrientes disueltos en el agua

#### 4.3.1. Amonio

A partir de las concentraciones de amonio disuelto (ver Anexo 2, Tablas 2.7, 2.8, 2.9 y 2.10), y tal y como se aprecia en la Fig. 7, a lo largo del estudio, las concentraciones más bajas se registraron en abril de 2022 (con una media en todas las lagunas = 0.04 mg/L); mientras que, las concentraciones más altas se registraron en noviembre del 2021 (con una media en todas las lagunas = 0.38 mg/L), exceptuando a la Laguna C que registró una concentración muy baja de 0.05 mg/L.

La laguna A es la que presentó la concentración media de amonio más alta durante el estudio ( $0.21 \pm 0.03$  mg/L); mientras que, la laguna C es la que presentó la concentración media más baja de amonio durante el estudio ( $0.10 \pm 0.01$  mg/L).

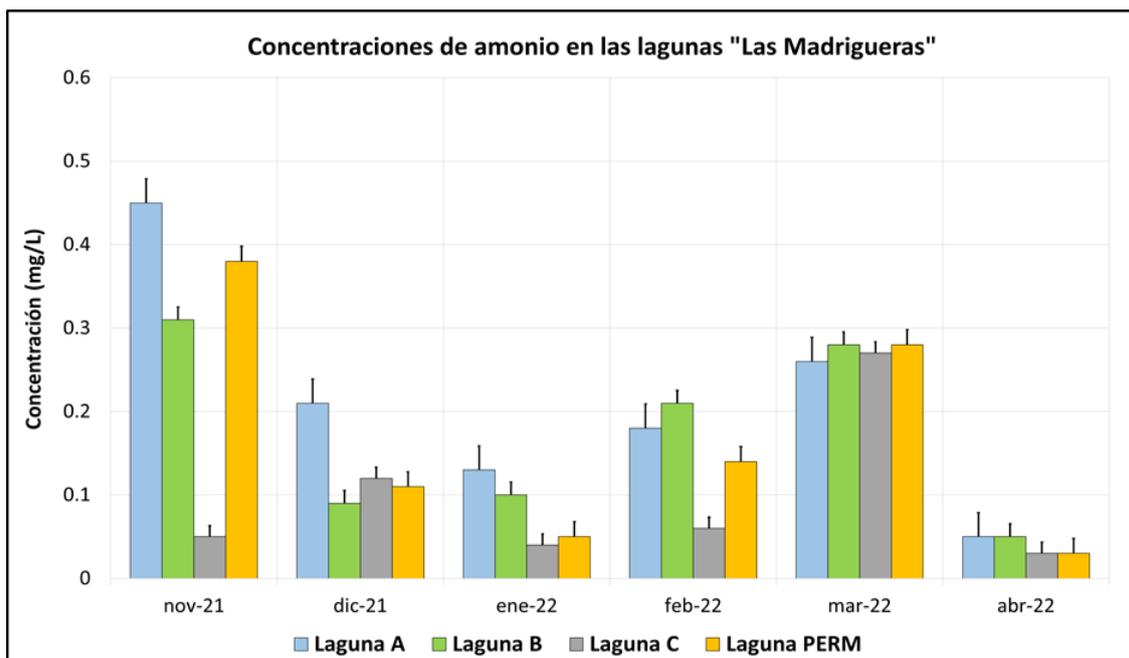


Figura 7. Dinámica de las concentraciones de amonio a lo largo del periodo del estudio. Las barras verticales por encima de la barra de color indican el error estándar.

#### 4.3.2. Nitrato

A partir de los resultados obtenidos de la determinación de las concentraciones de nitrato disuelto (ver Anexo 2, Tabla 2.6), y tal y como se aprecia en la Fig. 8, a lo largo del estudio, las concentraciones más altas se registraron en abril del 2022 (con una media en todas las lagunas = 4.16 mg/L); mientras que, las concentraciones más bajas se registraron en diciembre del 2021 (con una media en todas las lagunas = 0.06 mg/L). Asimismo, cabe destacar el pico de concentración registrado en noviembre del 2021 en la laguna C (4.22 mg/L) en comparación con las otras lagunas (A = 0.37 mg/L, B = 0.04 mg/L, PERM = 0.67 mg/L)

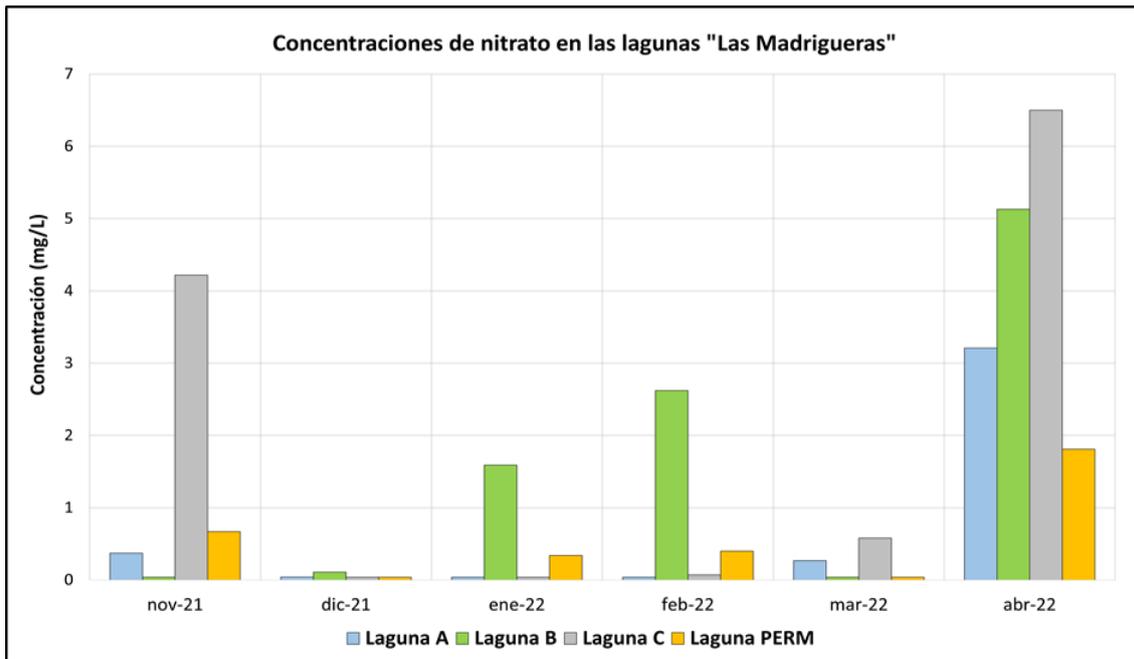


Figura 8. Dinámica de las concentraciones de nitrato a lo largo del período de estudio

#### 4.3.3. Fosfato

A partir de los resultados obtenidos de la determinación de las concentraciones de fosfato disuelto (ver Anexo 2, Tablas 2.11, 2.12, 2.13 y 2.14), y tal y como se aprecia en la Fig. 9, a lo largo del estudio, las concentraciones más altas se registraron en marzo del 2022 (con una media en todas las lagunas = 0.56 mg/L); mientras que, las concentraciones más bajas se registraron en abril del 2022 (con una media en todas las lagunas = 0.02 mg/L).

A nivel de laguna, la laguna A es la que presentó la concentración media más alta durante el estudio ( $0.20 \pm 0.01$  mg/L); mientras que, la laguna PERM es la que presentó la concentración media más baja durante el estudio ( $0.11 \pm 0.004$  mg/L).

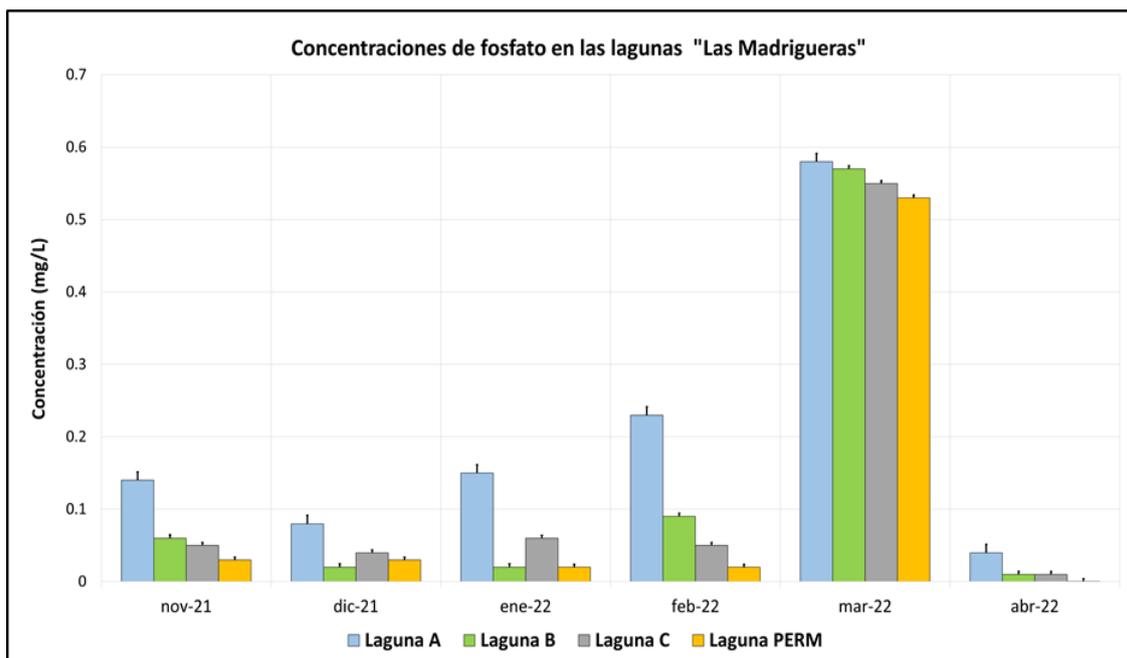


Figura 9. Dinámica de las concentraciones de fosfato a lo largo del período de estudio. Las barras verticales por encima de la barra de color indican el error estándar.

## 4.4. Variable biológica: Macroinvertebrados

### 4.4.1. Abundancia relativa

La abundancia relativa de los macroinvertebrados en la laguna A, se muestra en el Anexo 4 y la Figura 10. Según se observa, la comunidad de macroinvertebrados en esta laguna está representada mayoritariamente por las especies de crustáceos *Gammarus aequicauda*, *Mesopodopsis slabberi* y *Lekanesphaera hookeri*, de las cuales, la especie *Mesopodopsis slabberi*, es la que presentó las abundancias relativas más altas durante todo el estudio (igual o mayor al 80 %), a excepción, de los meses de noviembre del 2021 y abril del 2022 (25 % y 45 %, respectivamente). La especie *Gammarus aequicauda* presentó una abundancia relativa del 50 % en noviembre del 2021; sin embargo, esta abundancia disminuyó considerablemente en los meses posteriores (abundancias relativas menores o iguales al 5 %). La especie *Lekanesphaera hookeri*, presentó su abundancia relativa más alta en abril del 2022, con un 49 %; no obstante, en los otros meses, la abundancia relativa fue menor o igual al 21 %.

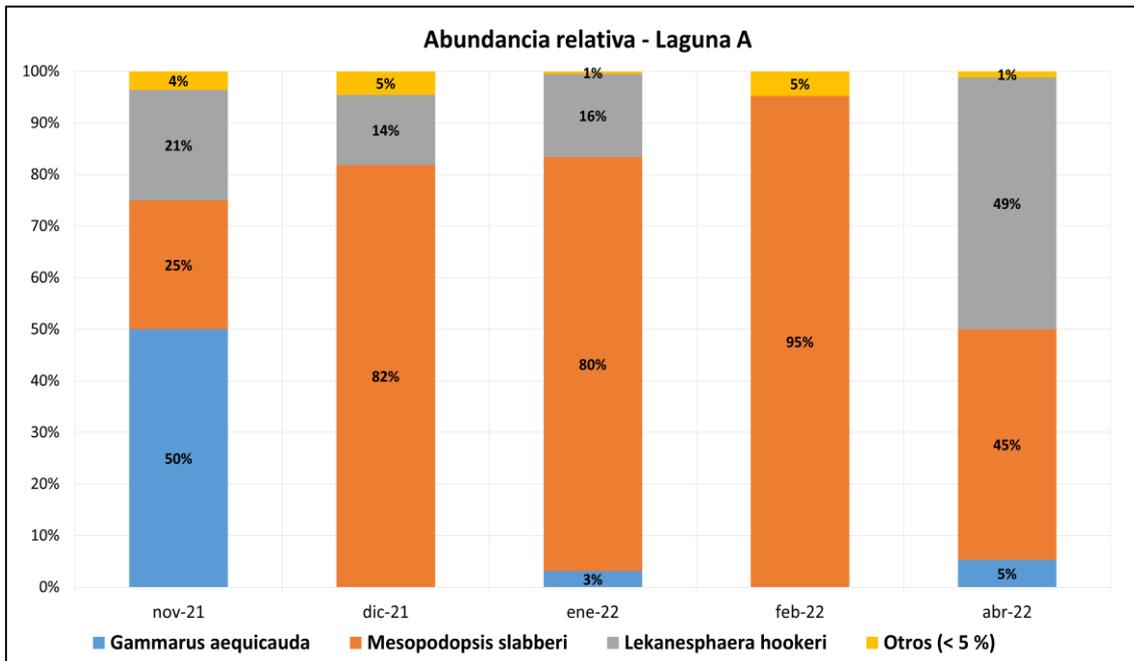


Figura 10. Abundancia relativa (%) de macroinvertebrados en la laguna A. Los números dentro de las columnas indican la abundancia relativa en porcentaje de cada taxón.

En lo que respecta a la laguna B, la abundancia relativa de los macroinvertebrados se muestra en el Anexo 4 y la Figura 11. Según se observa, durante todo el estudio, la comunidad de macroinvertebrados está representada mayoritariamente por dípteros de la familia Chironomidae y efemerópteros del género *Cloeon* de la familia Baetidae representando abundancias relativas altas durante todo el estudio (igual o mayor al 77 %); asimismo, se observó el díptero de la familia Dixidae (Orden Diptera, Género *Dixa*) y el heteróptero del género *Micronecta* de la familia Micronectidae, ambos con una abundancia relativa del 7 % en abril del 2022.

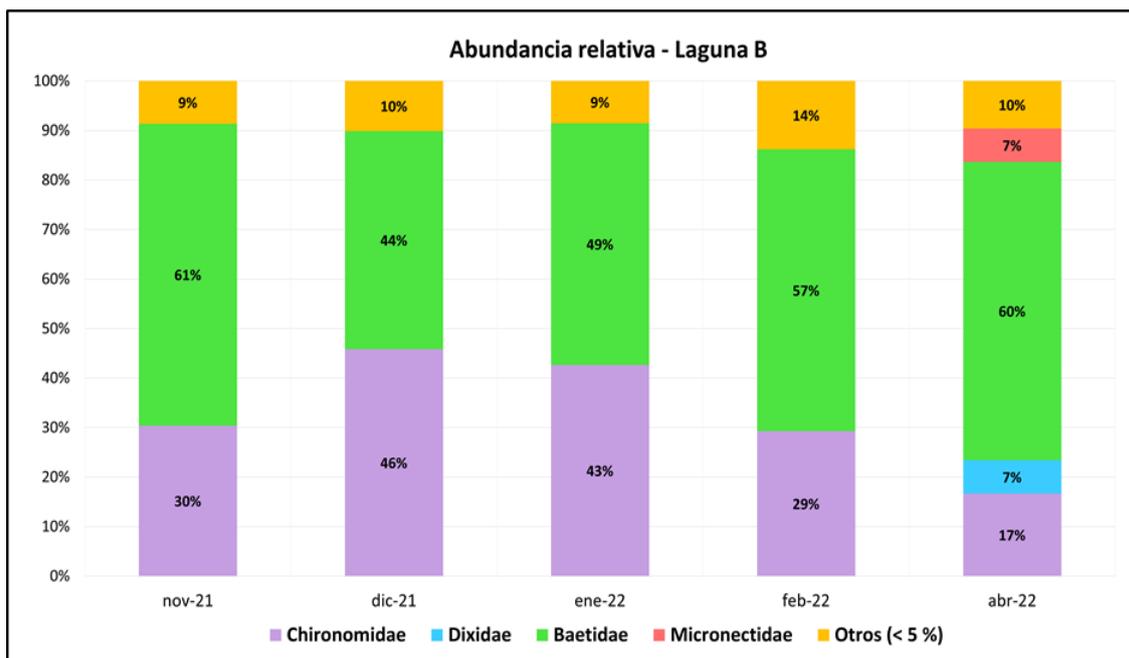


Figura 11. Abundancia relativa (%) de macroinvertebrados en la laguna B. Los números dentro de las columnas indican la abundancia relativa en porcentaje de cada taxón.

En lo que respecta a la laguna C, la abundancia relativa de los macroinvertebrados se muestra en el Anexo 4 y la Figura 12. Según se observa, durante los meses de invierno (diciembre, enero y febrero del 2022), la comunidad de macroinvertebrados está dominada por efemerópteros del género *Cloeon* de la familia Baetidae, con abundancias relativas iguales o mayores al 81 %. En otoño (noviembre) los dípteros de la familia Chironomidae son más abundantes representando el 53 % de la abundancia relativa. A principios de primavera (abril), la comunidad de macroinvertebrados es más diversa dominando los dípteros de la familia Dixidae (Orden Diptera, Género *Dixa*) representando el 72 % de abundancia relativa; asimismo, se observó el género *Plea* (Orden Heteroptero) con una abundancia relativa del 13 %.

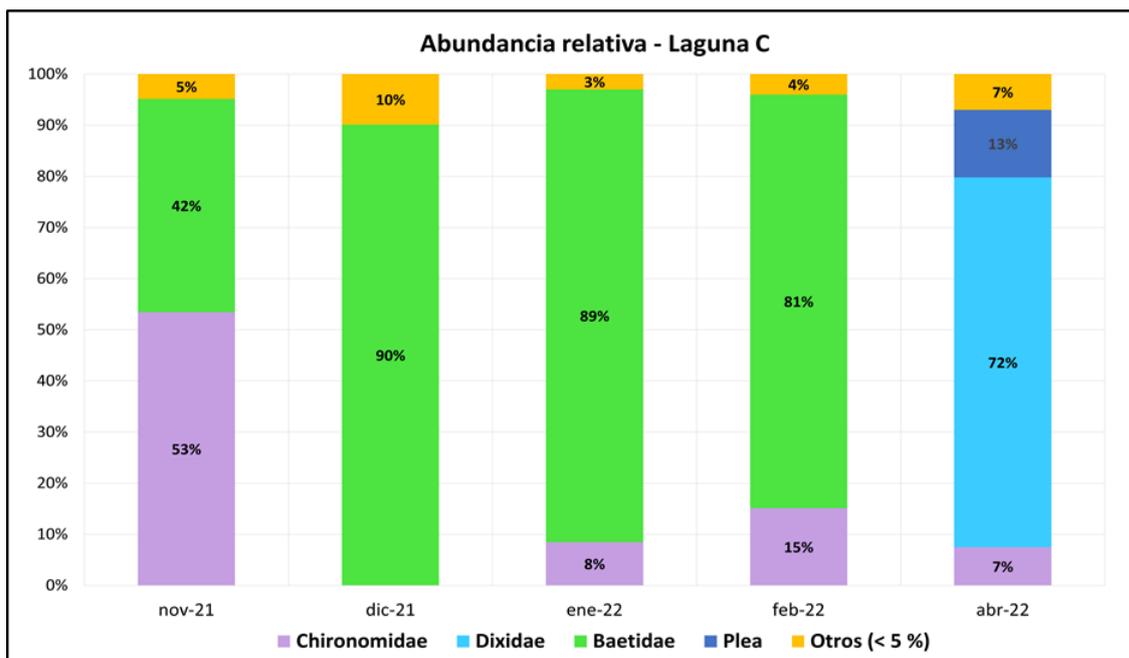


Figura 12. Abundancia relativa (%) de macroinvertebrados en la laguna C. Los números dentro de las columnas indican la abundancia relativa en porcentaje de cada taxón.

En lo que respecta a la laguna PERM, la abundancia relativa de los macroinvertebrados se muestra en el Anexo 4 y la Figura 13. Según se observa, durante todo el estudio, la comunidad de macroinvertebrados está representada mayoritariamente por dípteros de la familia Chironomidae, con abundancias relativas iguales o mayores al 62 %; a excepción del mes de noviembre del 2021, en el cual los efemerópteros de la familia Baetidae representaron el 69 % de abundancia relativa. Durante los meses de noviembre del 2021, febrero y abril del 2022 se observó el heteróptero del género *Micronecta* de la familia Micronectidae con abundancias relativas del 10 %, 9 % y 5 %, respectivamente.

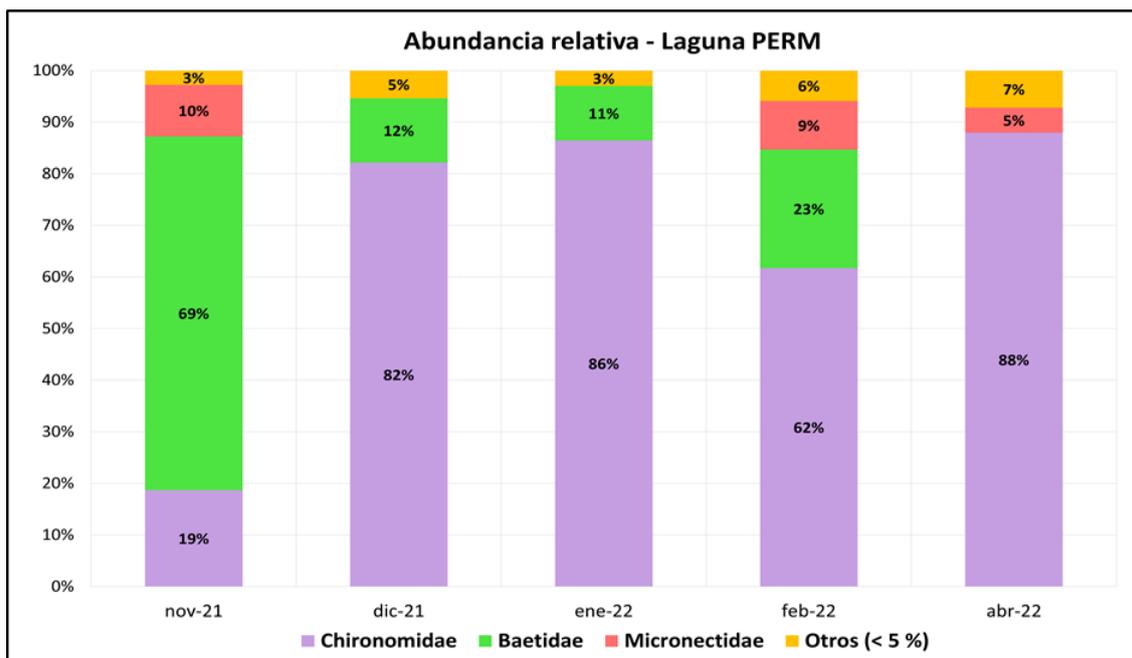


Figura 13. Abundancia relativa (%) de macroinvertebrados en la laguna PERM. Los números dentro de las columnas indican la abundancia relativa en porcentaje de cada taxón.

#### 4.4.2. Riqueza de macroinvertebrados

En la Tabla 2, se presentan la riqueza de taxones de macroinvertebrados que se registraron en todas las lagunas durante todo el estudio:

Tabla 2. Riqueza de macroinvertebrados en las lagunas “Las Madrigueras”

Fecha de muestreo	Laguna A	Laguna B	Laguna C	Laguna PERM
nov-21	4	18	11	12
dic-21	3	16	8	9
ene-22	4	11	7	5
feb-22	4	12	8	6
abr-22	4	13	9	8

Nota: Los números en la tabla indican el número de especies de macroinvertebrados.

Tal y como se observa en la Tabla 2, la laguna A es la que presentó la menor riqueza (entre 3 y 4); mientras que, la laguna B es la que presentó la mayor riqueza (entre 11 y 18). En las lagunas C y PERM la riqueza taxonómica fue bastante similar durante todo el estudio.

#### 4.4.3. Análisis estadístico

De acuerdo al Análisis de Componentes Principales (en adelante, **ACP**) (ver Anexo 7, Fig. 7.1 y Fig. 7.2), en la laguna A, las dos primeras componentes representaron el 83.32% de la varianza, en el primer componente (en adelante, **CP1**), que tuvo una representación del 48.76% de la varianza total, las variables que tuvieron más peso fueron el porcentaje de saturación de oxígeno y el nitrato, en tanto, en el segundo componente (en adelante, **CP2**), que tuvo una representación del 34.57% de la varianza total, las variables que tuvieron más peso fueron la conductividad eléctrica y la precipitación. Según el ACP, hay una correlación alta negativa entre la precipitación y la conductividad eléctrica (-0.89); y, una correlación alta positiva entre la temperatura del agua y el porcentaje de saturación de oxígeno (+0.84) y entre el pH y el porcentaje de saturación de oxígeno (+0.96).

En la laguna B, las dos primeras componentes representaron el 81.69% de la varianza, en el CP1, que tuvo una representación del 49.02% de la varianza total, las variables que tuvieron más peso fueron la precipitación y la conductividad eléctrica, en tanto, en el CP2, que tuvo una representación del 32.67% de la varianza total, las variables que tuvieron más peso fueron el pH y la temperatura del agua. Según el ACP, hay una correlación alta negativa entre el pH y la temperatura (-0.94) y entre la precipitación y la conductividad eléctrica (-0.90).

En la laguna C, las dos primeras componentes representaron el 74.86% de la varianza, en el CP1, que tuvo una representación del 47.3% de la varianza total, las variables que tuvieron más peso fueron la precipitación y la conductividad eléctrica, en tanto, en el CP2, que tuvo una representación del 27.56% de la varianza total, las variables que tuvieron más peso fueron el nitrato y la temperatura del agua. Según el ACP, hay una correlación alta negativa entre la precipitación y la conductividad eléctrica (-0.94); y una correlación alta positiva entre el pH y el porcentaje de saturación de oxígeno (+0.83).

En la laguna PERM, las dos primeras componentes representaron el 83.97% de la varianza, en el CP1, que tuvo una representación del 46.58% de la varianza total, las variables que tuvieron más peso fueron el porcentaje de saturación de oxígeno y el nitrato, en tanto, en el CP2, que tuvo una representación del 37.39% de la varianza total, las variables que tuvieron más peso fueron la precipitación y la conductividad eléctrica. Según el ACP, hay una correlación alta positiva entre la temperatura y el porcentaje de saturación de oxígeno (+0.90), entre el porcentaje de saturación de oxígeno y el pH

(+0.76), entre el porcentaje de saturación de oxígeno y el nitrato (+0.90) y entre la precipitación y el amonio (+0.84); y, una correlación alta negativa entre la precipitación y la conductividad eléctrica (-0.71).

## **5. Discusión**

### **5.1. Parámetros físicos y químicos del agua**

Los valores registrados de temperatura del agua en las cuatro lagunas guardan relación directa con la temperatura del aire (ver Anexo 5). El valor mínimo y el máximo de temperatura del agua (registrado en enero y abril del 2022, respectivamente) coincidieron con los valores máximos y mínimos de la temperatura del aire registrados durante el período de muestreo mostrado en la Fig 2.

El pH, el porcentaje de saturación de oxígeno y la temperatura del agua presentaron una correlación positiva en los análisis de ACP para las lagunas A, C y PERM. En estas lagunas se registraron valores que tuvieron una tendencia a aumentar a lo largo del periodo de muestreo, lo cual se explicaría debido a que, a medida que aumentó la radiación solar en primavera, aumentó también la actividad fotosintética de los macrófitos sumergidos en las lagunas y del fitoplancton (sobre todo en la laguna A, observacional: ver Anexo 8, Registro Fotográfico 8.3); precisamente, los valores más altos de pH se registraron en abril del 2022, el cual correspondió al mes con mayor temperatura durante el período de muestreo, con un valor que estuvo por encima del 200% de saturación de oxígeno en la laguna PERM. Lo contrario sucede en la laguna B, la cual presentó una correlación negativa entre la temperatura del agua versus el pH y el porcentaje de saturación de oxígeno, lo cual se explicaría por la predominancia del proceso de respiración, debido a que es la laguna que presentó la mayor proporción de vegetación emergida con respecto a la lámina de agua, por lo tanto, habría menor penetración de la luz, y como consecuencia menor fotosíntesis; además, existe mayor entrada de materia orgánica a la columna de agua por los aportes de hojarasca de la vegetación emergida, lo que implicaría mayor descomposición de la materia orgánica; precisamente, los porcentajes de saturación de oxígeno más bajos se registraron en la laguna B (ver Anexo 2, Tabla 2.5).

En relación a los valores de conductividad eléctrica, se resalta que la laguna A registró claramente los valores más altos durante todo el estudio, esto es debido a las entradas esporádicas durante los temporales de levante de agua de mar, considerando también el aporte de agua del freático. Estos intercambios hacen que esta laguna presente una conductividad intermedia entre al agua de mar y el agua dulce. Por el contrario, la laguna C, registró los valores más bajos durante todo el estudio; esto podría relacionarse con que en esta laguna hay un mayor aporte del agua del freático, en la medida que por esta laguna pasaba la antigua desembocadura de la Riera de la Bisbal. La variabilidad de los valores de conductividad eléctrica es mayor en la laguna A, relacionado con los intercambios de agua de mar mencionados anteriormente mientras que la variabilidad es menor en la laguna C, lo cual se explicaría al aporte constante de agua dulce proveniente del freático.

Según los análisis de ACP, todas las lagunas presentaron una correlación negativa entre la conductividad eléctrica y la precipitación; precisamente, los valores más bajos de conductividad eléctrica en todas las lagunas se registraron en noviembre del 2021 y marzo del 2022, que coincidieron con los meses de mayor precipitación según la Fig 2.

## **5.2. Nutrientes disueltos en el agua**

Las concentraciones de amonio más altas en todas las lagunas se registraron en noviembre del 2021 y marzo del 2022, con excepción de la laguna C en noviembre del 2021. Según los análisis de ACP, todas las lagunas presentaron una correlación positiva entre la precipitación y la concentración de amonio; precisamente, estos meses coincidieron con los de mayor precipitación según la Fig.2, por lo que es posible que estas altas concentraciones se deban principalmente a un aporte externo por escorrentía superficial, o bien en su forma disuelta o por una entrada de materia orgánica fácilmente degradable que aumentaría la mineralización. En relación a la baja concentración de amonio en la laguna C durante noviembre del 2021, es posible que, el proceso predominante en ese momento fuese la nitrificación (oxidación de amonio a nitrato); precisamente, la concentración de nitrato en la laguna C durante el mismo mes, fue la más alta registrada en comparación con las otras lagunas (ver Figura 8).

Las concentraciones más bajas de amonio en todas las lagunas se registraron en abril del 2022, en primavera con poca precipitación (17.5 mm), lo que habría favorecido las tasas de nitrificación; precisamente, las concentraciones más altas de nitratos en todas

las lagunas se registraron durante el mismo mes (ver Figura 8). A nivel de laguna, la laguna A es la que registró la concentración media más alta de amonio durante todo el estudio, lo cual podría relacionarse a que la salinidad en esta laguna estaría afectando negativamente a las bacterias nitrificantes (López, et al., 2017), por lo cual se esperaría una disminución de los procesos de nitrificación, y con ello, una mayor disponibilidad del amonio; sumado a lo anterior, también es posible que al haber un mayor intercambio con el agua de mar, exista un aporte extra de amonio en comparación con las otras lagunas.

Las concentraciones más bajas en todas las lagunas se registraron en diciembre del 2021, lo cual coincidió con el mes que presentó el porcentaje de saturación de oxígeno medio más bajo (77.1 %) en comparación con los otros meses (que estuvieron por encima del 88 %), por lo que podría haber favorecido la tasa de desnitrificación. A nivel de laguna, la laguna C es la que registró la concentración media más alta de nitrato durante todo el estudio, esto podría relacionarse a que fue la laguna que presentó mayor influencia con el agua del freático que habría favorecido un mayor intercambio de nitrógeno en forma de nitrato.

En relación a las concentraciones de fosfato, las concentraciones más altas en todas las lagunas se registraron en marzo del 2022. Según los análisis de ACP, todas las lagunas presentaron una correlación positiva entre la precipitación y la concentración de fosfato; precisamente, este mes coincide con uno de los meses con mayor precipitación durante el periodo de muestreo según la Fig 2, por lo es posible que se haya ocurrido un aporte externo o una liberación de fosfato desde el sedimento (Falcão & Vale, 2003). Las concentraciones más bajas de fosfato se registraron en abril del 2022 (primavera), por lo que es posible que, con el aumento de la actividad fotosintética en las lagunas, se habría producido la asimilación de fosfato por los organismos fotosintéticos. A nivel de laguna, la laguna A es la que presentó la concentración media más alta durante todo el estudio, lo que podría relacionarse con que en esta laguna, al producirse un mayor intercambio con el agua de mar, se genere un aporte de fosfato extra en comparación con las otras lagunas. Por otro lado, la laguna C es la que presentó la concentración promedio más baja durante todo el estudio, es posible que esto se deba a los precipitados de carbonato cálcico formados sobre el macrófito *Chara hispida* que retira el fósforo en solución por precipitación debido a su actividad fotosintética.

### 5.3. Abundancia relativa y riqueza de macroinvertebrados

Según el análisis de redundancia (ver Anexo 7, Figura 7.3), en el componente dbRDA1 (53 % de la variabilidad total), la laguna A es la que presentó la comunidad de macroinvertebrados más diferenciada en comparación con las otras lagunas durante todo el período de muestreo, representada mayoritariamente por especies de crustáceos que se explican por los valores más altos de conductividad eléctrica (mayor salinidad). Se observa que la especie *Mesopodopsis slabberi* es la que presentó las abundancias relativas más altas durante los meses de diciembre del 2021, enero y febrero del 2022 (igual o mayor al 80 %); precisamente, estos meses fueron los que registraron mayor salinidad en la laguna A (ver Anexo 2, Tabla 2.2). Según Sardo et al. (2005), *Mesopodopsis slabberi* habita en un rango de salinidad de 2.5 a 63.7 mS/cm, por lo que esta especie tendría mayor predominancia durante estos meses al ser más tolerante a las condiciones de mayor salinidad.

En el componente dbRDA2 (11.1 % de variabilidad total), se observa dos agrupamientos en direcciones opuestas entre los dípteros de la familia Chironomidae y los efemerópteros de la familia Baetidae.

En lo que respecta a la familia de los Baetidae, se resalta el agrupamiento de los muestreos realizados en la laguna B durante los meses de noviembre, febrero y abril (con noviembre y abril con mayores registros de precipitación), lo que nos indica que la abundancia de efemerópteros de la familia Baetidae estaría relacionada con la precipitación, sobretodo en esta laguna, que es la que muestra los porcentajes más bajos de saturación de oxígeno en comparación con las otras lagunas y la que presenta mayor conductividad eléctrica (después de la laguna A). En relación a la familia de los Chironomidae, solo es posible resaltar el agrupamiento de la laguna PERM durante todo el periodo de muestreo; con excepción de noviembre del 2021 (la más lluviosa donde predominó la familia de los Baetidae); sin embargo, no se observó ninguna relación clara con alguna variable ambiental.

Es importante señalar que, según el análisis de redundancia, el 74.16 % de la variabilidad de las especies de macroinvertebrados viene explicado por las variables ambientales, el otro 25.84 % de la variabilidad no explicada podría explicarse por la depredación.

En relación a la riqueza de macroinvertebrados, la laguna A fue la que presentó menor riqueza. Según Whitfield, A.K. et al. (2012), el diagrama de Barnes (1978) muestra que, en los sistemas estuaricos de agua salobre, en un rango de salinidad de 5 a 10 PSU (el de la laguna A se encuentra en el rango de 6.8 a 13.8 PSU), y con presencia de especies eurihalinas, como es el caso de la especie *Mesopodopsis slabberi*, el número de especies suele ser baja en comparación con las observadas en masas de agua de agua dulce y marina. La laguna B fue la que presentó mayor riqueza, por lo que se sugiere que, al ser la más somera (poca lámina de agua) (ver Anexo 8, Registro fotográfico 8.3), estaría jugando un rol importante el hábitat litoral, muy bien representado en esta laguna por el cinturón que la rodea y la isla central con *Phragmites australis*, aumentando la disponibilidad de hábitat para los macroinvertebrados. En el caso de la laguna C y PERM, al ser las más profundas y al contar con un cinturón de vegetación emergente similar, tendrían hábitats similares.

#### **5.4. Comparación entre el período 2018-2019 y 2021-2022**

En la Tabla 6.1 (ver Anexo 6), se muestra una comparación entre los resultados del estudio realizado en las lagunas durante el período 2018 - 2019 (Parada, 2019) y los del presente estudio realizado durante el período 2021 – 2022.

Se resalta que durante la época más seca para ambos periodos (abril), los valores de conductividad eléctrica en la laguna A fueron mayores durante el año 2019 (31.4 mS/cm) en comparación a los valores del año 2022 (17.49 mS/cm), representando casi el doble del valor hace 2 años, lo que indicaría que, con el paso del tiempo esta laguna cada vez está más aislada del mar, por lo que habría aumentado el efecto del intercambio de agua más dulce con el acuífero y disminuido su salinidad.

En relación al porcentaje de saturación de oxígeno, se resalta que la laguna PERM ha registrado para el período 2021 – 2022 un valor medio de 114.7 %, mientras que para el período 2018 – 2019 se describió un valor medio de 67.9 %, por lo que ha incrementado el porcentaje de saturación en un 69 % con el paso del tiempo. Esto se debería a que la laguna PERM es la más antigua (tiene 7 años desde su creación), por lo que cuenta con una presencia importante de macrófitos como la *Ruppia marítima* y *Potamogeton pectinatus*. La cobertura de los macrófitos sumergidos ha ido aumentando progresivamente desde su creación, de hecho, *Potamogeton pectinatus* se observó por primera vez en 2021. Esto sugeriría un estado más avanzado en la sucesión, con mayor

biodiversidad de vegetación sumergida y aumento de la actividad fotosintética. La laguna PERM ha registrado para el período 2021 – 2022 un valor medio de pH de 8.8, mientras que para el período 2018 – 2019 se observó un valor medio de 7.93, por lo que ha aumentado 0.88 unidades logarítmicas con el paso del tiempo, esto corroboraría el incremento de la actividad fotosintética en esta laguna.

La laguna B ha registrado para el período 2021 – 2022 un valor medio de porcentaje de saturación de oxígeno de 54.9 %, mientras que para el período 2018 – 2019 se registró un valor medio de 111 %, por lo que ha disminuido el porcentaje de saturación en un 51 % con el paso del tiempo. Esto podría explicarse a que, con el paso del tiempo al ser la laguna más pequeña y menos profunda se ha ido colmatando por los aportes de detritus de la vegetación litoral, predominando la descomposición sobre la fotosíntesis. Esto coincidiría con la disminución del pH en esta laguna si comparamos los dos periodos, para el período 2021 – 2022 el valor medio fue de 8.1, mientras que para el período 2018 – 2019 se observó un valor medio de 8.89, por lo que se ha disminuido 0.75 unidades logarítmicas con el paso del tiempo.

En cuanto a las concentraciones de nutrientes, lo que más resalta son las concentraciones de nitrato en todas las lagunas durante el período 2021 -2022, los cuales han disminuido considerablemente en comparación con los del período 2018 – 2019, lo cual podría justificarse por una disminución del aporte externo por escorrentía superficial provocado principalmente por los regímenes de precipitación o por las tasas de nitrificación que predominaron en cada periodo.

En lo que respecta a la comunidad de macroinvertebrados, se visualizan cambios en los taxones entre febrero del año 2019 y febrero del año 2022 (ver Figura 16). La laguna A cambió de una comunidad de macroinvertebrados representada mayoritariamente por dípteros de la familia Chironomidae y Ceratopogonidae, ambas representando un 72 % de abundancia relativa durante febrero del año 2019, a una comunidad de macroinvertebrados representada mayoritariamente por las especies de crustáceos *Gammarus aequicauda*, *Mesopodopsis slabberi* y *Lekanesphaera hookeri* con un 95 % de abundancia relativa durante febrero del año 2022.

Las lagunas B y C cambiaron de una comunidad representada mayoritariamente por dípteros de la familia Chironomidae (88 % y 68 %, respectivamente) durante febrero del año 2019, a una comunidad representada mayoritariamente por efemerópteros del género *Cloeon* de la familia Baetidae (57 % y 81 %, respectivamente) durante febrero

del año 2022. Por su lado, la laguna PERM es en la que se han observado menos cambios en la comunidad de macroinvertebrados con el paso del tiempo, ha mantenido en ambos períodos una abundancia relativa de 62 % para los dípteros de la familia Chironomidae y abundancias relativas del 29 % (febrero 2019) y 23 % (febrero 2022) para los Baetidae; no obstante, se ha observado la presencia del heteróptero del género *Micronecta* de la familia Micronectidae con una abundancia relativa del 9 % durante febrero del año 2022, que no se detectó en febrero de 2019.

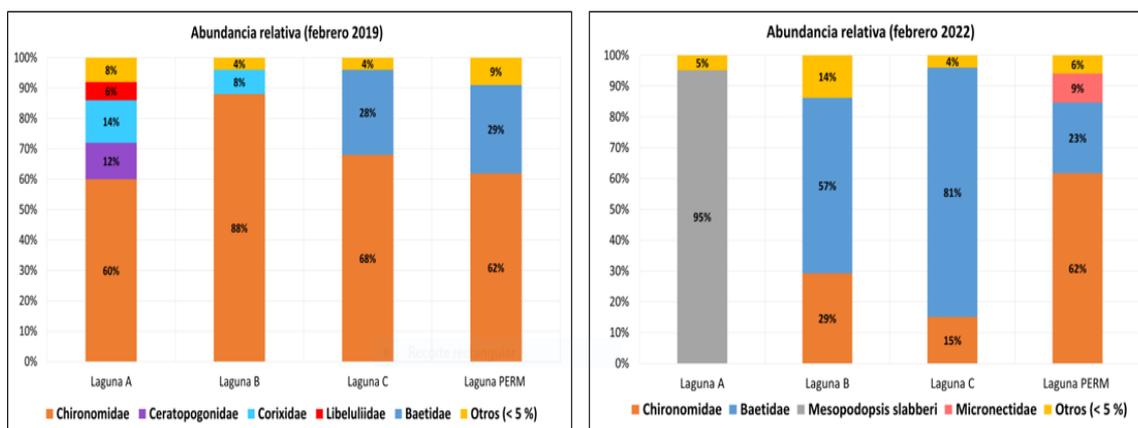


Figura 16. Comparación de abundancias relativas (%) de macroinvertebrados en las lagunas “Las madrigueras” entre febrero del año 2019 y febrero del año 2022

## 6. Conclusiones

En base a los resultados y discusión podemos concluir lo siguiente:

- Las variables físicas y químicas del agua en todas las lagunas estarían explicadas por las variables climáticas que predominaron en la zona durante el período de muestreo, principalmente por la precipitación y la temperatura ambiental; además, la hidrología tendría un rol importante en las lagunas A y C, debido al intercambio con el agua de mar y el aporte del agua del freático, respectivamente, resultando que el agua de la laguna A sea “salobre” y el agua de la laguna C sea la de menor conductividad eléctrica.
- La actividad fotosintética en las lagunas A, C y PERM, durante la primavera, favorecería un aumento de los valores de pH y porcentaje de saturación de oxígeno; mientras que, la vegetación emergida en la laguna B, provocaría una

disminución de la fotosíntesis y mayor descomposición de la materia orgánica que resulta en valores bajos de porcentaje de saturación de oxígeno.

- La conductividad eléctrica y su variabilidad estaría en función de los regímenes de lluvias en la zona, la comunicación con el agua del freático y la comunicación esporádica con el mar durante los temporales dependiendo de la morfología y la ubicación de las lagunas.
- La dinámica de los nutrientes disueltos en todas las lagunas (específicamente para amonio y fosfato) estaría explicada principalmente por los aportes externos, sean estos provenientes de las precipitaciones (escorrentía superficial) o por el intercambio de agua de mar o aporte del freático; y, por otra parte, los nitratos estarían en función del aumento o disminución de las tasas de nitrificación o desnitrificación.
- Según el análisis de la redundancia, la laguna A es la que presentó la comunidad de macroinvertebrados más diferenciada en comparación con las otras lagunas durante todo el período de muestreo, representada mayoritariamente por especies de crustáceos que se explican por los valores más altos de conductividad eléctrica (mayor salinidad).
- La abundancia de los efemerópteros de la familia Baetidae, estaría mayormente explicada por la precipitación, sobretodo en la laguna B; asimismo, la abundancia de los dípteros de la familia Chironomidae se centra en la laguna PERM; no obstante, no fue posible establecer una relación clara con alguna variable ambiental que la explique.
- De acuerdo a los resultados del análisis de redundancia, el 74.16 % de la variabilidad de las especies de macroinvertebrados viene explicado por las variables ambientales, el otro 25.84 % de la variabilidad no explicada podría explicarse por la depredación.
- El rango de salinidad entre 5 y 10 PSU en la laguna A mantiene un número bajo de especies eurihalinas en esta laguna; mientras que, la disponibilidad de hábitats para los macroinvertebrados en la laguna B habría favorecido un número de especies.

- En relación a la comparación con el estudio realizado a las lagunas durante el período 2018 – 2019, la laguna A ha disminuido su salinidad en la medida que habría aumentado el efecto del intercambio de agua más dulce con el acuífero.
- El estado más avanzado en la sucesión de macrófitos en la laguna PERM (la más antigua desde su creación), habría aumentado la actividad fotosintética con el paso del tiempo; mientras que, el incremento y los aportes de detritus de la vegetación litoral en la laguna B; habría disminuido la actividad fotosintética con el paso del tiempo.
- Comparando la comunidad de macroinvertebrados durante febrero del 2019 y febrero del 2022, la laguna A es la que más ha cambiado con el paso del tiempo, pasando de una comunidad representada mayoritariamente por dípteros de la familia Chironomidae y Ceratopogonidae a una comunidad representada mayoritariamente por especies de crustáceos; mientras que, la laguna PERM es la que menos ha cambiado con el paso del tiempo, manteniendo la abundancia relativa para los dípteros de la familia Chironomidae y para los efemerópteros de la familia Baetidae.

## **7. Lista de referencias bibliográficas**

Ambrosio, L; Requena, S; Rodríguez, R & Segovia, E (2002). El Litoral mediterráneo: Importancia, diagnóstico y conservación: Propuesta de WWF/Adena. Madrid: WWF/Adena.

Batzer, DP & Boix, D (1999). Invertebrates in Freshwater Wetlands. John Wiley & Sons, New York.

Carulla, N & Albalat, D (2008). Fonaments geològics i hidrogeològics per la naturalització d'una zona fluvio-litoral: les Madrigueres de la riera de la Bisbal (el Vendrell), Tarragona. 19 Tardor: 278-290.

Domínguez, E & Fernández, HR (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo: pp. 656.

Falcão, M & Vale, C (2003). Nutrient dynamics in a coastal lagoon (Ria Formosa, Portugal): the importance of lagoon–sea water exchanges on the biological productivity. *Ciencias Marinas* 29(3): 425–433.

Flores-Verdugo, F; Moreno-Casasola, P; Agraz-Hernandez, C; Lopez-Rosas, H; Benitez-Pardo, D & Travieso-Bello, A (2007). La topografía y el hidroperiodo: dos factores que condicionan la restauración de los humedales costeros. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 80: 33-47.

Reardon, J; Foreman, JA & Searcy, RL (1996). New reactants for the colorimetric determination of ammonia, *Clinica Chimica Acta*, Volume 14, Issue 3: 403-405.

Soria, JM & Sahuquillo, M (2009). 1150 Lagunas costeras (\*). En: V.V. A.A., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino: 303 p.

Quintana, XD; Comián, FA & Moreno-Amich, R (1998). Nutrient and plankton dynamics in a Mediterranean salt marsh dominated by incidents of flooding. Part 2: Response of zooplankton community to disturbances. *Journal of plankton research* 20.11: 2109 – 2127.

Quintana, XD; Suñer, L; Trobajo, R; Gascón, S & Moreno-Amich, R (1999). Nutrientes y renovación del agua en aiguamolls de l'Empordà (NE de la Península Ibérica). Uso potencial de agua residual para la inundación de zonas húmedas. *Limnetica* 16: 49-59.

Quintana, XD (2002). Estimation of water circulation in a Mediterranean salt marsh and its relationship with flooding causes. *Limnetica* 21: 25-35.

Quintana, XD; Baix, D; Badosa, A; Brucet, S; Gascón, S; Gesti, J; López-Flores, R; Pou-Rovira, Q; Trobajo, R & Moreno-Amich, R (2004). Limnología de los humedales costeros mediterráneos. El caso de Aiguamolls de l'Empordà. *Ecosistemas revista científica y técnica de ecología y medio ambiente* 13.2: 30-36.

Valiela, I (2006). *Global Coastal Change*. Hong Kong: Blackwell Publishing.

Vilanova, M (2017). Seguiment de dues llacunes costaneres de nova creació i estudi de la comunitat zooplanctònica a l'espai "Les Madrigueres". Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona.

López-Monroy, FM; Troccoli-Ghinaglia, LE; Poblete, E & Valerio-González, LR (2017). Dinámica de los Nutrientes en una Laguna Costera Tropical Hipersalina (Las Marites, Isla de Margarita, Venezuela). *Rev. Bio Ciencias*.

Murphy J & Riley JP (1962), A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, *Analytica Chimica Acta*, Volume 27, 1962: 31-36.

Sardo, AM; Morgado, F & Soares, AMVM (2005). "Mesopodopsis Slabberi (Crustacea: Mysidacea): Can It Be Used in Toxicity Tests?" *Ecotoxicology and environmental safety* 60.1: 81–86.

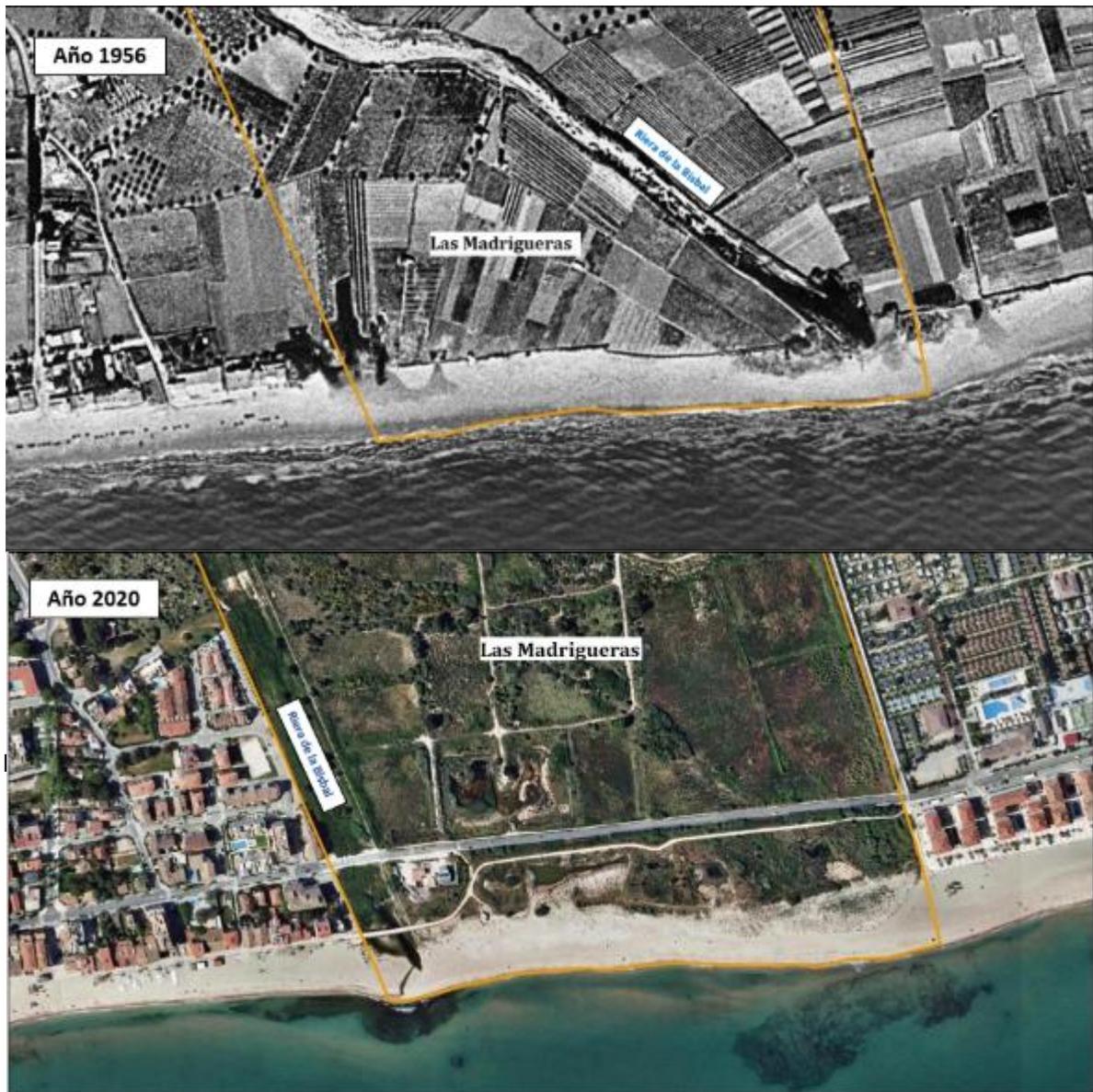
Parada, N (2019). Seguimiento ambiental de humedales costeros de nueva creación y de la comunidad zooplanctónica en Les Madrigueres. Departamento de Biología Evolutiva, Ecología Y Ciencias Ambientales, Sección Ecología. Universitat de Barcelona.

Tachet, H; Richoux, P; Bournaud, M & Usseglio-Polatera, P (2010). *Invertébrés d'eau douce systématique, biologie, écologie*. CNRE Éditions. Paris: pp 607.

Whittaker, RH (1960). *Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California* Author. *Ecological Monographs*, 30(3): 279–338.

Whitfield, AK; Elliott, M; Basset, A; Blaber, SJM & West RJ (2012) "Paradigms in Estuarine Ecology – A Review of the Remane Diagram with a Suggested Revised Model for Estuaries." *Estuarine, coastal and shelf science* 97: 78–90.

## Anexo 1:



**Figura 1:** Comparativa de fotos aéreas de los años 1956 y 2000, en el espacio natural de “Las Madrigueras”. Se muestra el cambio en el cauce de la riera y el incremento en la ocupación urbanística en los alrededores del espacio natural.

Elaboración propia a partir de: Instituto Cartográfico de Catalunya, 2017

**Tabla 1.1.** Fechas de mediciones in situ y toma de muestras

Año	Mes	Fecha exacta	Observaciones
2021	Noviembre	27/11/2021	Soleado, lluvia abundante hace unos días.
2021	Diciembre	18/12/2021	Soleado, vientos suaves.
2022	Enero	22/01/2022	Soleado, vientos suaves.
2022	Febrero	19/02/2022	Nublado, vientos suaves.
2022	Marzo	18/03/2022	Soleado, lluvia abundante hace unos días.
2022	Abril	29/04/2022	Soleado, vientos suaves.

Anexo 2:

Tabla 2.1. Resultados de las mediciones de temperatura del agua

Periodo de muestreo	Laguna A	Laguna B	Laguna C	Laguna PERM
	°C			
nov-21	10	11.5	10.5	11.6
dic-21	9.9	9.2	10.4	10.6
ene-22	6.6	5.5	7	7.4
feb-22	13.3	12.1	12.7	13
mar-22	14.3	15.2	16.5	15.8
abr-22	22.4	19.8	22.2	23.8
<b>Media (<math>\mu</math>)</b>	<b>12.8</b>	<b>12.2</b>	<b>13.2</b>	<b>13.7</b>
<b>Desviación estándar (<math>\sigma</math>)</b>	<b>5.5</b>	<b>4.9</b>	<b>5.4</b>	<b>5.7</b>
<b>Error estándar (se)</b>	<b>2.2</b>	<b>2.0</b>	<b>2.2</b>	<b>2.3</b>

Tabla 2.2. Resultados de las mediciones de conductividad eléctrica

Periodo de muestreo	Laguna A	Laguna B	Laguna C	Laguna PERM
	mS/cm			
nov-21	16.96	8.73	8.12	9.35
dic-21	21.88	11.57	9.45	9.74
ene-22	22.2	11.95	9.51	9.89
feb-22	22.9	12.95	9.5	10.46
mar-22	11.92	5.42	7.63	7.73
abr-22	17.49	9.59	8.41	8.55
<b>Media (<math>\mu</math>)</b>	<b>18.9</b>	<b>10.0</b>	<b>8.8</b>	<b>9.3</b>
<b>Desviación estándar (<math>\sigma</math>)</b>	<b>4.2</b>	<b>2.7</b>	<b>0.8</b>	<b>1.0</b>
<b>Error estándar (se)</b>	<b>1.7</b>	<b>1.1</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>

**Tabla 2.3.** Resultados de las mediciones de pH

Periodo de muestreo	Laguna A	Laguna B	Laguna C	Laguna PERM
	Unidades de pH			
nov-21	8.65	8.25	8.25	8.57
dic-21	8.63	8.17	8.42	8.45
ene-22	8.93	8.48	8.4	8.92
feb-22	9.06	8.19	8.86	8.98
mar-22	9.23	8.07	8.25	8.7
abr-22	9.26	7.68	8.77	9.23
<b>Media (<math>\mu</math>)</b>	<b>9.0</b>	<b>8.1</b>	<b>8.5</b>	<b>8.8</b>
<b>Desviación estándar (<math>\sigma</math>)</b>	<b>0.28</b>	<b>0.26</b>	<b>0.26</b>	<b>0.29</b>
<b>Error estándar (se)</b>	<b>0.11</b>	<b>0.11</b>	<b>0.11</b>	<b>0.12</b>

**Tabla 2.4.** Resultados de las mediciones de oxígeno disuelto

Periodo de muestreo	Laguna A	Laguna B	Laguna C	Laguna PERM
	Oxígeno disuelto (mg/L)			
nov-21	10.45	8.97	8.72	9.1
dic-21	10.8	5.46	9.79	7.93
ene-22	13.32	5.85	12.71	11.18
feb-22	11.96	4.15	17.67	9.48
mar-22	12.54	6.64	10.16	10.78
abr-22	11.48	4.24	10.65	19.91
<b>Media (<math>\mu</math>)</b>	<b>11.8</b>	<b>5.9</b>	<b>11.6</b>	<b>11.4</b>
<b>Desviación estándar (<math>\sigma</math>)</b>	<b>1.1</b>	<b>1.8</b>	<b>3.2</b>	<b>4.3</b>
<b>Error estándar (se)</b>	<b>0.44</b>	<b>0.73</b>	<b>1.32</b>	<b>1.77</b>

**Tabla 2.5.** Resultados de las mediciones del porcentaje de saturación de oxígeno

Periodo de muestreo	Laguna A	Laguna B	Laguna C	Laguna PERM
	% Saturación			
nov-21	94.4	84.1	79.8	85.5
dic-21	94.6	51	89.9	74.5
ene-22	107.2	45.7	105.2	93.3
feb-22	113.3	32.2	165.9	90.1
mar-22	122.3	67.3	105.9	107.2
abr-22	135.9	49	118	237.7
<b>Media (<math>\mu</math>)</b>	<b>111.3</b>	<b>54.9</b>	<b>110.8</b>	<b>114.7</b>
<b>Desviación estándar (<math>\sigma</math>)</b>	<b>16.2</b>	<b>18.2</b>	<b>30.1</b>	<b>61.2</b>
<b>Error estándar (se)</b>	<b>6.6</b>	<b>7.4</b>	<b>12.3</b>	<b>25.0</b>

**Tabla 2.6.** Resultados de las concentraciones de nitrato

Periodo de muestreo	Laguna A	Laguna B	Laguna C	Laguna PERM
	mg/L			
nov-21	0.37	0.04	4.22	0.67
dic-21	0.04	0.11	0.04	0.04
ene-22	0.04	1.59	0.04	0.34
feb-22	0.04	2.62	0.07	0.4
mar-22	0.27	0.04	0.58	0.04
abr-22	3.21	5.13	6.5	1.81
<b>Media (<math>\mu</math>)</b>	<b>0.66</b>	<b>1.59</b>	<b>1.91</b>	<b>0.55</b>
<b>Desviación estándar (<math>\sigma</math>)</b>	<b>1.26</b>	<b>2.03</b>	<b>2.78</b>	<b>0.66</b>
<b>Error Estándar (se)</b>	<b>0.51</b>	<b>0.83</b>	<b>1.13</b>	<b>0.27</b>

**Tabla 2.7.** Resultados de las concentraciones de amonio en la laguna A

Fechas muestreo	Réplica 1			Réplica 2			Réplica 3			$\mu$ (mg/L)	sd	se
	Abs	C $\mu$ mol/L)	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu$ mol/L)	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu$ mol/L)	C (mg/L)			
nov-21	0.793	23.79	<b>0.43</b>	0.814	24.69	<b>0.44</b>	0.841	25.83	<b>0.46</b>	<b>0.45</b>	0.02	0.01
dic-21	0.485	10.71	<b>0.19</b>	0.628	16.78	<b>0.30</b>	0.422	8.03	<b>0.14</b>	<b>0.21</b>	0.08	0.05
ene-22	0.347	4.84	<b>0.09</b>	0.298	2.76	<b>0.05</b>	0.581	14.79	<b>0.27</b>	<b>0.13</b>	0.12	0.07
feb-22	0.494	11.09	<b>0.20</b>	0.516	12.02	<b>0.22</b>	0.413	7.65	<b>0.14</b>	<b>0.18</b>	0.04	0.02
mar-22	0.582	13.37	<b>0.24</b>	0.649	14.97	<b>0.27</b>	0.667	15.40	<b>0.28</b>	<b>0.26</b>	0.02	0.01
abr-22	0.131	2.55	<b>0.05</b>	0.206	4.35	<b>0.08</b>	0.102	1.85	<b>0.03</b>	<b>0.05</b>	0.02	0.01
<b>Promedio</b>										<b>0.21</b>	<b>0.05</b>	<b>0.03</b>

Nota: Significado simplificadas: Abs: Absorbancia a longitud de onda 660 nm, C: Concentración,  $\mu$ : media aritmética, sd: desviación estándar, se: error estándar.

**Tabla 2.8.** Resultados de las concentraciones de amonio en la laguna B

Fechas muestreo	Réplica 1			Réplica 2			Réplica 3			$\mu$ (mg/L)	sd	se
	Abs	C $\mu$ mol/L)	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu$ mol/L)	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu$ mol/L)	C (mg/L)			
nov-21	0.600	15.59	<b>0.28</b>	0.673	18.70	<b>0.34</b>	0.645	17.51	<b>0.32</b>	<b>0.31</b>	0.03	0.02
dic-21	0.341	4.59	<b>0.08</b>	0.324	3.87	<b>0.07</b>	0.406	7.35	<b>0.13</b>	<b>0.09</b>	0.03	0.02
ene-22	0.301	2.89	<b>0.05</b>	0.431	8.41	<b>0.15</b>	0.368	5.74	<b>0.10</b>	<b>0.10</b>	0.05	0.03
feb-22	0.475	10.28	<b>0.19</b>	0.525	12.41	<b>0.22</b>	0.537	12.92	<b>0.23</b>	<b>0.21</b>	0.03	0.01
mar-22	0.652	15.04	<b>0.27</b>	0.668	15.43	<b>0.28</b>	0.677	15.64	<b>0.28</b>	<b>0.28</b>	0.01	0.003
abr-22	0.116	2.19	<b>0.04</b>	0.129	2.50	<b>0.04</b>	0.191	3.99	<b>0.07</b>	<b>0.05</b>	0.02	0.01
<b>Promedio</b>										<b>0.17</b>	<b>0.03</b>	<b>0.02</b>

Nota: Significado simplificadas: Abs: Absorbancia a longitud de onda 660 nm, C: Concentración,  $\mu$ : media aritmética, sd: desviación estándar, se: error estándar.

**Tabla 2.9.** Resultados de las concentraciones de amonio en la laguna C

Fechas muestreo	Réplica 1			Réplica 2			Réplica 3			$\mu$ (mg/L)	sd	se
	Abs	C $\mu$ mol/L)	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu$ mol/L)	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu$ mol/L)	C (mg/L)			
nov-21	0.357	5.27	<b>0.09</b>	0.279	1.96	<b>0.04</b>	0.250	0.72	<b>0.01</b>	<b>0.05</b>	0.04	0.02
dic-21	0.468	9.99	<b>0.18</b>	0.340	4.55	<b>0.08</b>	0.378	6.16	<b>0.11</b>	<b>0.12</b>	0.05	0.03
ene-22	0.308	3.19	<b>0.06</b>	0.301	2.89	<b>0.05</b>	0.232	-0.04	<b>0.00</b>	<b>0.04</b>	0.03	0.02
feb-22	0.304	3.02	<b>0.05</b>	0.304	3.02	<b>0.05</b>	0.313	3.40	<b>0.06</b>	<b>0.06</b>	0.004	0.002
mar-22	0.656	15.14	<b>0.27</b>	0.625	14.40	<b>0.26</b>	0.645	14.88	<b>0.27</b>	<b>0.27</b>	0.01	0.004
abr-22	0.095	1.68	<b>0.03</b>	0.087	1.49	<b>0.03</b>	0.095	1.68	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	0.002	0.001
<b>Promedio</b>										<b>0.10</b>	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>

Nota: Significado simplificadas: Abs: Absorbancia a longitud de onda 660 nm, C: Concentración,  $\mu$ : media aritmética, sd: desviación estándar, se: error estándar.

**Tabla 2.10.** Resultados de las concentraciones de amonio en la laguna PERM

Fechas muestreo	Réplica 1			Réplica 2			Réplica 3			$\mu$ (mg/L)	sd	se
	Abs	C $\mu$ mol/L)	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu$ mol/L)	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu$ mol/L)	C (mg/L)			
nov-21	0.790	23.67	<b>0.43</b>	0.724	20.86	<b>0.38</b>	0.688	19.33	<b>0.35</b>	<b>0.38</b>	0.04	0.02
dic-21	0.425	8.16	<b>0.15</b>	0.342	4.63	<b>0.08</b>	0.378	6.16	<b>0.11</b>	<b>0.11</b>	0.03	0.02
ene-22	0.280	2.00	<b>0.04</b>	0.240	0.30	<b>0.01</b>	0.379	6.20	<b>0.11</b>	<b>0.05</b>	0.05	0.03
feb-22	0.378	6.16	<b>0.11</b>	0.470	10.07	<b>0.18</b>	0.398	7.01	<b>0.13</b>	<b>0.14</b>	0.04	0.02
mar-22	0.654	15.09	<b>0.27</b>	0.673	15.55	<b>0.28</b>	0.680	15.72	<b>0.28</b>	<b>0.28</b>	0.01	0.003
abr-22	0.147	2.93	<b>0.05</b>	0.087	1.49	<b>0.03</b>	0.080	1.32	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	0.02	0.01
<b>Promedio</b>										<b>0.17</b>	<b>0.03</b>	<b>0.02</b>

Nota: Significado simplificadas: Abs: Absorbancia a longitud de onda 660 nm, C: Concentración,  $\mu$ : media aritmética, sd: desviación estándar, se: error estándar.

**Tabla 2.11.** Resultados de las concentraciones de fosfato en la laguna A

Fechas muestreo	Réplica 1			Réplica 2			Réplica 3			$\mu$ (mg/L)	sd	se
	Abs	C ( $\mu$ mol/L)	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu$ mol/L)	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu$ mol/L)	C (mg/L)			
nov-21	0.158	1.483	<b>0.14</b>	0.162	1.521	<b>0.14</b>	0.160	1.502	<b>0.14</b>	<b>0.14</b>	0.002	0.001
dic-21	0.093	0.871	<b>0.08</b>	0.083	0.777	<b>0.07</b>	0.109	1.022	<b>0.10</b>	<b>0.08</b>	0.01	0.01
ene-22	0.135	1.266	<b>0.12</b>	0.208	1.954	<b>0.19</b>	0.151	1.417	<b>0.13</b>	<b>0.15</b>	0.03	0.02
feb-22	0.260	2.444	<b>0.23</b>	0.224	2.105	<b>0.20</b>	0.296	2.783	<b>0.26</b>	<b>0.23</b>	0.03	0.02
mar-22	0.578	6.143	<b>0.58</b>	0.580	6.164	<b>0.58</b>	0.577	6.132	<b>0.58</b>	<b>0.58</b>	0.002	0.001
abr-22	0.088	0.906	<b>0.09</b>	0.024	0.222	<b>0.02</b>	0.024	0.222	<b>0.02</b>	<b>0.04</b>	0.04	0.02
<b>Promedio</b>										<b>0.20</b>	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>

Nota: Significado simplificadas: Abs: Absorbancia a longitud de onda 880 nm, C: Concentración,  $\mu$ : media aritmética, sd: desviación estándar, se: error estándar.

**Tabla 2.12.** Resultados de las concentraciones de fosfato en la laguna B

Fechas muestreo	Réplica 1			Réplica 2			Réplica 3			$\mu$ (mg/L)	sd	se
	Abs	C ( $\mu$ mol/L)	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu$ mol/L)	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu$ mol/L)	C (mg/L)			
nov-21	0.097	0.909	<b>0.09</b>	0.054	0.504	<b>0.05</b>	0.049	0.457	<b>0.04</b>	<b>0.06</b>	0.024	0.01
dic-21	0.016	0.146	<b>0.01</b>	0.033	0.306	<b>0.03</b>	0.025	0.231	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.008	0.004
ene-22	0.016	0.146	<b>0.01</b>	0.021	0.193	<b>0.02</b>	0.022	0.202	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.003	0.002
feb-22	0.093	0.871	<b>0.08</b>	0.106	0.993	<b>0.09</b>	0.115	1.078	<b>0.10</b>	<b>0.09</b>	0.010	0.01
mar-22	0.567	6.025	<b>0.57</b>	0.567	6.025	<b>0.57</b>	0.566	6.014	<b>0.57</b>	<b>0.57</b>	0.001	0.0003
abr-22	0.008	0.051	<b>0.005</b>	0.011	0.083	<b>0.01</b>	0.012	0.094	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	0.002	0.001
<b>Promedio</b>										<b>0.13</b>	<b>0.01</b>	<b>0.005</b>

Nota: Significado simplificadas: Abs: Absorbancia a longitud de onda 880 nm, C: Concentración,  $\mu$ : media aritmética, sd: desviación estándar, se: error estándar.

**Tabla 2.13.** Resultados de las concentraciones de fosfato en la laguna C

Fechas muestreo	Réplica 1			Réplica 2			Réplica 3			$\mu$ (mg/L)	sd	se
	Abs	C ( $\mu\text{mol/L}$ )	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu\text{mol/L}$ )	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu\text{mol/L}$ )	C (mg/L)			
nov-21	0.045	0.419	<b>0.04</b>	0.062	0.579	<b>0.05</b>	0.059	0.551	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	0.008	0.005
dic-21	0.041	0.381	<b>0.04</b>	0.057	0.532	<b>0.05</b>	0.042	0.391	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	0.008	0.005
ene-22	0.056	0.523	<b>0.05</b>	0.076	0.711	<b>0.07</b>	0.078	0.730	<b>0.07</b>	<b>0.06</b>	0.011	0.006
feb-22	0.060	0.560	<b>0.05</b>	0.052	0.485	<b>0.05</b>	0.062	0.579	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	0.005	0.003
mar-22	0.556	5.908	<b>0.56</b>	0.550	5.843	<b>0.55</b>	0.543	5.769	<b>0.55</b>	<b>0.55</b>	0.007	0.004
abr-22	0.011	0.083	<b>0.01</b>	0.007	0.040	<b>0.004</b>	0.011	0.083	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	0.002	0.001
<b>Promedio</b>										<b>0.13</b>	<b>0.01</b>	<b>0.004</b>

Nota: Significado simplificadas: Abs: Absorbancia a longitud de onda 880 nm, C: Concentración,  $\mu$ : media aritmética, sd: desviación estándar, se: error estándar.

**Tabla 2.14.** Resultados de las concentraciones de fosfato en la laguna PERM

Fechas muestreo	Réplica 1			Réplica 2			Réplica 3			$\mu$ (mg/L)	sd	se
	Abs	C ( $\mu\text{mol/L}$ )	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu\text{mol/L}$ )	C (mg/L)	Abs	C ( $\mu\text{mol/L}$ )	C (mg/L)			
nov-21	0.039	0.362	<b>0.03</b>	0.023	0.212	<b>0.02</b>	0.028	0.259	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	0.007	0.004
dic-21	0.023	0.212	<b>0.02</b>	0.033	0.306	<b>0.03</b>	0.034	0.315	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	0.005	0.003
ene-22	0.037	0.344	<b>0.03</b>	0.021	0.193	<b>0.02</b>	0.021	0.193	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.008	0.005
feb-22	0.036	0.334	<b>0.03</b>	0.023	0.212	<b>0.02</b>	0.011	0.099	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	0.011	0.006
mar-22	0.529	5.619	<b>0.53</b>	0.517	5.491	<b>0.52</b>	0.522	5.544	<b>0.53</b>	<b>0.53</b>	0.006	0.004
abr-22	0.003	-0.003	<b>-0.0002</b>	0.005	0.019	<b>0.002</b>	0.002	-0.013	<b>-0.001</b>	<b>0.0001</b>	0.002	0.001
<b>Promedio</b>										<b>0.11</b>	<b>0.01</b>	<b>0.004</b>

Nota: Significado simplificadas: Abs: Absorbancia a longitud de onda 880 nm, C: Concentración,  $\mu$ : media aritmética, sd: desviación estándar, se: error estándar.

Anexo 3:

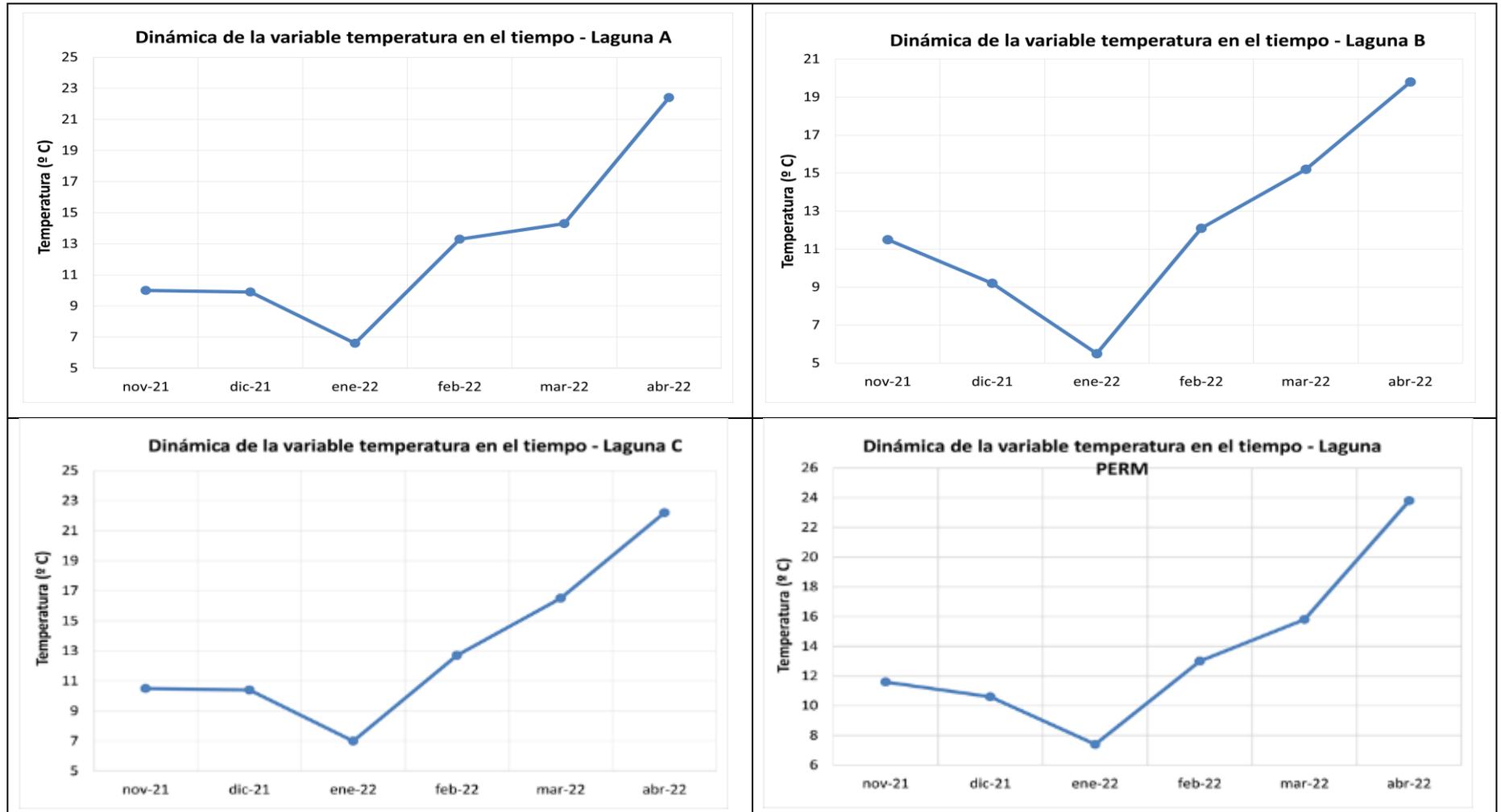
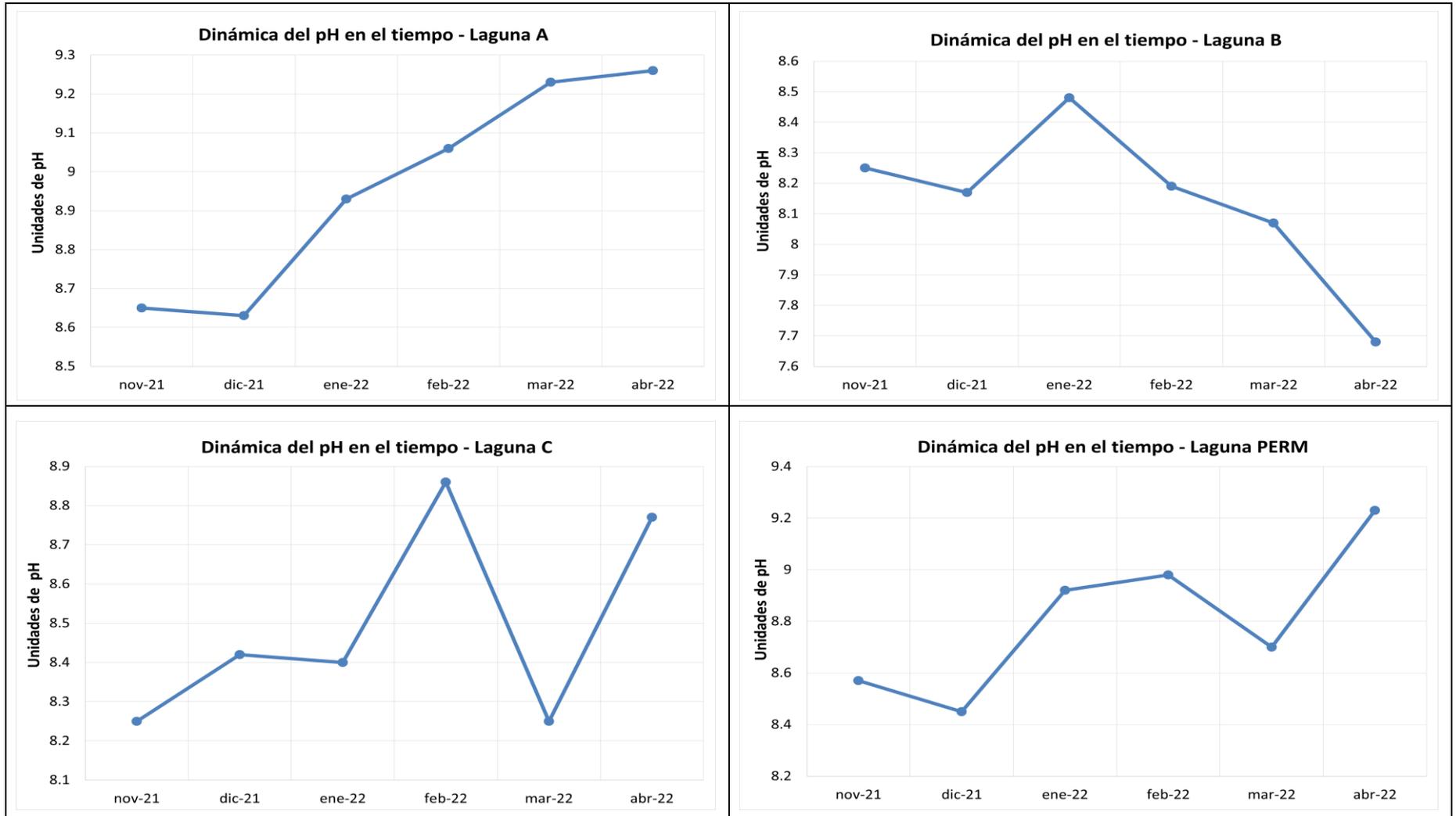
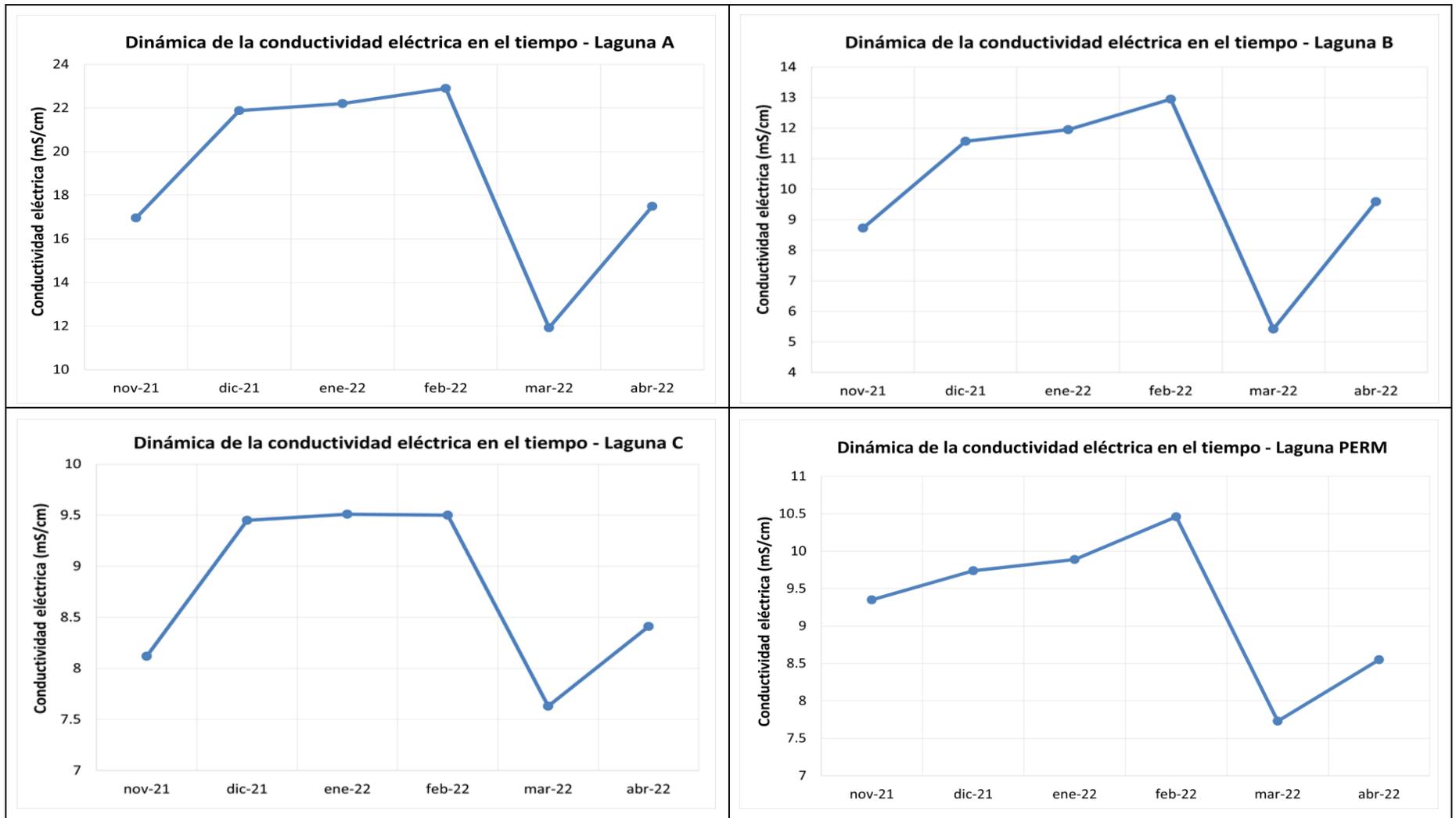


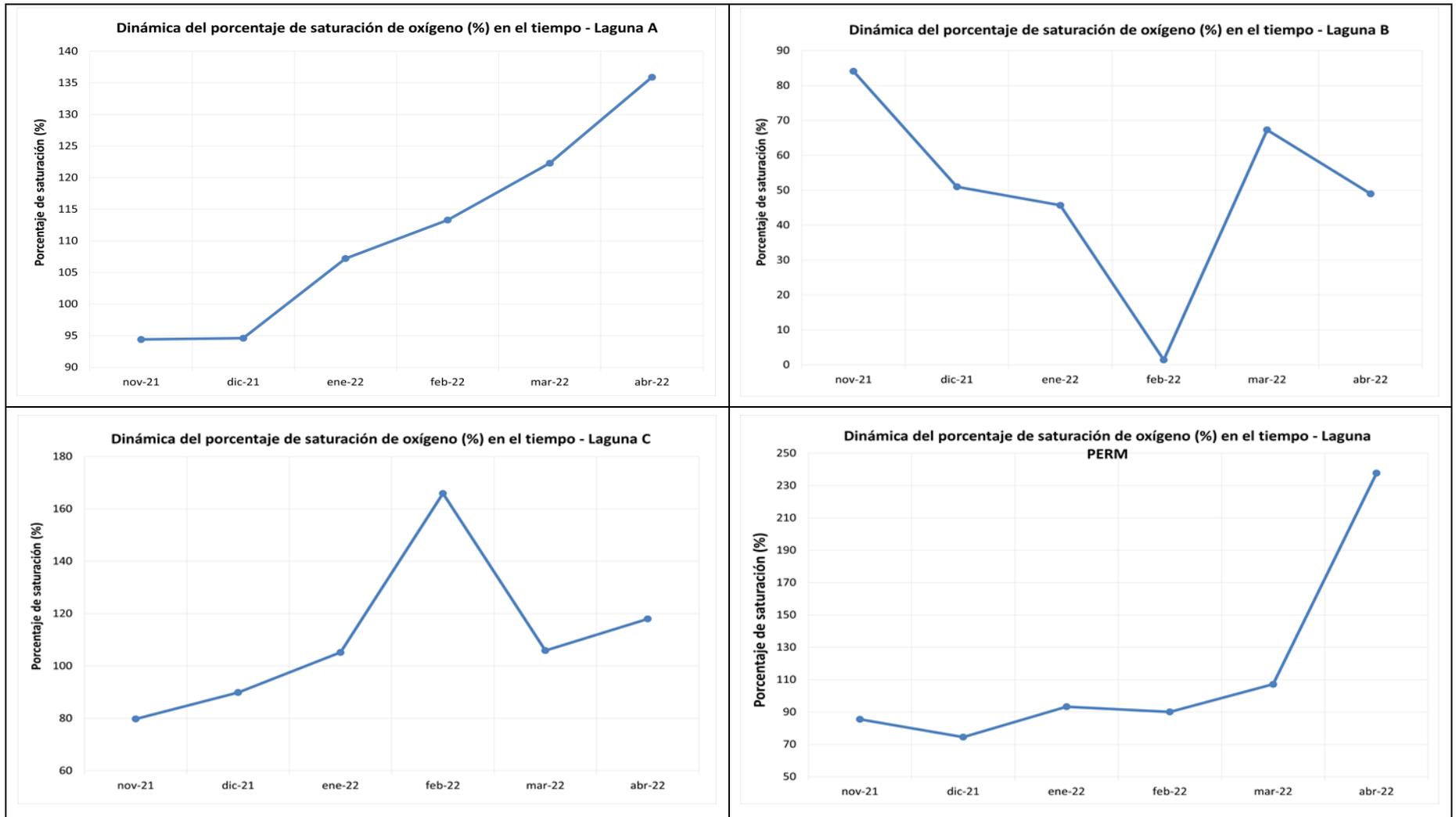
Figure 3.1. Dinámica temporal de la temperatura en las lagunas “Las Madrigueras”



**Figure 3.2.** Dinámica temporal del pH en las lagunas “Las Madrigueras”



**Figure 3.3.** Dinámica temporal de la conductividad eléctrica en las lagunas “Las Madrigueras”



**Figure 3.4.** Dinámica temporal del porcentaje de saturación en las lagunas “Las Madrigueras”

**Anexo 4:**

Tabla 4.1. Abundancia relativa (%) de macroinvertebrados

<b>Laguna A</b>					
<b>Taxones</b>	<b>nov-21</b>	<b>dic-21</b>	<b>ene-22</b>	<b>feb-22</b>	<b>abr-22</b>
<i>Gammarus aequicauda</i>	50%	0%	3%	0%	5%
<i>Mesopodopsis slabberi</i>	25%	82%	80%	95%	45%
<i>Lekanesphaera hookeri</i>	21%	14%	16%	0%	49%
Otros (< 5 %)	4%	5%	1%	5%	1%
<b>Laguna B</b>					
<b>Taxones</b>	<b>nov-21</b>	<b>dic-21</b>	<b>ene-22</b>	<b>feb-22</b>	<b>abr-22</b>
Chironomidae	30%	46%	43%	29%	17%
<i>Dixa</i>	0%	0%	0%	0%	7%
Baetidae	61%	44%	49%	57%	60%
Micronectidae	0%	0%	0%	0%	7%
Otros (< 5 %)	9%	10%	9%	14%	10%
<b>Laguna C</b>					
<b>Taxones</b>	<b>nov-21</b>	<b>dic-21</b>	<b>ene-22</b>	<b>feb-22</b>	<b>abr-22</b>
Chironomidae	53%	0%	8%	15%	7%
<i>Dixa</i>	0%	0%	0%	0%	72%
Baetidae	42%	90%	89%	81%	0%
<i>Plea</i>	0%	0%	0%	0%	13%
Otros (< 5 %)	5%	10%	3%	4%	7%
<b>Laguna PERM</b>					
<b>Taxones</b>	<b>nov-21</b>	<b>dic-21</b>	<b>ene-22</b>	<b>feb-22</b>	<b>abr-22</b>
Chironomidae	19%	82%	86%	62%	88%
Baetidae	69%	12%	11%	23%	0%
Micronectidae	10%	0%	0%	9%	5%
Otros (< 5 %)	3%	5%	3%	6%	7%

Nota: Los macroinvertebrados con abundancias menores al 5 % contadas en algún momento del período del muestreo, se mencionan a continuación:

- **Laguna A:** Orden Dípteros (F. Chironomidae), Orden Coleoptero (F. Hydraenidae)
- **Laguna B:** Orden Dípteros (F. Ceratopogonidae, F. Rhagionidae, F. Culicidae), Orden Odonatos (G. *Ischnura*, G. *Boyeria irene*, *Sympetrum fonscolombii*), Orden Coleoptero (G. *Berosus*, G. *Laccophilus*), Orden Heteróptero (F. Notonectidae, F. Micronectidae, G. *Sigara*, G. *Plea*), Crustáceo (G. *Mesopodopsis slabberi*)
- **Laguna C:** Orden Dípteros (F. Ceratopogonidae, F. Rhagionidae, F. Culicidae), Orden Odonatos (G. *Ischnura*, G. *Boyeria irene*, G. *Sympetrum fonscolombii*), Orden Coleoptero (G. *Laccophilus*), Orden Heteróptero (F. Notonectidae, F. Micronectidae, G. *Sigara*).
- **Laguna PERM:** Orden Dípteros (F. Ceratopogonidae, F. Rhagionidae), Orden Odonatos: (G. *Ischnura*, G. *Boyeria irene*, G. *Sympetrum fonscolombii*), Orden Coleoptero (G. *Laccophilus*), Orden Heteróptero (F. Notonectidae, F. Micronectidae, G. *Sigara*, G. *Plea*, F. Naucoridae).

Anexo 5:

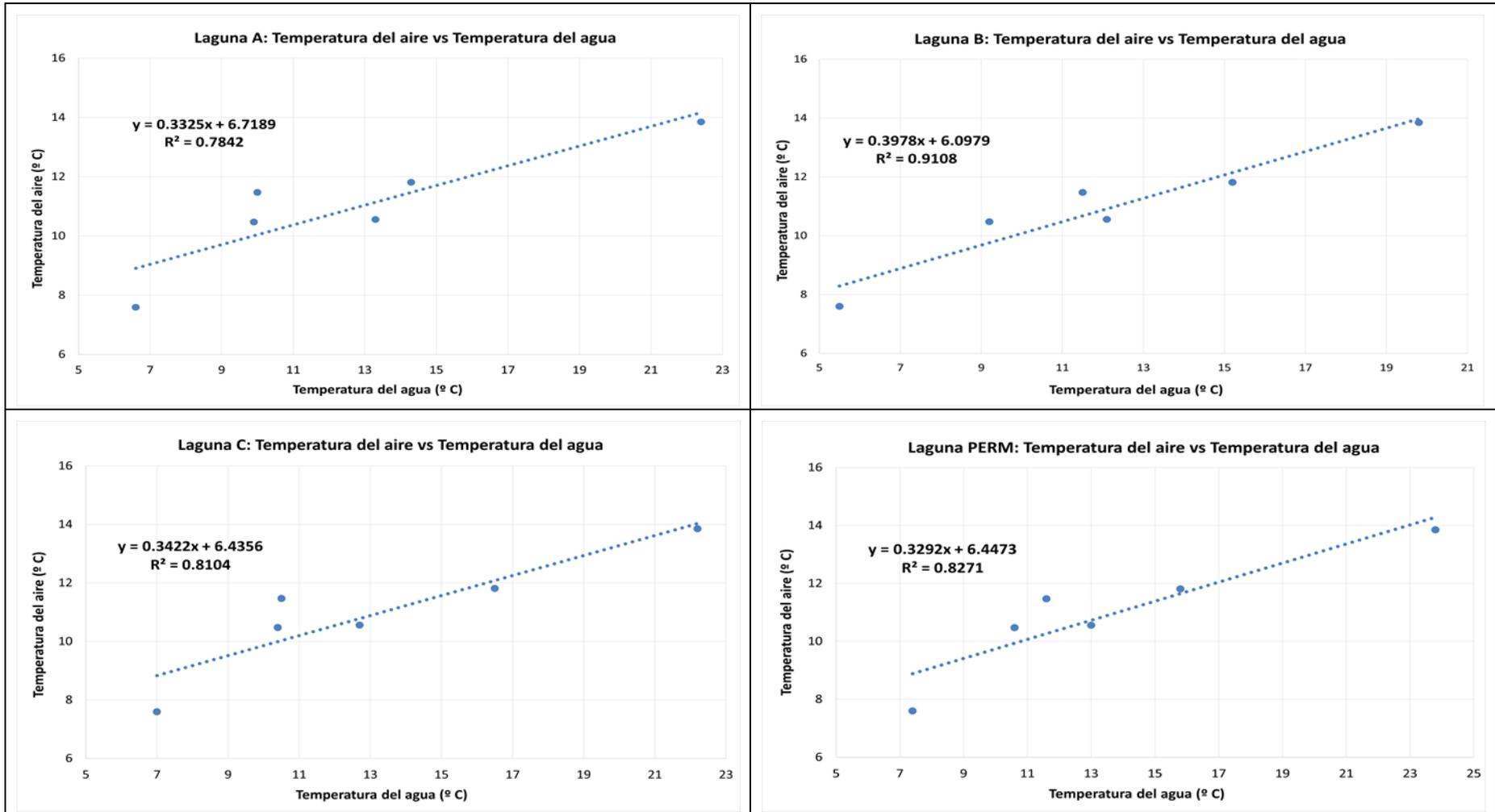


Figure 5.1. Relación entre la temperatura del agua y la temperatura ambiental

**Anexo 6:**

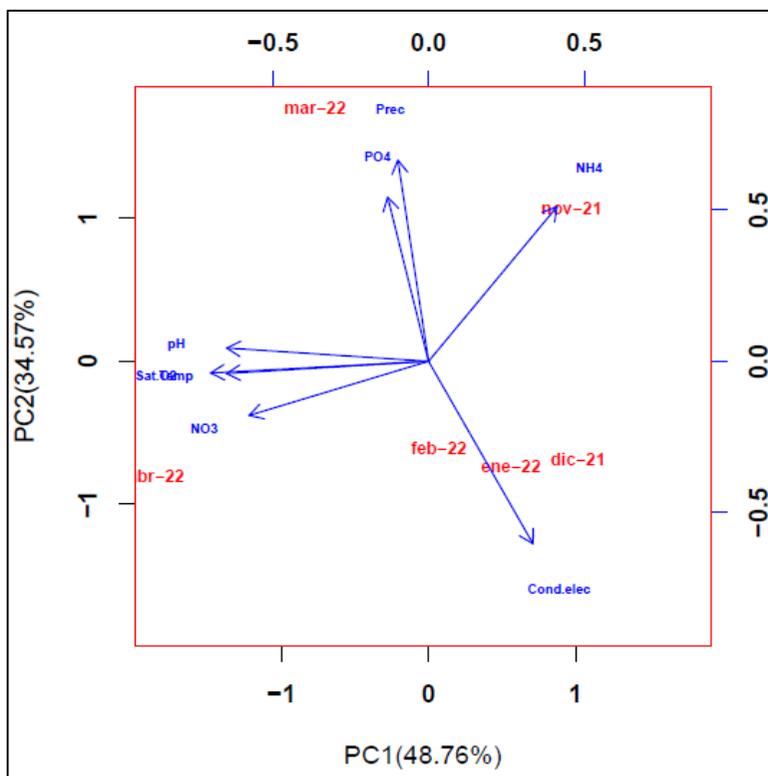
**Tabla 6.1.** Comparación de variables ambientales entre el período 2018 - 2019 y el período 2021 - 2022

<b>Laguna A</b>												
<b>Variables</b>	<b>nov-18</b>	<b>nov-21</b>	<b>dic-18</b>	<b>dic-21</b>	<b>ene-19</b>	<b>ene-22</b>	<b>feb-19</b>	<b>feb-22</b>	<b>mar-19</b>	<b>mar-22</b>	<b>abr-19</b>	<b>abr-22</b>
C.E	7.13	16.96	4.78	21.88	4.73	22.2	4.9	22.9	29.2	11.92	31.4	17.49
pH	9.83	8.65	9.14	8.63	9.25	8.93	9.31	9.06	8.98	9.23	9.22	9.26
% Sat	96.8	94.4	101.5	94.6	106.6	107.2	103.1	113.3	94	122.3	102.6	135.9
NH4	0.15	0.45	0.12	0.21	0.13	0.13	0.13	0.18	0.13	0.26	0.08	0.05
NO3	5.77	0.37	2.2	0.04	36.8	0.04	-	0.04	13.25	0.27	9.3	3.21
<b>Laguna B</b>												
<b>Variables</b>	<b>nov-18</b>	<b>nov-21</b>	<b>dic-18</b>	<b>dic-21</b>	<b>ene-19</b>	<b>ene-22</b>	<b>feb-19</b>	<b>feb-22</b>	<b>mar-19</b>	<b>mar-22</b>	<b>abr-19</b>	<b>abr-22</b>
C.E	8.27	8.73	6.77	11.57	6.74	11.95	7.24	12.95	7.96	5.42	8.45	9.59
pH	8.6	8.25	8.89	8.17	9	8.48	8.98	8.19	8.96	8.07	8.92	7.68
% Sat	97.2	84.1	105.6	51	107.6	45.7	106.8	32.2	128	67.3	120.9	49
NH4	0.12	0.31	0.12	0.09	0.13	0.1	0.13	0.21	0.07	0.28	0.13	0.05
NO3	3.85	0.04	4.78	0.11	3.81	1.59	2.64	2.62	8.1	0.04	5.28	5.13
<b>Laguna C</b>												
<b>Variables</b>	<b>nov-18</b>	<b>nov-21</b>	<b>dic-18</b>	<b>dic-21</b>	<b>ene-19</b>	<b>ene-22</b>	<b>feb-19</b>	<b>feb-22</b>	<b>mar-19</b>	<b>mar-22</b>	<b>abr-19</b>	<b>abr-22</b>
C.E	7.36	8.12	3.15	9.45	3.04	9.51	3.47	9.5	4.67	7.63	5.21	8.41
pH	9.03	8.25	8.94	8.42	8.67	8.4	9.13	8.86	8.74	8.25	9.16	8.77
% Sat	123.9	79.8	122.6	89.9	100.1	105.2	149.1	165.9	113.3	105.9	155.6	118
NH4	0.16	0.05	0.14	0.12	0.07	0.04	0.11	0.06	0.08	0.27	0.2	0.03
NO3	3.93	4.22	1.44	0.04	1.41	0.04	1.95	0.07	4.5	0.58	1.9	6.5
<b>Laguna PERM</b>												
<b>Variables</b>	<b>nov-18</b>	<b>nov-21</b>	<b>dic-18</b>	<b>dic-21</b>	<b>ene-19</b>	<b>ene-22</b>	<b>feb-19</b>	<b>feb-22</b>	<b>mar-19</b>	<b>mar-22</b>	<b>abr-19</b>	<b>abr-22</b>
C.E	12.5	9.35	9.54	9.74	9.67	9.89	9.95	10.46	10.1	7.73	10.5	8.55
pH	8.04	8.57	7.41	8.45	8.38	8.92	8.51	8.98	8.33	8.7	6.9	9.23
% Sat	51.8	85.5	70.4	74.5	77.9	93.3	101.7	90.1	77.3	107.2	28	237.7
NH4	0.17	0.38	0.16	0.11	0.14	0.05	0.18	0.14	0.13	0.28	0.4	0.03
NO3	5.77	0.67	3.28	0.04	4.16	0.34	4.13	0.4	2.96	0.04	9.0	1.81

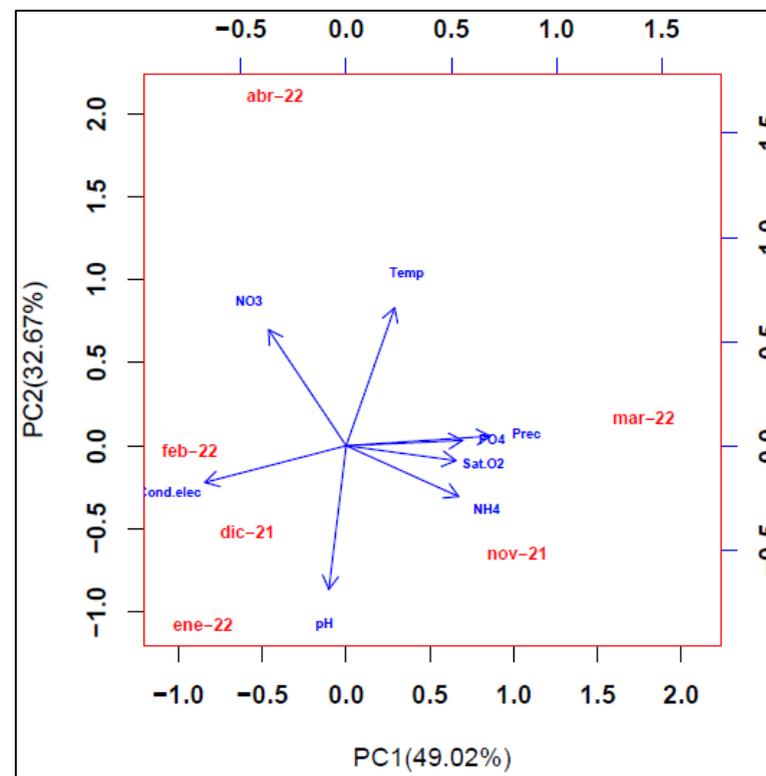
Nota: Significado variables simplificadas: C.E: conductividad eléctrica, pH: unidades del pH, % Sat: porcentaje de saturación de oxígeno, NH4: amonio y NO3: nitrato.

Anexo 7:

### ACP Laguna A

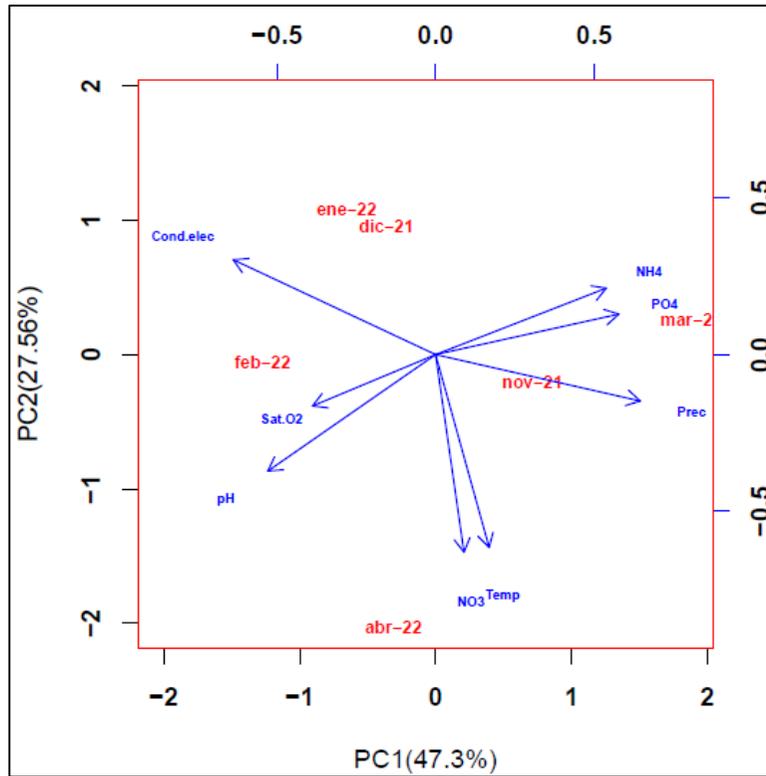


### ACP Laguna B

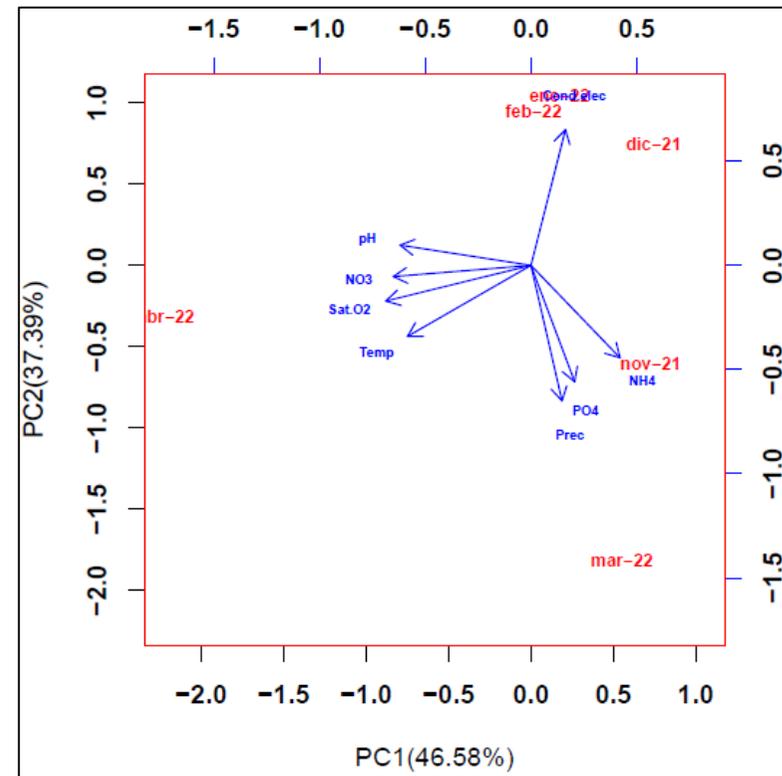


**Figura 7.1.** Análisis de Componentes Principales de los humedales A y B, a la izquierda y derecha, respectivamente. Significado variables simplificadas: Temp: temperatura, prec: Precipitación, pH: unidades del pH, Cond.elec: conductividad eléctrica, Sat.O2: porcentaje de saturación de oxígeno, NO3: nitrato, NH4: amonio, PO4: fosfato.

### ACP Laguna C



### ACP Laguna PERM



**Figura 7.2.** Análisis de Componentes Principales de los humedales C y PERM, a la izquierda y derecha, respectivamente. Significado variables simplificadas: Temp: temperatura, prec: Precipitación, pH: unidades del pH, Cond.elec: conductividad eléctrica, Sat.O2: porcentaje de saturación de oxígeno, NO3: nitrato, NH4: amonio, PO4: fosfato.

### Output Laguna A:

Principal Component Analysis, Data type: Environmental

#### Matriz de correlaciones

	Temp	pH	Cond.elec	Sat.O2	Prec	NO3	NH4
pH	0.71079304						
Cond.elec	-0.39348345	-0.40853934					
Sat.O2	0.84674627	0.96119439	-0.38927696				
Prec	0.13273448	0.08031734	-0.89751435	0.04859414			
NO3	0.87502723	0.52677810	-0.25046995	0.73710713	0.04377949		
NH4	-0.44318037	-0.58361088	-0.33592949	-0.64998661	0.68719951	-0.50085696	
PO4	-0.02319773	0.43571018	-0.65286478	0.22262192	0.54012127	-0.36786190	0.24922570

#### Valores propios

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Eigenvalue	3.9007	2.7653	1.1026	0.14597	0.08543
Proportion Explained	0.4876	0.3457	0.1378	0.01825	0.01068
Cumulative Proportion	0.4876	0.8332	0.9711	0.98932	1.00000

#### Pesos de las variables en las PCA

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Temp	-0.811	-0.051	-0.252	0.236	0.103
pH	-0.810	0.055	0.335	0.023	-0.133
Cond.elec	0.419	-0.754	0.119	0.138	-0.114
Sat.O2	-0.875	-0.048	0.131	-0.010	-0.074
Prec	-0.123	0.831	-0.273	-0.056	-0.081
NO3	-0.721	-0.224	-0.463	-0.083	-0.014
NH4	0.516	0.639	-0.283	0.165	-0.095
PO4	-0.164	0.678	0.544	0.055	0.070

### Output Laguna B:

Principal Component Analysis, Data type: Environmental

#### Matriz de correlaciones

	Temp	pH	Cond.elec	Sat.O2	Prec	NO3	NH4
pH	-0.948636882						
Cond.elec	-0.503560498	0.338886695					
Sat.O2	0.074915731	-0.023581195	-0.714993830				
Prec	0.379403962	-0.158188432	-0.901159666	0.769612399			
NO3	0.554167900	-0.629239229	0.298967497	-0.478986156	-0.396309887		
NH4	0.009231478	0.270389970	-0.521274805	0.337439668	0.757488226	-0.592522819	
PO4	0.284184871	-0.090265630	-0.793845595	0.252534331	0.622447222	-0.395496247	0.572784655

#### Valores propios

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Eigenvalue	3.9216	2.6133	0.8414	0.45796	0.16583
Proportion Explained	0.4902	0.3267	0.1052	0.05725	0.02073
Cumulative Proportion	0.4902	0.8169	0.9220	0.97927	1.00000

#### Pesos de las variables en las PCA

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Temp	0.288	0.828	-0.081	0.100	-0.076
pH	-0.103	-0.862	-0.055	0.024	0.184
Cond.elec	-0.840	-0.220	-0.046	0.165	-0.080
Sat.O2	0.653	-0.089	0.595	-0.042	0.028
Prec	0.858	0.058	0.101	0.190	0.074
NO3	-0.462	0.696	-0.029	0.133	0.273
NH4	0.668	-0.305	-0.300	0.400	-0.034
PO4	0.692	0.032	-0.445	-0.330	0.058

### Output Laguna C:

Principal Component Analysis, Data type: Environmental

#### Matriz de correlaciones

	Temp	pH	Cond.elec	Sat.O2	Prec	NO3	NH4
pH	0.41626097						
Cond.elec	-0.54424245	0.44887548					
Sat.O2	0.24344082	0.83522197	0.36253276				
Prec	0.25269242	-0.62407699	-0.94166176	-0.46693651			
NO3	0.64622456	0.18368270	-0.49268985	-0.20045871	0.36067197		
NH4	0.16319072	-0.49393941	-0.52090083	-0.15059089	0.48396280	-0.40557686	
PO4	0.22224193	-0.48462601	-0.64734575	-0.08219229	0.60503120	-0.29344177	0.93920596

#### Valores propios

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Eigenvalue	3.784	2.2045	1.6403	0.3296	0.041637
Proportion Explained	0.473	0.2756	0.2050	0.0412	0.005205
Cumulative Proportion	0.473	0.7486	0.9536	0.9948	1.000000

#### Pesos de las variables en las PCA

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Temp	0.211	-0.769	-0.312	-0.241	0.004
pH	-0.661	-0.465	-0.367	0.011	-0.051
Cond.elec	-0.798	0.378	-0.011	-0.105	-0.007
Sat.O2	-0.485	-0.205	-0.659	0.282	0.011
Prec	0.807	-0.185	0.143	0.282	-0.072
NO3	0.112	-0.788	0.395	-0.020	0.028
NH4	0.673	0.265	-0.475	-0.179	-0.098
PO4	0.722	0.161	-0.478	0.008	0.120

### Output Laguna PERM:

Principal Component Analysis, Data type: Environmental

#### Matriz de correlaciones

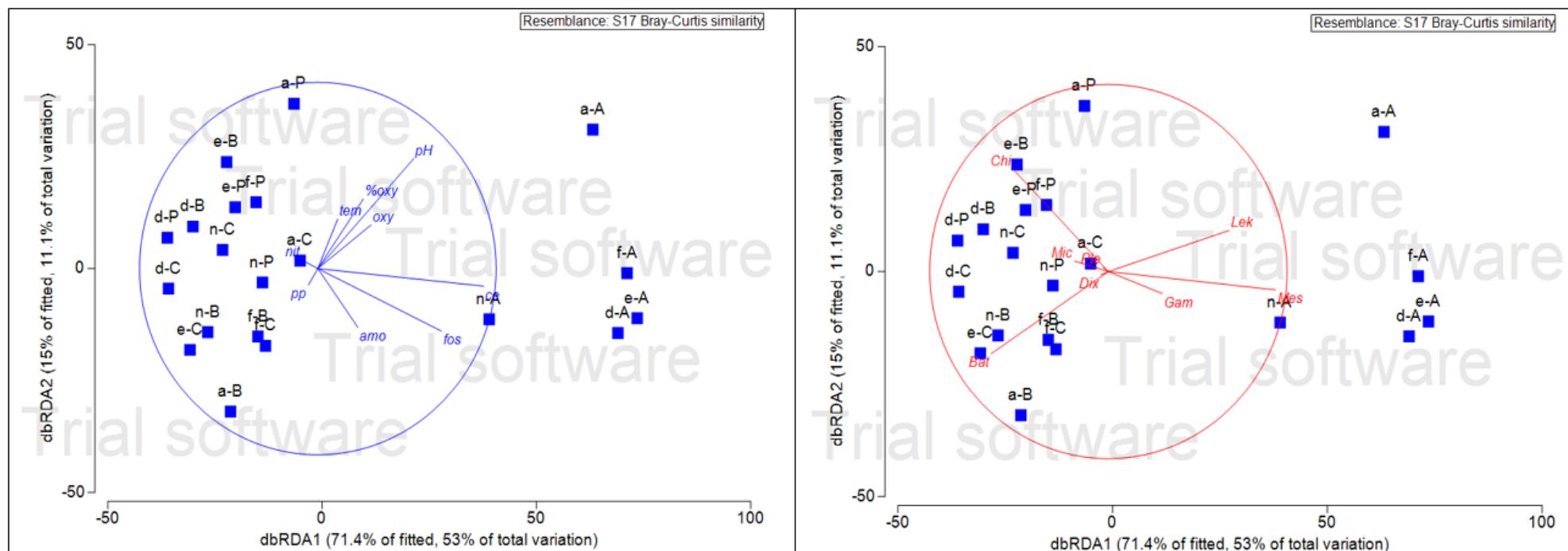
	Temp	pH	Cond.elec	Sat.O2	Prec	NO3	NH4
pH	0.589052564						
Cond.elec	-0.600348521	-0.035446920					
Sat.O2	0.902330014	0.763529896	-0.464110896				
Prec	0.225925352	-0.298688927	-0.714011081	0.018815685			
NO3	0.768637206	0.724079213	-0.201383416	0.909003211	0.008806487		
NH4	-0.169617588	-0.594746863	-0.278096639	-0.438780136	0.844434089	-0.323134648	
PO4	0.138452229	-0.231310955	-0.748878940	-0.109365222	0.617340083	-0.419128451	0.439048979

#### Valores propios

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Eigenvalue	3.7266	2.9911	0.8288	0.30759	0.14592
Proportion Explained	0.4658	0.3739	0.1036	0.03845	0.01824
Cumulative Proportion	0.4658	0.8397	0.9433	0.98176	1.00000

#### Pesos de las variables en las PCA

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Temp	-0.729	-0.426	-0.002	-0.096	0.260
pH	-0.773	0.122	0.115	0.405	-0.028
Cond.elec	0.204	0.814	-0.215	0.147	0.134
Sat.O2	-0.858	-0.214	-0.004	-0.085	-0.045
Prec	0.184	-0.812	-0.282	0.085	-0.100
NO3	-0.813	-0.067	-0.345	-0.026	-0.067
NH4	0.526	-0.554	-0.422	0.137	0.100
PO4	0.258	-0.698	0.468	0.122	0.050



**Figura 7.3.** Análisis de la redundancia (dbRDA) de las lagunas costeras de las “Madrigueras”, en el lado izquierdo se representan las variables ambientales y en el lado derecho las abundancias de los macroinvertebrados.

Nota: Significado variables ambientales simplificadas: tem: temperatura, oxy: concentración de oxígeno disuelto, % oxy: porcentaje de saturación de oxígeno, pH: unidades del pH, ce: conductividad eléctrica, amo: amonio, nit: nitrato, fos: fosfato, pp: precipitación.

Significado de familias de macroinvertebrados simplificadas: Chi: Chironomidae, Bat: Baetidae, Lek: *Lekanesphaera hookeri*, Mes: *Mesopodopsis slabberi*, Gam: *Gammarus aequicauda*, Dix: Dixidae, Mic: Micronectidae, Ple: Plea.

Significado de sites simplificadas: n-A: noviembre laguna A, d-A: diciembre laguna A, e-A: enero laguna A, f-A: febrero laguna A, a-A: abril laguna A (de igual forma para la laguna B, C y PERM).

## Output Lagunas costeras en "Las Madrigueras"

### dbRDA

Distance based redundancy analysis

#### Resemblance worksheet

Name: spe\_BC

Data type: Similarity

Selection: All

Resemblance: S17 Bray-Curtis similarity

#### Predictor variables worksheet

Name: env-norm

Data type: Environmental

Sample selection: All

Variable selection: All

Normalise

#### Percentage of variation explained by individual axes

Axis	% explained variation out of fitted model		% explained variation out of total variation	
	Individual	Cumulative	Individual	Cumulative
1	71.44	71.44	52.98	52.98
2	14.98	86.42	11.11	64.09
3	10.01	96.43	7.42	71.51
4	2.77	99.2	2.05	73.57
5	1.03	100.24	0.77	74.34
6	0.29	100.53	0.22	74.55
7	0	100.53	0	74.55
8	-0.08	100.45	-0.06	74.49
9	-0.45	100	-0.33	74.16

#### dbRDA coordinate scores

Sample	dbRDA1	dbRDA2	dbRDA3	dbRDA4	dbRDA5	dbRDA6	dbRDA7	dbRDA8	dbRDA9
n-A	38.999	-11.344	-1.0139	-16.651	6.0307	1.2744	0.0034414	0.70796	1.1146
n-B	-26.694	-14.203	-13.98	-11.287	-3.5966	-1.8113	-0.010419	1.7245	0.89005
n-C	-23.216	4.1678	2.5201	0.55174	1.7646	-1.5588	-0.16103	0.50556	6.7698
n-P	-13.92	-3.1124	2.4937	-18.614	-0.25746	-1.2589	0.049311	-0.04257	1.0786
d-A	69.01	-14.419	-7.3699	-4.447	-2.544	1.2644	-0.012083	-2.8725	-3.2487
d-B	-30.129	9.378	-24.372	2.8634	-4.6766	2.9094	-0.018926	-0.42458	-0.27184
d-C	-35.82	-4.4988	-8.2735	2.9103	0.7955	0.47336	0.027781	0.17944	-2.0399
d-P	-36.107	6.8734	-13.176	3.2082	-1.9394	0.87229	0.039713	0.34736	-0.53506
e-A	73.522	-11.098	-7.3439	5.6893	3.1627	-1.8417	-0.02744	-1.272	1.1954
e-B	-22.268	23.788	-4.6973	0.76067	5.5915	3.6697	-0.011163	-2.2325	2.9747
e-C	-30.81	-18.175	-8.5002	7.9937	3.1841	-2.6488	-0.03375	-0.32469	-1.1049
e-P	-20.289	13.677	-2.259	4.4714	0.99883	-3.7338	0.051807	-1.1762	2.4979
f-A	71.153	-1.0522	-10.016	11.382	3.3087	1.3559	0.034298	3.3029	1.2184
f-B	-14.969	-15.178	12.291	3.2598	3.6165	5.1902	0.073573	0.41106	0.83726
f-C	-13.208	-17.264	6.0349	4.5775	3.5175	-4.3702	0.010128	-0.16719	-4.9253
f-P	-15.389	14.789	2.9387	0.77845	-2.8537	-1.8116	0.13477	-0.014101	0.59761
a-A	63.172	31.025	7.7699	0.45126	-10.488	-1.3854	-0.00079789	0.333	1.1639
a-B	-21.361	-31.946	14.045	3.7839	-10.456	2.5494	-0.063298	0.099688	-0.83416
a-C	-5.1199	1.7855	46.644	2.3531	1.3128	0.06145	0.0082995	-0.19024	0.91878
a-P	-6.5585	36.806	6.2642	-4.0356	3.529	0.80006	-0.094214	1.105	-8.297

#### Relationships between dbRDA coordinate axes and orthonormal X variables

(multiple partial correlations)

Variable	dbRDA1	dbRDA2	dbRDA3	dbRDA4	dbRDA5	dbRDA6	dbRDA7	dbRDA8	dbRDA9
tem	0.123	0.039	0.369	-0.015	-0.647	0.083	0.120	0.525	-0.364
ce	0.839	-0.047	-0.196	-0.009	-0.248	0.197	-0.163	-0.358	-0.005
oxy	0.189	-0.366	0.221	0.020	0.158	-0.759	-0.077	-0.117	-0.400
%oxy	0.066	0.440	-0.042	-0.120	0.413	0.197	-0.473	0.169	-0.570
pH	0.316	0.696	0.167	-0.004	0.163	-0.338	0.448	0.053	0.207
nit	0.064	-0.049	0.849	0.063	0.172	0.234	-0.277	-0.177	0.276
amo	0.115	-0.276	0.098	-0.727	0.282	0.255	0.457	0.011	-0.138
fos	0.349	-0.321	-0.103	0.323	0.401	0.077	0.019	0.663	0.232
pp	0.031	0.054	-0.078	-0.590	-0.169	-0.316	-0.493	0.285	0.437

#### Weights

(Coefficients for linear combinations of X's in the formation of dbRDA coordinates)

Variable	dbRDA1	dbRDA2	dbRDA3	dbRDA4	dbRDA5	dbRDA6	dbRDA7	dbRDA8	dbRDA9
tem	12.039	-24.872	5.2123	2.5356	-11.564	-4.3961	0.080608	1.2114	-0.52759
ce	41.273	-1.9174	-4.9649	-2.4069	-4.0723	0.22095	-0.043391	-1.4708	-0.6186
oxy	31.839	-80.766	27.422	3.4322	-12.404	-13.299	0.13145	-1.587	0.34104
%oxy	-30.526	81.505	-24.953	-6.7516	20.177	15.549	-0.21464	0.77615	-4.5695
pH	4.7971	18.326	4.0611	0.45738	0.41381	-1.3994	0.059939	0.32145	2.7958
nit	2.9688	1.5137	18.972	-1.2692	7.5243	2.4688	-0.025927	-1.1032	0.34426
amo	-1.1669	-5.8892	11.308	-7.0216	5.3202	2.3133	0.04499	-0.6951	-2.2009
fos	-6.0623	-0.51491	-1.7394	5.4051	3.836	0.88458	-0.00024916	2.0485	1.2434
pp	8.5144	2.3921	-8.1964	-2.295	-4.8695	-2.6699	-0.042549	0.5484	2.6591

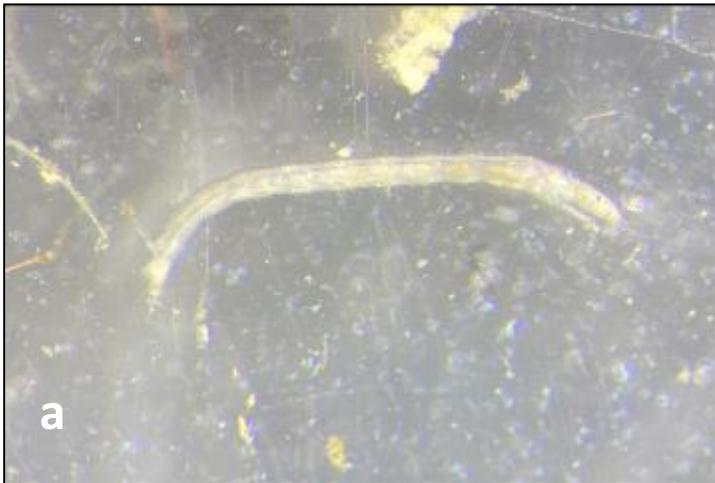
#### Outputs

Plot: Graph1

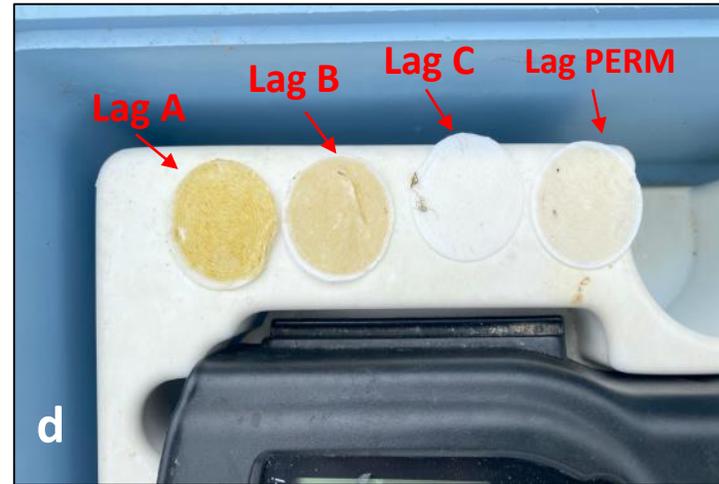
Anexo 8:



**Registro fotográfico 8.1:** a) Laguna A (Fecha: 27-nov-2021). b) Laguna B (Fecha: 18-mar-2022). c) Laguna C (Fecha: 22-ene-2022). d) Laguna PERM (Fecha: 22-ene-2022).



**Registro fotográfico 8.2:** a) Vista de Chironomidae. b) Vista de *Mesopodopsis slabberi*. c) Vista de *Gammarus aequicauda* d) Vista de *Lekanospaera hookeri*.



**Registro fotográfico 8.3:** a) Medición de parámetros físicos y químicos del agua en la laguna PERM (Fecha: 27-nov-2021). b) Colecta de macroinvertebrados en la laguna A (Fecha: 27-nov-2021). c) Colecta de macroinvertebrados en la laguna B (Fecha: 27-nov-2021). d) Filtros resultantes de la toma de muestras para nutrientes disueltos (Fecha: 18-mar-2022).