



Universidad de Jaén
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

Aproximación al estudio de las comunidades zooplanctónicas en balsas de riego del Alto Guadalquivir

Alumno: Jorge Jurado Rajal

10, 2024

ÍNDICE

RESUMEN:.....	4
INTRODUCCIÓN:	6
BALSAS DE RIEGO:.....	7
COMUNIDADES ZOOPLANCTONICAS DE AGUA DULCE:.....	8
FILO ROTIFERA.....	9
SUBFILO CRUSTACEA.....	11
OBJETIVOS.....	19
MATERIALES Y MÉTODOS	19
PROCESADO Y ESTUDIO DE MUESTRAS.....	21
RESULTADOS	23
DISCUSIÓN.....	30
BIBLIOGRAFÍA.....	32

RESUMEN:

El agua es un recurso cada vez más escaso que requiere de una gestión integral efectiva y multidisciplinar que permita tanto la reducción de su consumo como la mejora de su calidad. Dentro del sector agrario, una de las muchas actividades que contribuyen a la contaminación de las aguas y a un uso excesivo de las mismas es la inadecuada gestión de las balsas de riego. Las actuales técnicas de acumulación del agua favorecen el crecimiento masivo de algas, microalgas y crustáceos planctónicos que ocasionan la obstrucción de los filtros. Además del consumo extra de agua y energía para la limpieza de los mismos, las comunidades de regantes hacen frente a importantes costes económicos derivados del uso de pesticidas que, en un intento por reducir la biomasa de dichos organismos, son vertidos en las balsas de riego, con la consiguiente contaminación ambiental.

Como acción previa a la búsqueda de estrategias para reducir la proliferación de estos organismos en las balsas de riego de una forma respetuosa con el medioambiente. Es necesario conocer qué taxones de microcrustáceos están presentes en las mismas, así como su posible relación con las características físico-químicas de estas.

Palabras clave: zooplancton, balsas de riego, valores físico-químicos.

Water is an increasingly scarce resource, requiring effective and multidisciplinary integrated management to reduce consumption and improve quality. In the agricultural sector, one of the many activities that contribute to water pollution and excessive use is the improper management of irrigation ponds. Current water storage techniques promote the massive growth of algae, and planktonic crustaceans, which cause filter blockages. In addition to the increased water and energy consumption needed to clean them, irrigation communities face significant economic costs due to the use of pesticides. These pesticides, intended to reduce the biomass of these organisms, are applied to irrigation ponds, leading to environmental contamination.

Before implementing strategies to reduce the proliferation of these organisms in an environmentally friendly manner, it is necessary to identify the taxa of microcrustaceans that are present in irrigation ponds and their potential relationship with the characteristics of these ponds.

Key words: zooplankton, farm ponds, physical-chemical values

INTRODUCCIÓN:

El zooplancton está compuesto por una diversidad de organismos heterótrofos que incluyen crustáceos, rotíferos y protozoos. Se encuentran flotando pasivamente en la columna del agua y juegan un papel crucial en los ecosistemas acuáticos. Estas comunidades, se utilizan como bioindicadores de la calidad del agua, ya que su presencia y distribución reflejan cambios en las condiciones ambientales (Jeppesen et al 2011). Por ende, conocer la estructura y dinámica de las comunidades zooplanctónicas es esencial, dado su impacto directo en la cadena trófica, así como en la regulación del fitoplancton y el reciclaje de nutrientes (Merrit et al. 1984). Los humedales naturales están desapareciendo rápidamente o se encuentran degradados, lo que afecta negativamente a las especies acuáticas que dependen de estos hábitats (Casas et al., 2012).

Las balsas de riego, que son cuerpos de agua artificiales utilizados principalmente para riego, están ampliamente distribuidos. Aunque su propósito principal no es la conservación de la biodiversidad, estos estanques han demostrado tener un valor ecológico inesperado, especialmente en paisajes donde los humedales naturales son escasos (Casas et al., 2012).

En el contexto de las balsas de riego en la cuenca del río Guadalquivir, estas infraestructuras revisten una importancia económica y ecológica considerable. Según un estudio de la Agencia del Agua Andaluza (2006), en Andalucía encontramos unas 16.543 balsas de riego. Diseñadas para almacenar y distribuir agua para la agricultura, estas balsas desempeñan un papel importantísimo en el sector agrícola de la región (González et al., 2015).

Si bien son un refugio para las comunidades zooplanctónicas, su proliferación puede generar problemas para el mantenimiento de las balsas, ya que pueden obstruir los sistemas de filtrado utilizados para distribuir el agua, especialmente en filtros de arena y autolimpiables. Esta situación obliga a los agricultores a implementar medidas de control, como el uso de

biocidas, lo que no solo resulta insostenible a largo plazo, sino que también afecta negativamente la biodiversidad acuática y la calidad del agua (Casas et al., 2012)

BALSAS DE RIEGO:

Las balsas de riego, construidas principalmente para almacenar agua destinada a la agricultura, han demostrado ser importantes refugios para la biodiversidad, especialmente en regiones donde los humedales naturales están desapareciendo. Este es el caso de la provincia de Jaén, donde un estudio reciente evaluó el grado de colonización del zooplancton en estas balsas, destacando la importancia para la conservación de las comunidades zooplanctónicas. (Jiménez-Melero et al. 2024)

A pesar de sus beneficios ecológicos, las comunidades de zooplancton, como rotíferos, cladóceros y copépodos, también pueden causar problemas operativos al obstruir los filtros de riego. La implementación de tecnologías de filtración adecuadas, como los filtros de arena y los filtros de autolimpio, es fundamental para mitigar estos problemas y asegurar un suministro eficiente de agua de riego. Así, se logra un equilibrio entre la conservación de la biodiversidad y la eficiencia agrícola, contribuyendo al desarrollo sostenible de la región. A continuación, se detallan los dos filtros anteriormente mencionados.

Filtros de Arena (Figura 1): dispositivos que utilizan arena y otros materiales granulares para retirar las partículas en suspensión del agua. El agua pasa a través de estas capas de arena, donde las partículas, incluido el zooplancton, quedan atrapadas. Estos filtros requieren de un mantenimiento y limpieza constante para evitar la acumulación de estos sólidos, ya que si no dejarían de ser útiles.



Figura 1 Filtro Arena (<https://www.sicweb.es/equipos-de-filtracion-filtrado/>)

Filtros de Autolimpiado (**Figura 2**): son filtros que pueden limpiarse de forma automática, reduciendo significativamente la necesidad de mantenimiento manual. Estos filtros utilizan periódicamente procesos como el retrolavado para eliminar los sólidos acumulados.



Figura 2 Filtro Autolimpiado
(<https://azud.com/producto/azud-helix-automatic-ft200-aa/>)

COMUNIDADES ZOOPLANCTONICAS DE AGUA DULCE:

En los ecosistemas acuáticos de agua dulce, las comunidades zooplanctónicas desempeñan un papel vital en la estructura y el funcionamiento de los hábitats acuáticos (Carpenter et al. 2001). El zooplancton es una comunidad diversa de organismos animales microscópicos que flotan o se mueven débilmente en el agua, y que son incapaces de nadar activamente contra las corrientes. Estas comunidades comprenden una variedad de taxa, incluyendo crustáceos, rotíferos, larvas de insectos acuáticos y protozoos.

La comunidad zooplanctónica caracterizada por su gran diversidad taxonómica y funcional ocupa nichos ecológicos específicos y desempeñan roles importantes en los ecosistemas acuáticos (Jeppesen et al., 2011). Por ejemplo, los branquiópodos son conocidos por su papel en el consumo de fitoplancton y la transferencia de energía a niveles tróficos superiores, así mismo los rotíferos son importantes como filtradores y como fuente de alimento para organismos acuáticos de mayor tamaño (Wallace & Snell, 1991). La composición y la estructura de las comunidades zooplanctónicas en agua dulce pueden variar considerablemente en función de factores ambientales como la temperatura, la disponibilidad de nutrientes, la turbidez del agua y la presencia de depredadores. Además, estas comunidades zooplanctónicas están sujetas a influencias estacionales y a perturbaciones naturales y antropogénicas, lo que

puede afectar su dinámica y su función en los ecosistemas acuáticos (Junta de Andalucía, 2010. *Atlas y manual de organismos planctónicos*).

En los sistemas acuáticos continentales este grupo está cualitativamente mejor representado por rotíferos y crustáceos, generalmente estos últimos por copépodos y braquiópodos. También podemos encontrar Ostrácodos, encontrándose estos últimos en el sedimento o asociadas a la vegetación, ya que se trata de especies bentónicas.

FILO ROTIFERA

Este filo abarca unas 2000 especies de pequeños invertebrados acuáticos, pseudocelomados y con simetría bilateral, su tamaño varía entre los 20 y 2000 (micrómetros). La mayoría de estos individuos viven flotando de forma libre en la columna de agua. Otros pueden vivir de forma sésil, fijados principalmente a plantas. Se alimentan por filtración principalmente de microalgas (fitoplancton), detritus o bacterias, y son el punto de unión entre productores primarios y consumidores secundarios como peces o larvas de insectos (Barrientos Llosa, 2003).

Son organismos que principalmente se encuentran en medios acuáticos continentales, cumpliendo un papel ecológico fundamental como filtradores. Hay especies del orden *Bdelloidea*, que son capaces de vivir en las zonas de agua intersticial, en la lámina de agua que cubre a musgos y líquenes.

El cuerpo de los rotíferos es generalmente alargado y globoso, dividido en tres partes: cabeza, tronco y pie, aunque el pie puede estar ausente. La cabeza, que contiene una corona ciliada, permite al rotífero moverse y atraer alimento mediante corrientes de agua; además, alberga estructuras sensoriales como antenas y ocelos. El tronco, que es la parte más extensa del cuerpo, incluye los órganos reproductores, digestivos y excretorios, y está cubierto por una lóriga rígida con ornamentaciones que varían según el género. En algunas especies, el pie está

presente y puede terminar en prolongaciones para fijarse al sustrato, mientras que el aparato masticador, denominado mástax, está compuesto por siete piezas bucales que varían según la alimentación de la especie (Barrientos Llosa, 2003).

Algunos rotíferos producen dos tipos de huevos (**Figura 3**), uno llamado amíctico, que tiene cáscara delgada y es diploide ($2n$) y, por lo tanto, no puede ser fecundado y siempre surge una hembra por partenogénesis. El otro tipo de huevo se llama míctico y tiene cascara dura y es haploide (n), entonces, si no se fecunda, produce un macho por partenogénesis, pero si se fecunda, produce una hembra (Barrientos Llosa, 2003).

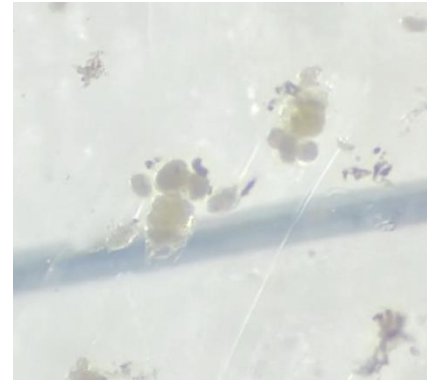


Figura 3 Rotífero visto en la lupa en las muestras de las balsas.

Cuando se dan unas determinadas condiciones medioambientales poco favorables aparecen hembras mícticas que ponen huevos haploides (n) que si no son fecundados nacerán machos haploides y si son fecundados, darán huevos diploides en los que el desarrollo embrionario entrará en diapausa (denominándose cistes o huevos latentes) y que cuando las condiciones sean favorables este estado de diapausa finaliza y nacerán hembras amícticas, que se reproducirán por partenogénesis. Este tipo de reproducción es considerado una adaptación de las especies para resistir los cambios como la desecación del sistema o la falta de alimento. Teniendo la posibilidad de seguir estando presentes en momentos en el que el humedal esté seco y esperando a que se vuelvan a llenar para colonizar rápidamente el medio (Junta de Andalucía, 2010. *Atlas y manual de organismos planctónicos*).

La mayor parte de los rotíferos son ovíparos, que ponen huevos fuera del cuerpo en los que se produce el desarrollo embrionario. En la mayoría de especies la hembra lleva los huevos

unidos a ella por medio de una secreción. Existe algún genero ovovivíparo, que la hembra tiene en su interior el embrión, hasta que nace.

Los rotíferos son indicadores sensibles de las condiciones ambientales debido a su rápido ciclo de vida y su capacidad de responder a cambios en la calidad del agua. En las balsas de riego, suelen ser dominantes en términos de biomasa y densidad cuando hay altos niveles de nutrientes, especialmente en periodos de mayor aporte de materia orgánica. Esta capacidad de respuesta rápida permite a los rotíferos ocupar un nicho ecológico clave en la regulación de la biomasa de fitoplancton, ayudando a mantener la claridad del agua y contribuyendo al equilibrio del ecosistema acuático (García-Roger et al., 2008).

SUBFILO CRUSTACEA

CLASE BRANQUIÓPODOS:

Podemos considerar a este grupo como uno de los primeros que logró conquistar las aguas continentales con gran éxito, desde las aguas marinas con gran éxito (Junta de Andalucía, 2010. *Atlas y manual de organismos planctónicos*). El nombre de este grupo significa “animales con branquias en las patas” y se caracteriza principalmente por sus apéndices torácicos llamados toracopódos. Estos apéndices portan estructuras braquiales (aplanados o laminares).

La mayoría de las especies son planctónicas, con un modo de alimentación filtradora, aunque algunas especies son bentónicas (familia *Eurycercidae*), con adaptaciones a raspar alimento del sustrato o depredadoras (familia *Podonidae*). Son una gran fuente de alimento para aves y peces. La separación en grupos nos aportará más información ecológica específica de cada grupo (Junta de Andalucía, 2010. *Atlas y manual de organismos planctónicos*).

ORDEN ANOMÓPODA (CLADÓCEROS):

Grupo de crustáceos, altamente extendido en el plancton y en el bentos de los ecosistemas acuáticos de agua dulce. El tamaño varía entre 0,2 y 4 mm. En este orden podemos encontrar géneros tan conocidos como el género *Daphnia*, denominado comúnmente como “pulgas de agua” por sus desplazamientos como a saltitos. Su presencia

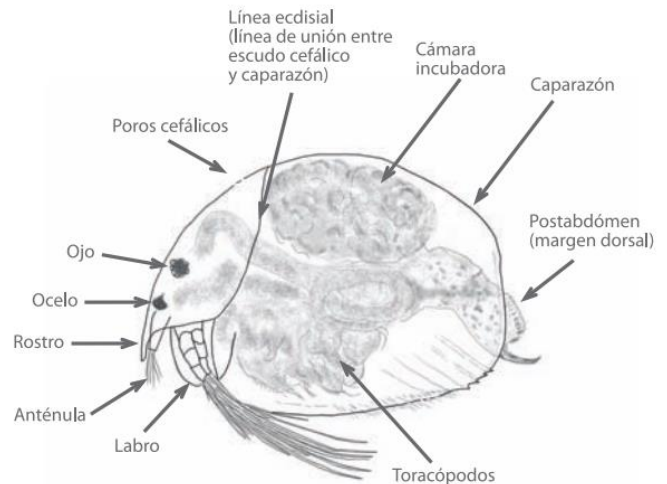


Figura 4. Esquema corporal *Euryceridae* (Junta de Andalucía, 2010. *Atlas y manual de organismos planctónicos*)

en las balsas de riego, como en cualquier otro cuerpo de agua, está influenciada por la calidad del agua y la disponibilidad de alimento. Los cladóceros, como *Daphnia* spp., son conocidos por su capacidad de filtrar grandes volúmenes de agua, lo que les permite controlar las poblaciones de fitoplancton y mejorar la transparencia del agua (Lampert, 2011).

Los miembros del orden Anomopoda presentan un cuerpo alargado y comprimido lateralmente, con un caparazón bien desarrollado que protege sus órganos internos (Brendonck & Rogers, 2003). En el cuerpo de estos organismos se pueden diferenciar dos partes principales. La porción cefálica, rodeada por una cutícula de quitina (escudo cefálico, en *Euryceridae* y yelmo cefálico en el resto de géneros) y la porción postcefálica, rodeada también por un escudo de quitina transparente. En la **Figura 4**, podemos ver los distintos caracteres de un ejemplar de la familia *Euryceridae* y en la **Figura 5**, podemos observar un ejemplar de la familia *Dahniidae*.

A diferencia de otros crustáceos, en Anomopoda se distinguen por la presencia de un par de grandes branquias foliáceas localizadas en la parte anterior del cuerpo, que utilizan para

la respiración y la filtración de partículas alimenticias del agua circundante (Kotov & Taylor, 2011). Las anténulas se disponen ventralmente en la zona cefálica, la forma de estas es cilíndrica y puede ser de mayor o menor tamaño y móviles o fijas, dependiendo de la especie. Son órganos sensitivos ya que en los extremos encontramos una serie de sedas olfativas llamadas aestetascas. Las hembras presentan estas sedas más desarrolladas y el macho otra seda más, siendo una de las

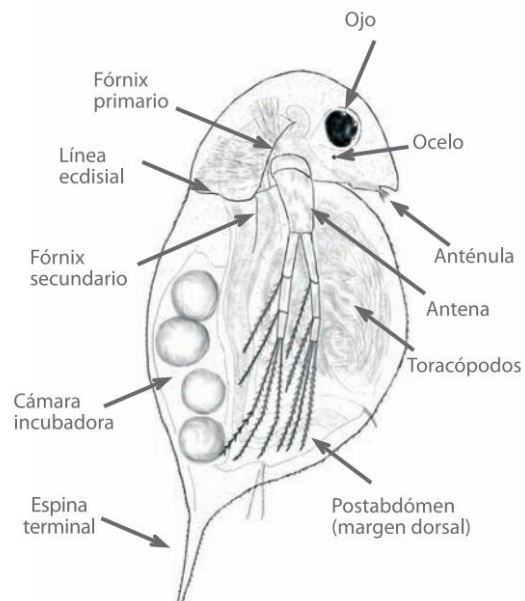


Figura 5. Esquema corporal Daphniidae (Junta de Andalucía, 2010. Atlas y manual de organismos planctónicos)

principales formas de diferenciación a simple vista del género del animal. Las antenas son el principal órgano locomotor y la forma de estas, determinará el modo de movimiento en estos organismos. En el género *Daphnia* poseen antenas largas y plumosas y el batido de estas hace que se produzca el característico movimiento a saltos (pulgas de agua). En la familia *Eurycercidae*, el movimiento de sus antenas, más cortas y espiniformes, originan un desplazamiento más lineal. El postabdomen constituye una de las porciones más importantes para la diferenciación de la especie, interviene en la locomoción y la limpieza de los toracópodos. En él se encuentra el ano y los poros genitales del macho (Junta de Andalucía, 2010. Atlas y manual de organismos planctónicos).

Este orden posee hemoglobina en la hemolinfa, la cual es movida por todo el cuerpo por el corazón, que se encuentra en la parte anterior de la región postencefálica. En situaciones de anoxia, los niveles de hemoglobina aumentan, proporcionando un color rojizo al organismo.

El desarrollo de estos organismos es directo, no pasa por estado larvario y la forma adulta es muy similar a la que nace. Tiene una vida relativamente corta (semanas) y comienzan

a ser fértiles a partir de unas pocas mudas. La forma principal de reproducción es la partenogénesis, las hembras partenogénicas producen huevos sin fecundar que darán nuevas generaciones de hembras partenogénicas, este modo de reproducción hace que se puedan alcanzar grandes poblaciones en poco tiempo, favoreciendo la supervivencia en nichos ecológicos adecuados.

Una de las características más distintivas del orden Anomopoda es su capacidad para producir huevos resistentes, conocidos como quistes, que les permiten sobrevivir en condiciones adversas y colonizar nuevos hábitats (Brendonck & De Meester, 2003). Estos quistes son liberados al medio ambiente y pueden permanecer en estado de diapausa durante períodos prolongados.

Los Anomopoda exhiben una gran diversidad en cuanto a su ecología y hábitos alimentarios, con especies que se alimentan de fitoplancton, detritos orgánicos, microorganismos y materia orgánica en suspensión (Brendonck & Rogers, 2003). En las balsas de riego, los cladóceros también desempeñan un papel crucial en la transferencia de energía dentro de la cadena alimentaria acuática. Son presas importantes para peces y otros depredadores acuáticos, lo que los convierte en un eslabón fundamental en la red trófica. Además, la capacidad de los cladóceros para reproducirse rápidamente mediante partenogénesis les permite responder eficazmente a las fluctuaciones en la disponibilidad de recursos y las condiciones ambientales, manteniendo así su población en equilibrio con su entorno (Ebert, 2005).

CLASE COPÉPODOS:

Los crustáceos copépodos constituyen uno de los grupos más diversos y abundantes dentro del subfilo *Crustacea*, con una amplia distribución en diversos hábitats acuáticos, desde aguas marinas hasta dulces (Boxshall & Halsey, 2004). Aparecen adaptados a todo tipo de

ecosistemas, océanos, aguas continentales, aguas subterráneas y forman parte de la fauna cavernícola. En el medio marino, son el principal eslabón trófico entre el fitoplancton y los depredadores superiores. Hay especies planctónicas bentónicas, que viven en el fondo en los sedimentos y hay algunas especies semiacuáticas, capaces de vivir en la película de agua de aguas continentales, entre los musgos y hojarasca. Otras especies son parásitos de otros organismos, teniendo una morfología totalmente distinta a los copépodos de vida libre.

Como cita Margalef (1983), una especie de copépodo puede asumir el papel ecológico de varias especies, a medida que va desarrollándose. En estado Nauplio (estado larvario) son organismos filtradores pasivos, con una forma de alimentarse, similar a la de los rotíferos y pequeños cladóceros. Según atraviesa estados de desarrollo, copepodito, hasta adulto, comienzan a filtrar partículas, cada vez de mayor tamaño, pudiendo actuar como depredador en algunas especies de ciclopoideos, cuyas piezas bucales pueden estar adaptadas a manipular alimento.

Los copépodos son generalmente microscópicos, con tamaños que van desde unas pocas décimas de milímetro hasta varios milímetros de longitud corporal (Bradford-Grieve et al., 2010). Su cuerpo está compuesto por una serie de segmentos bien definidos, incluyendo una cabeza fusionada con el tórax y un abdomen claramente distinguible (Bradford-Grieve et al., 2010). El color suele ser transparente, pero en aguas litorales y poco profundas, los copépodos desarrollan cierta coloración para la protección de la luz solar, adaptando colores rojos, verdes o azules, dependiendo de la especie.

En la anatomía de estos copépodos de vida libre, se puede distinguir la parte del cefalosoma, un tronco, dividido a su vez en dos partes, zona “torácica” (porta apéndices) y zona “abdominal” (en la que no encontramos apéndices) y el telsón.

En el cefalosoma encontramos seis segmentos, en orden encontramos los pares de apéndices que tienen: anténulas (unirrámeas), antenas (birrámeas), mandíbulas, maxílulas y

maxilípedos. Las anténulas tienen función locomotora y poseen unas estructuras sensitivas que reaccionan a estímulos mecánicos y químicos. El resto de apéndices están implicados en el modo de alimentación. El ojo se denomina naupliar y se encuentra en la zona ventral y anterior del cefalosoma (Junta de Andalucía, 2010. *Atlas y manual de organismos planctónicos*).

En la parte “torácica” del organismo, encontramos cinco segmentos, con un par de patas cada uno y un sexto segmento, donde encontramos la zona genital. Los cuatro primeros pares de patas, tienen función locomotora y el quinto aparece modificado, es muy peculiar y distintivo como carácter taxonómico.

El “abdomen” está compuesto por tres segmentos sin apéndices. El telsón alberga el segmento anal, terminado por la furca caudal. La morfología de la furca es un importante rasgo taxonómico.

La diferenciación entre cefalosoma, tórax y abdomen, nos permite diferenciar los segmentos por la presencia o no de apéndices y sus tipos, pero en sí el cuerpo del copépodo está definido por dos regiones: anterior (prosoma) y posterior (urosoma) (**Figura 6**), diferenciadas por donde el animal articula su cuerpo. En las especies nadadoras es importante el urosoma ya que es el encargado de los movimientos laterales. En especies bentónicas, la anchura y movilidad de las partes es la misma (Junta de Andalucía, 2010. *Atlas y manual de organismos planctónicos*).

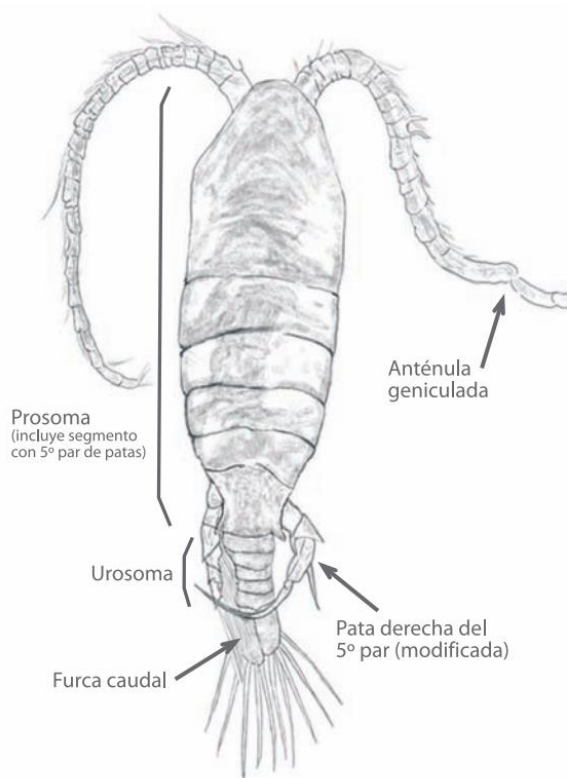


Figura 6 Esquema Calanoide (Junta de Andalucía, 2010. *Atlas y manual de organismos planctónicos*)

Los copépodos son un grupo diverso de crustáceos que se encuentran ampliamente distribuidos en las balsas de riego de Andalucía (Lotoja, J et al., 2006). Son omnipresentes y juegan un papel multifacético en la ecología acuática. Dependiendo de la especie, los copépodos pueden ser herbívoros, detritívoros o incluso depredadores de otros pequeños invertebrados. En los ecosistemas acuáticos, los copépodos contribuyen a la regulación de las comunidades de fitoplancton y zooplancton, actuando como controladores biológicos (Gilbert et al., 2017). Los copépodos son especialmente importantes en la transferencia de energía desde los niveles tróficos inferiores a los superiores. Su dieta variada y su capacidad de migrar verticalmente en la columna de agua les permite explotar diferentes nichos ecológicos, contribuyendo a la estabilidad y productividad del ecosistema.

➤ ORDEN CALANOIDA

El orden Calanoida, perteneciente al subfilo Crustacea, representa un grupo diverso de crustáceos planctónicos que se encuentran ampliamente distribuidos en una variedad de hábitats acuáticos, desde aguas marinas hasta dulces (Mauchline, 1998). Se consideran el grupo más primitivo dentro de los copépodos.

Son especies principalmente filtradoras, por eso que poseen numerosas sedas plumosas en sus piezas bucales. Tienen un mayor tamaño que especies del orden *Cyclopoida*, lo que hace que este género aparezca menos en aguas eutrofizadas, lugar donde podremos encontrar especies de menor tamaño. La vida de este orden se considera larga, ya que pueden alcanzar el año de vida. Son gimnopleones ya que su cuerpo se articula entre el somito que alberga el quinto par de patas y el segmento genital. Las principales diferencias con otros ordenes se encuentran en la longitud de las anténulas y las sedas de la furca caudal (Junta de Andalucía, 2010. *Atlas y manual de organismos planctónicos*).

En las hembras podemos encontrarnos que los segmentos que portan el cuarto y quinto par de patas están fusionados, con la posibilidad de ver expansiones posteriores y laterales en

esta zona y en la zona del segmento genital. Podemos decir con esto que las hembras presentan un urosoma con 2 o 3 segmentos, mientras que en los machos encontramos un urosoma dividido en 5 segmentos. En los machos es frecuente encontrar varios caracteres con asimetría, como la anténula derecha que la encontramos flexionada, lo que sirve para asir a la hembra durante la transferencia del espermatóforo.

➤ ORDEN CYCLOPOIDA

Orden muy diversificado, con especies filtradoras, especies que viven en el sedimento, o en aguas subterráneas. Muchas especies planctónicas no filtran como los copépodos, sino que tienen unas piezas bucales con sedas más rígidas, que le permiten poder manipular alimento. Su desplazamiento es también a saltos, debido al movimiento sincronizado de las patas nadadoras.



Figura 7 Hembra Cyclopoida

Algunas diferencias con los calanoides son que son podopleones, es decir, que el cuerpo se articula entre el somito que porta el cuarto par de patas y el que porta el quinto. El prosoma, es ovoide y es más ancho y alargado que el urosoma. Las anténulas de 6 a 21 artejos, no sobrepasan el prosoma, siendo en proporción al cuerpo menos largas que en calanoides, pero más largas en general. Las ramas y armadura de la furca caudal, son un carácter taxonómico muy importante en este grupo. En esta familia el primer segmento que porta el primer par de patas natatorias se encuentra fusionado al cefalosoma (formando cefalotórax), otro carácter importante es que en las hembras el segmento genital se encuentra fusionado con el siguiente (**Figura 7**) (Junta de Andalucía, 2010. *Atlas y manual de organismos planctónicos*).

La principal diferencia entre machos y hembras sería la presencia de las dos antenas geniculadas (flexionadas) hacia delante y hacia arriba en los machos.

OBJETIVOS

Este Trabajo Fin de Grado describe las comunidades zooplanctónicas presentes en balsas de riego para el riego del olivar de la provincia de Jaén. El principal objetivo es conocer la presencia y abundancia de grandes grupos taxonómicos (rotíferos, cladóceros y copépodos) y su posible relación con variables ambientales físico-químicas y biológicas (clorofila-a).

Nos centraremos principalmente en los organismos pertenecientes al Filo Rotífera y Subfilo Crustácea (Clase Copépoda y Clase Brachiopoda del suborden Anomopoda).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para elaborar nuestro estudio hemos seleccionado un total de 6 balsas de la zona de Úbeda (Jaén) y de Torres (Jaén) (**Figura 8.**).

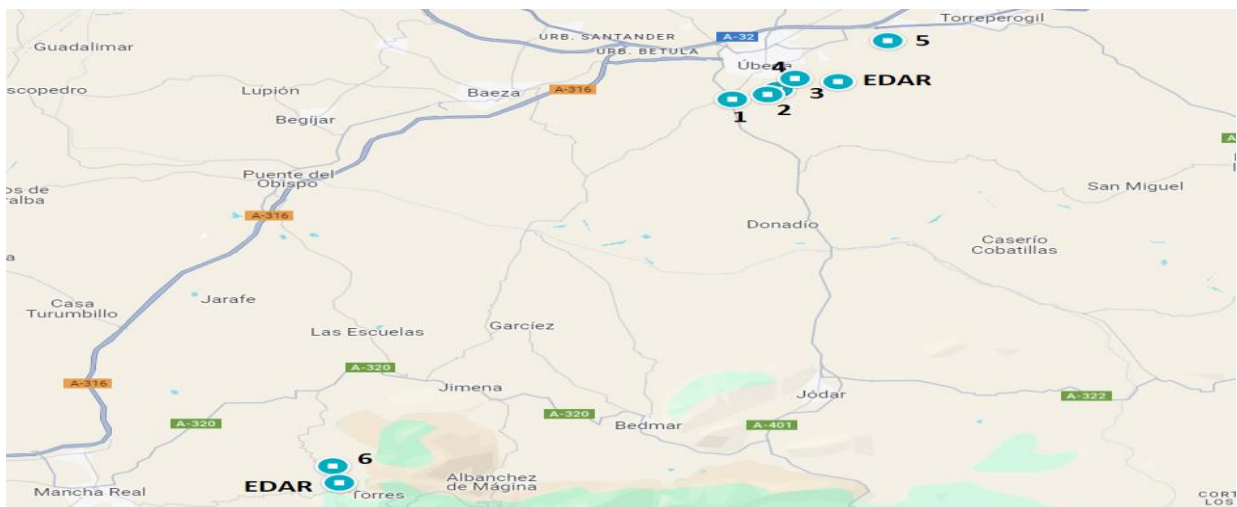


Figura 8 Localización de balsas muestreadas (más información **Tabla 1**)

La masificación del cultivo del olivar en la zona influye significativamente en las prácticas de gestión del agua, ya que estas balsas tienen un papel crucial en el almacenamiento y suministro de agua para riego en épocas de sequía o alta demanda. Además, los nutrientes y contaminantes derivados de la actividad agrícola pueden afectar la calidad del agua, impactando en la biodiversidad de estos ecosistemas acuáticos.

El agua de las balsas de Úbeda (balsas 1 a 5), es agua regenerada procedente de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de la ciudad de Úbeda, por lo tanto, todas las balsas almacenan agua de un mismo origen. Las EDAR son instalaciones diseñadas para tratar las aguas residuales urbanas y transformarlas en aguas regeneradas que pueden ser reutilizadas para diversos fines, incluyendo el riego agrícola.

La balsa de riego 6, en cambio, almacena agua de muy alta calidad procedente del manantial de Fuenmayor (**Tabla 1**). Existen muchas balsas con agua de río o con agua de sondeo, siendo menos frecuentes las balsas con agua de lluvia y, hasta donde sabemos, la balsa de Torres es la única de la provincia con agua de manantial natural (Francisco Pérez Latorre, comunicación personal). Se escogió esta balsa como “control” para comparar las comunidades de una balsa “pristina” frente a otras con agua regenerada.

Nombre	Numero	Municipio	Origen agua	Tipo filtro
Valdejaen	1	Úbeda	EDAR	Arena + anillas manual
Camino de Granada	2	Úbeda	EDAR	Arena + anillas manual
La Higuera	3	Úbeda	EDAR	Arena + anillas manual
Camino del Cerro	4	Úbeda	EDAR	Arena + anillas manual
El Quejigal	5	Úbeda	EDAR	Arena + anillas
El Caz-Sierra Mágina	6	Torres	Manantial	Anillas Automaticas

Tabla 1 Relación balsas muestreadas

Las variables físico-químicas se midieron con una sonda multiparamétrica YSI 556 MPS (Yellow Springs Instruments) se midió la temperatura (°C), la conductividad (mS/cm), los sólidos totales disueltos (TSD: g/L), la salinidad (g/L) y el oxígeno disuelto (% de saturación y ppm). La turbidez del agua (FTU) fue medida con una sonda Hanna HI93703 probe (Hanna Instruments) (**Figura 9**). Para estimar el contenido de clorofila a se utilizó un fluorímetro portátil AquaFlash (Turner Designs). Las muestras de zooplankton fueron tomadas con ayuda de una



Figura 9 Medición sonda

red de plancton de 63 μm de tamaño de poro y 25 cm de diámetro y preservadas *in situ* con formol al 4% neutralizado con CaCO_3 para evitar los efectos ácidos del formol sobre las estructuras calcáreas de los individuos.

Para el cálculo de la Eficiencia fotosintética del fitoplancton (YLD) nos hemos basado en la relación entre los datos de F_v (fluorescencia variable), calculados mediante la fórmula: $F_v = F_m - F_o$, y la F_m (fluorescencia máxima).

Para analizar las relaciones entre las variables físico-químicas y la abundancia de los distintos grupos, se hizo una tabla de correlaciones. Aplicando el coeficiente de correlación de Pearson a cada par de variables con el software estadístico RStudio utilizando el comando `cor()`, que nos dará la matriz de correlaciones.

Para el análisis de clúster, estandarizamos las variables con la fórmula Z-score y calculamos la distancia euclidiana con la función `dist()`. Luego, aplicamos el método de agrupamiento de Ward con `hclust()` y visualizamos los resultados con la función `plot()`.

PROCESADO Y ESTUDIO DE MUESTRAS:

Las muestras de zooplancton, fijadas previamente en el campo con formol, que hemos obtenido de las balsas, tienen que ser limpiadas para poder realizar un trabajo seguro con ellas.

Para ello realizamos un proceso de limpieza de las muestras (**Figura 10**) donde retiraremos el formol y sustituiremos por una solución de alcohol al 70% con ayuda de un filtro de 63 μm , aclaramos repetidas veces el bote donde tenemos la muestra original.

Una vez procesadas las muestras, se procede a la identificación y conteo de los grupos zooplanctónicas. Para esta fase se utilizó una placa de conteo de plancton modelo Bogorov de 22 mL y una lupa modelo Leica Stereo-Zoom Mikroskop 2000/15x. Con el fin de encontrar un equilibrio entre la información obtenida y el tiempo consumido, los individuos no fueron identificados taxonómicamente, sino

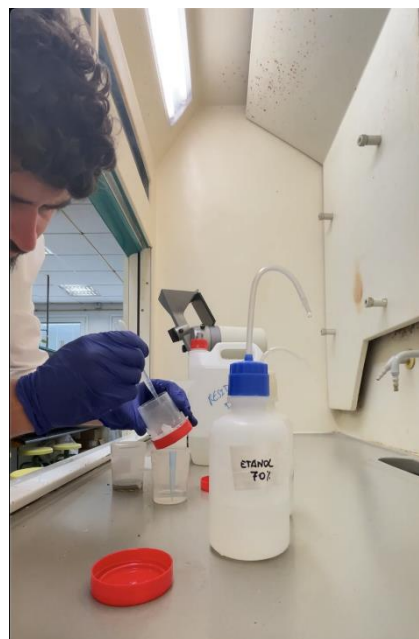


Figura 10 Limpieza de muestras

que se identificaron a nivel de grandes grupos, esto es, rotíferos, branquiópodos y copépodos. Los organismos fueron identificados utilizando las claves dicotómicas de Junta de Andalucía, 2010. *Atlas y manual de organismos planctónicos*.

Se tomaron muestras de agua para medir su concentración de nutrientes. Dichas muestras fueron almacenadas en frascos de vidrio y congeladas hasta su posterior análisis. La medición se realizó con fluorímetros de la marca Hanna: Hanna HI97700 para la medición de NH_4^+ , NH_3 y $\text{NH}_3\text{-N}$; con un rango de 0.00-3.00 mg/L y resolución de 0.01 mg/L, Hanna HI97728 para la medición de NO_3^- y $\text{NO}_3\text{-N}$; con una resolución de 0.0-30.0 mg/L y un rango de 0.1 mg/L y Hanna HI97713 para la medición de PO_4^{3-} , P y P_2O_5 ; con una resolución de 0.00-2.5 mg/L y un rango de 0.01 mg/L.

Para la medición introducimos 10mL de muestra en la cubeta y seguimos los procedimientos indicados por el fabricante. En algunos casos hemos tenido que proceder a la dilución de las muestras ya que se salían de los rangos de lectura del fluorímetro, para ajustar estos valores, posteriormente multiplicaremos el resultado por el factor de dilución (**Tabla 2**).

Muestra	NH_4 (mg/L)	NH_3 (mg/L)	$NH_3 - N$ (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	$NO_3 - N$ (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	P (mg/L)	P_2O_5 (mg/L)
1	126	118.8	98	0	0	13.6	4.4	10.2
2	38	35.9	29.5	16	3.6	20.9	6.8	15.6
3	46.4	43.8	36	0.3	0.1	50	16.4	37.4
4	23.4	22.1	18.2	2	0.5	6.4	2.1	4.8
5	75.4	71.2	58.6	0	0	7.6	2.5	5.7
6	0.13	0.12	0.1	0.5	0.1	0.53	0.17	0.39

Tabla 2 Valores Nitrato, Amonio, Fosfato balsas

Los valores de P y de Chl-a los utilizaremos para ver el estado trófico de las balsas muestreadas. Para calcularlo, nos basaremos en el índice del estrado trófico de Carlson (1977) (TSI):

$$TSI(Chl - a) = 10 \times \left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln(Chl - a)}{\ln 2} \right)$$

$$TSI(Pt) = 10 \times \left(6 - \frac{\ln\left(\frac{48}{Pt}\right)}{\ln 2} \right)$$

El Índice de Diversidad de Shannon se utiliza para medir la diversidad específica de una comunidad. Este índice toma en cuenta tanto la riqueza de especies, como la equitatividad (Shannon, 1948). $H' = -\sum_{i=1}^S p_i * \ln(p_i)$

El Índice de Diversidad de Simpson mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una muestra pertenezcan a la misma especie (Simpson, 1949). $D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$

RESULTADOS

La tabla 3 recoge las distintas variables físico químicas analizadas. Haciendo referencia a la (Tabla 3) podemos observar en primer lugar, que los niveles de Clorofila (Chl-a) varían significativamente, con un pico en la balsa de riego 1 (341.72 µg/L) y un mínimo en la balsa de riego (0,74 µg/L). Esto lo que nos indica es la diferencia en la producción primaria entre unas balsas de riego y otras.

	Vfilt. (L)	Chl-a (µg/L)	Turbi dez (ftu)	Temp. (°C)	Cond. (mS/cm)	TSD (g/L)	Salinidad (g/L)	O2 (%)	O2 (mg/L)
1	147,3	341,72	16,62	13,81	1,448	0,941	0,73	26,9	2,76
2	221	9,58	15,05	12,47	1,704	1,108	0,87	7,5	0,7
3	98,2	45,24	12,83	14,67	1,303	0,847	0,66	43,3	4,35
4	147,3	38,03	11,74	13,86	1,309	0,785	0,61	24	2,95
5	319,15	30,69	4,54	13,63	1,413	0,919	0,71	79,4	8,77
6	441,9	0,74	0	15,22	0,394	0,256	0,19	80,2	7,82

Tabla 3 Variables Físico-Químicas

En segundo lugar, haciendo referencia a las columnas de Conductividad, TSD y Salinidad (Tabla 3), bastante relacionadas entre sí, podemos encontrarnos con unos valores que no difieren entre ellos, esto se debe principalmente a que la procedencia del agua de estas balsas de riego es la misma. La conductividad es similar en las 5 primeras muestras, esto nos indica que los niveles de sales minerales son similares, en los datos de TSD podemos encontrarnos que el valor en la balsa 2 es levemente superior a los demás datos, esto puede ser debido a un mayor grado de contaminación, con respecto a la salinidad podemos observar valores relativamente bajos, indicando que estamos en condiciones de agua dulce.

Por último, valoramos la concentración de Oxígeno, teniendo en cuenta las dos últimas columnas (Tabla 3), vemos que los valores muestran ciertas variaciones, siendo los más altos y por tanto con mejores condiciones para la vida, los datos obtenidos de las balsas 3,5 y 6.

Las **Figuras 11,12,13 y 14** indican los resultados obtenidos en el análisis de las muestras de cada balsa, expresados en Ind/L, centrándonos en *Filo Rotífera* y *Filo Crustacea* (*Orden Calanoida* y *Orden Cyclopoida*, *Orden Anomopoda*).

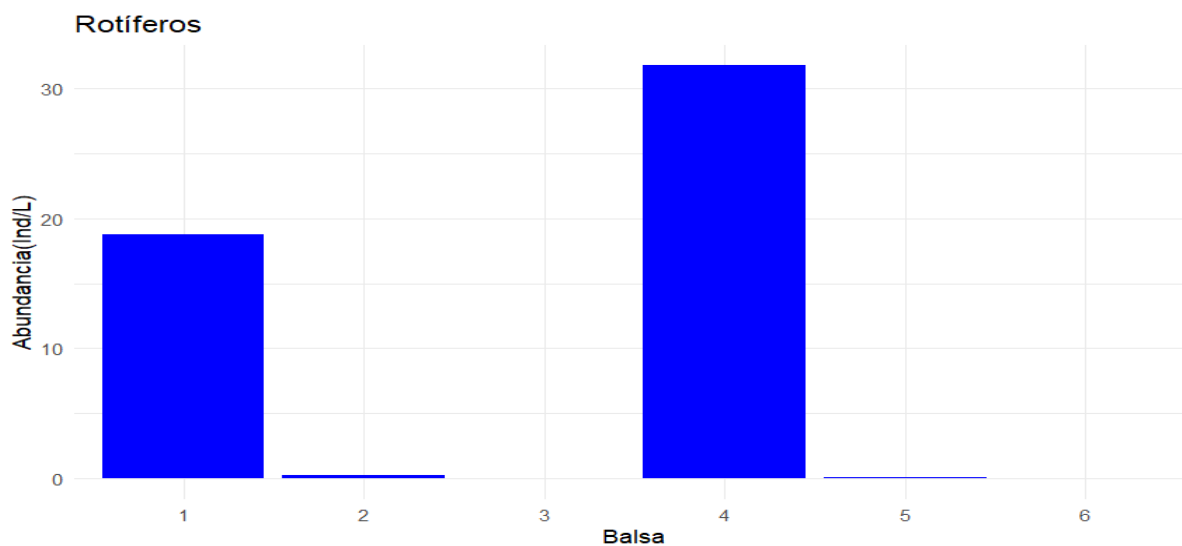


Figura 11 Abundancia Rotíferos

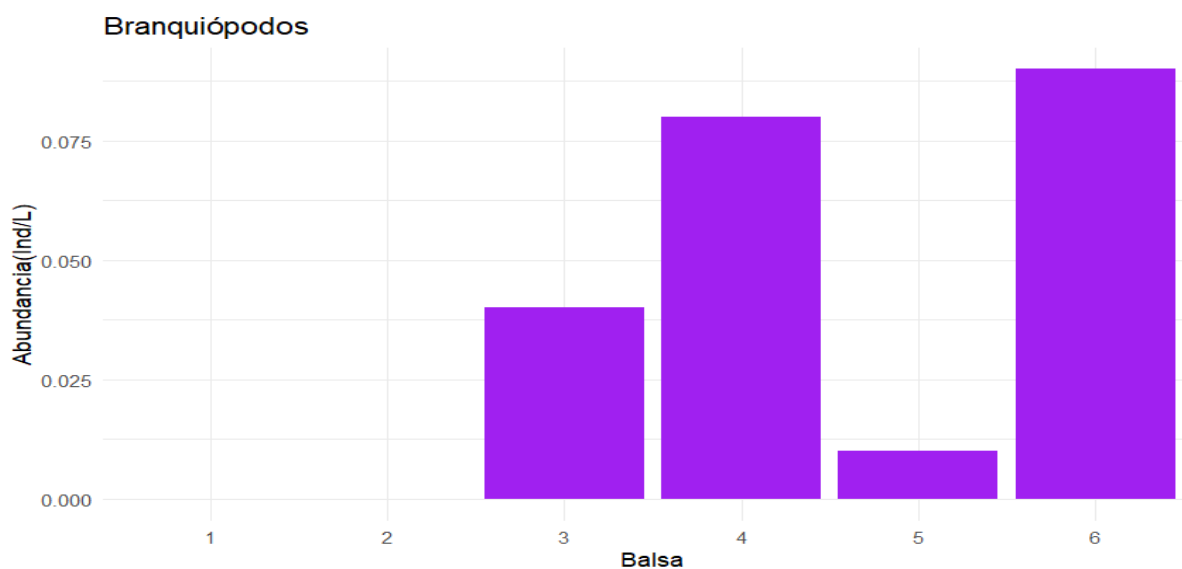


Figura 12 Abundancia Braquiópodos (Ciclopoífa)

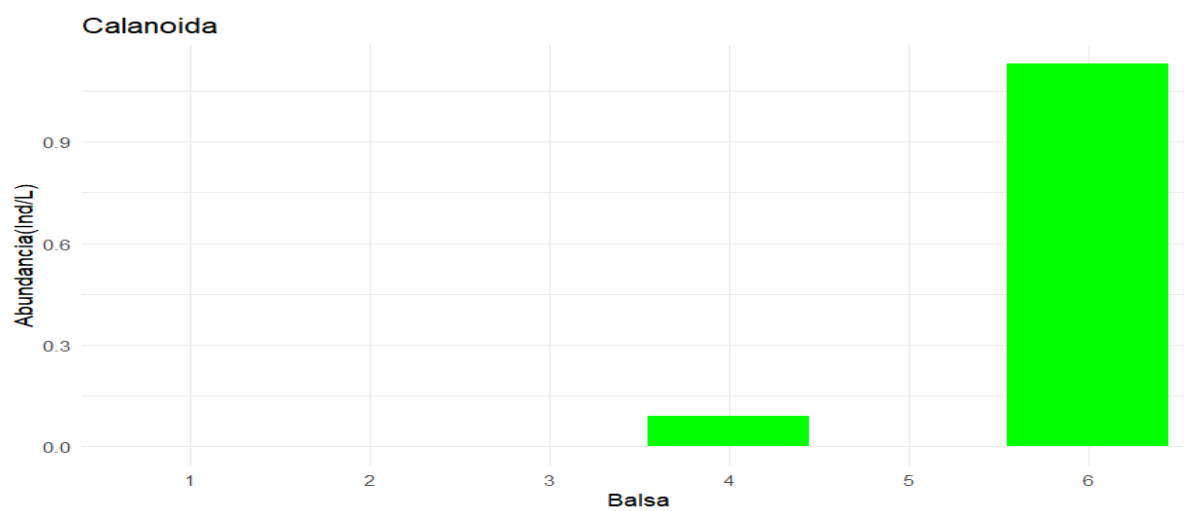


Figura 13 Abundancia Calanoida

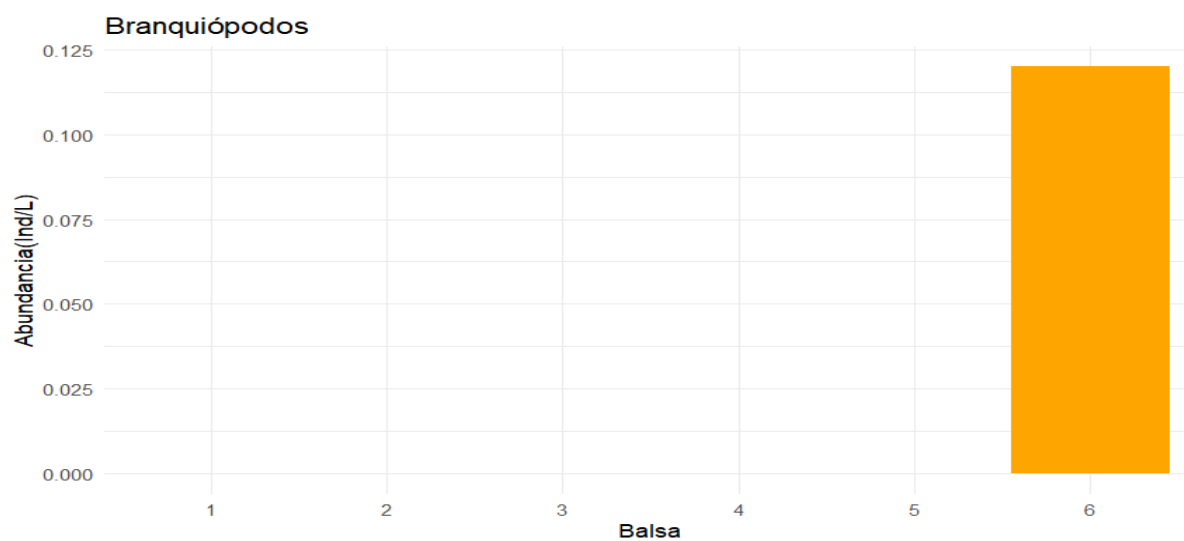


Figura 14 Abundancia Braquiópodos (Cladóceros)

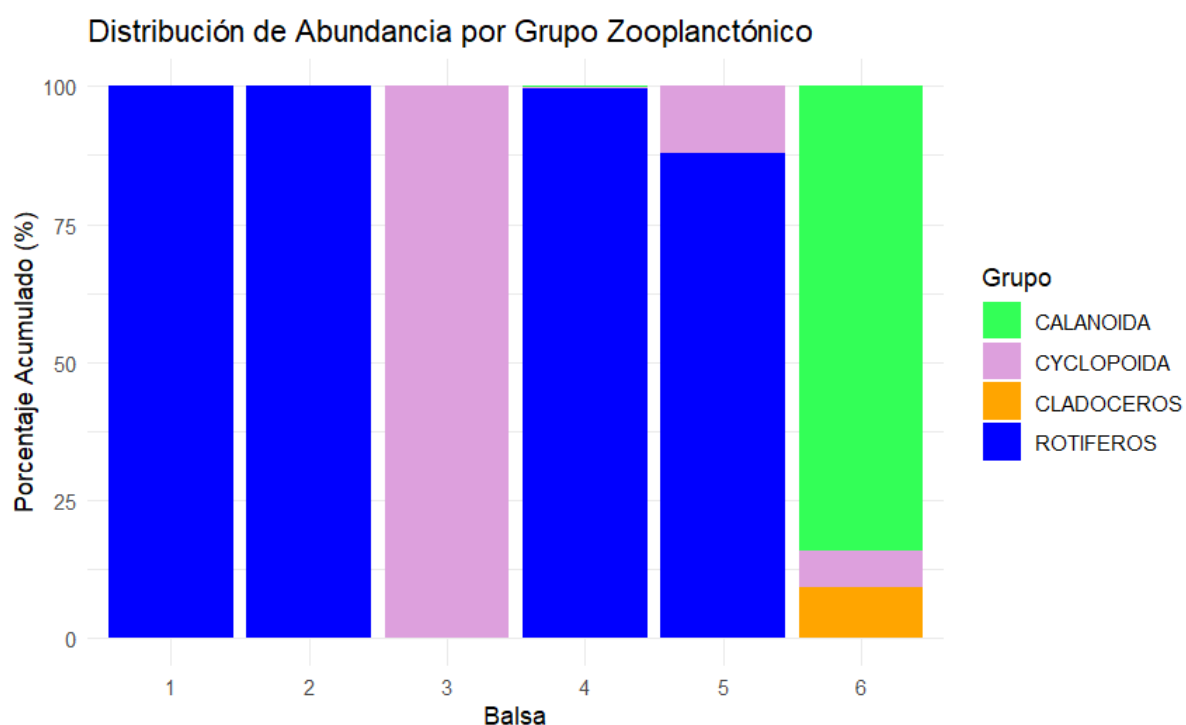


Figura 15 Distribución de abundancia

Los índices de diversidad de Shannon y Simpson se calcularon para cada una de las muestras de zooplancton recogidas en las balsas de riego. Los resultados obtenidos para el índice de Shannon, que mide la riqueza de especies y la equitatividad en la comunidad, mostraron cierta variabilidad entre las balsas. Los valores más bajos se observaron en las balsas 1, 2 y 3, donde $H' = 0$, lo que nos indica una ausencia de diversidad. En la balsa 4, se observó un leve incremento, con un valor $H' = 0.037$, lo que indica algo de diversidad. Las balsas 5 y 6 presentaron los valores más altos, $H' = 0.367$ y $H' = 0.547$, que significa una mayor diversidad de especies en estas balsas.

En cuanto al índice de Simpson, que se enfoca más en la dominancia de especies, tenemos resultados similares al de Shannon. Las balsas 1, 2 y 3 muestran valores $D = 0$, lo que indica nula diversidad. La balsa 4 presentó un valor $D = 0.011$, indicando que la comunidad está dominada por unas pocas especies. Las balsas 5 y 6 nuevamente mostraron los valores más

altos, $D = 0.211$ y $D = 0.280$, lo que sugiere una menor dominancia de unas especies y una comunidad más diversa.

La **tabla 4** muestra las correlaciones entre las distintas variables ambientales analizadas. Se puede observar una fuerte correlación negativa entre la concentración de oxígeno y la turbidez. También hay una alta correlación negativa entre la temperatura y las variables relacionadas con la mineralización, esto es, la conductividad, salinidad y TDS.

	Clorofila	Turb.	T ^a	Cond.	TSD	Salinidad	O2_%	O2_mgL
Clorofila		0.512	0.179	-0.050	0.007	-0.008	-0.149	-0.171
Turbidez	0.512		-0.132	0.318	0.287	0.306	-0.872	-0.902
Temperatura	0.179	-0.132		-0.924	-0.834	-0.836	0.419	0.394
Conductividad	-0.050	0.318	-0.924		0.975	0.979	-0.460	-0.469
TSD_gL	0.007	0.287	-0.834	0.975		0.999	-0.339	-0.364
Salinidad	-0.008	0.306	-0.836	0.979	0.999		-0.366	-0.391
Oxígeno_%	-0.149	-0.872	0.419	-0.460	-0.339	-0.366		
Oxígeno_mgL	-0.171	-0.902	0.394	-0.469	-0.364	-0.391		

Tabla 4. Correlación variables físico-químicas

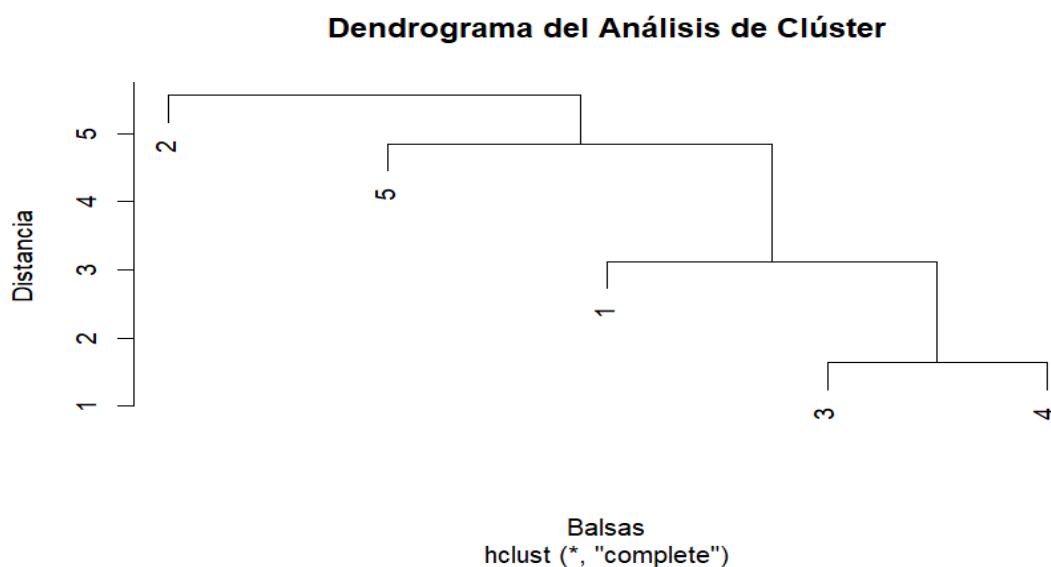


Ilustración 16 Análisis Clúster balsas de riego

En la **Figura 16** se observa que las balsas 3 y 4 forman un clúster más estrecho, lo que indica una mayor similitud entre ellas en comparación con las demás. Las balsas 1, 5, y 2 se agrupan en diferentes niveles de distancia, siendo la balsa 2 la más distinta de todas. El clúster completo sugiere que hay variaciones significativas en las condiciones físico-químicas entre las balsas.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la **Tabla 5** y fijándonos en la escala de valores del estado trófico en cuerpos de agua de la **Figura 16**, podemos observar una variabilidad significativa entre las distintas muestras. Encontrando en muestras como la 1,4 y 5 un desbalance entre los TSI de Chl-a y de P. Esto puede ocurrir debido a que la biomasa fotosintética ha consumido ya todo el P disponible.

	TSI (Chl-a)	TSI (P)
1	87,83	25,51
2	52,77	31,79
3	68,00	44,49
4	66,29	14,85
5	64,19	17,36
6	27,65	-21,40

Tabla 5 Índice estado trófico según modelo de Carlson

Estado de Eutrofia	TSI	Ds (m)	Pt (mg/m³)
Oligotrófico TSI < 30	0	64	0,75
	10	32	1,5
	20	16	3
	30	8	6
Mesotrófico 30 < TSI < 60	40	4	12
	50	2	24
	60	1	48
Eutrófico 60 < TSI < 90	70	0,5	96
	80	0,25	192
	90	0,12	384
Hipereutrófico 90 < TSI < 100	100	0,06	768*

Modificado de Carlson (1977; 1980)

Ilustración 17 Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua (Apuntes Ecología I)

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indican diferencias significativas en la composición y diversidad de las comunidades zooplanctónicas en las balsas de riego estudiadas. Los índices de diversidad de Shannon y Simpson indicaron niveles bajos de diversidad, especialmente en las balsas 1, 2 y 3, donde se observaron valores de $H' = 0$ y $D = 0$, lo que indica la dominancia de uno de los grupos estudiados. Esta baja diversidad podría estar relacionada con las características físico-químicas de las balsas, particularmente los altos niveles de nutrientes que podrían favorecer la proliferación de fitoplancton y crear un ambiente eutrófico que limita la diversidad zooplanctónica.

En particular, las balsas 4, 5 y 6 mostraron una mayor diversidad, que nos indica una menor dominancia de un grupo y una mayor equidad en la distribución. En estas balsas podemos observar niveles de oxígeno relativamente más altos y una menor turbidez, lo que podría favorecer la coexistencia de diferentes grupos.

Los resultados obtenidos del Índice de Estado Trófico de Carlson (TSI) muestran un claro desequilibrio entre los niveles de clorofila-a y fósforo en algunas balsas, especialmente en la muestra 1, donde el TSI para la clorofila-a fue extremadamente alto (87,83), mientras que el TSI para fósforo fue moderadamente bajo (25,51). Este desbalance sugiere que el fósforo disponible en el sistema podría haber sido ya consumido por la biomasa fitoplanctónica, lo que nos indica un estado avanzado de eutrofización. Este mismo patrón se observa en la balsa 4, donde el TSI basado en clorofila-a es significativamente más alto que el TSI basado en fósforo.

Otro aspecto destacable es la clara correlación negativa entre turbidez y oxígeno (**Tabla 4**). A medida que aumentan los niveles de turbidez en las balsas, disminuye la concentración de oxígeno disuelto. Esto puede deberse al aumento de la materia orgánica y la biomasa

fitoplanctónica que, al descomponerse, consume el oxígeno de los fondos. Este fenómeno es típico en sistemas eutróficos.

Los análisis de correlación entre las variables físico-químicas también sugieren que las balsas con agua regenerada presentan condiciones menos favorables para el desarrollo de una comunidad zooplanctónica diversa, en comparación con la balsa 6, que utiliza agua de manantial. Esto refuerza la idea de que las balsas con agua de origen más natural tienen una mayor capacidad para mantener un equilibrio ecológico que favorece la diversidad biológica.

En resumen, los resultados sugieren que las condiciones tróficas y las características fisicoquímicas de las balsas de riego tienen un papel muy importante en la diversidad y abundancia de las comunidades zooplanctónicas. Las balsas que tienen condiciones más favorables en cuanto a oxígeno y menores niveles de turbidez tienden a albergar una mayor diversidad de organismos, mientras que aquellas en estado más eutrofizado mostraron una baja diversidad.

En este trabajo he querido mostrar la importancia de una correcta gestión de las balsas de riego, no solo para prevenir problemas mecánicos como la obstrucción de filtros, sino porque son un entorno muy importante para conservar la biodiversidad acuática en estas estructuras artificiales que, a pesar de su origen no reside en ello, pueden desempeñar un papel crucial en la ecología de las áreas agrícolas.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrientos Llosa, Zaidett. 2003. Zoología general. Editorial EUNED.
- Belk, D., & Brusca, R. C. (2005). Invertebrados. McGraw-Hill Interamericana.
- Boxshall, G. A., & Halsey, S. H. (2004). An introduction to copepod diversity. The Ray Society.
- Bradford-Grieve, J. M., Blanco-Bercial, L., & Boxshall, G. A. (2010). Copepod Evolution. The Ray Society.
- Bratton, J. H. (2014). The importance of artificial wetlands for biodiversity conservation. *Environmental Management*, 53(2), 214-225.
- Brendonck, L., & De Meester, L. (2003). Egg banks in freshwater zooplankton: evolutionary and ecological archives in the sediment. *Hydrobiologia*, 491(1-3), 65-84.
- Brendonck, L., Rogers, D. C., Olesen, J., & Weeks, S. (2008). Global diversity of large branchiopods (Crustacea: Branchiopoda) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595(1), 167-176.
- Carpenter, S. R., J. J. Cole, J. R. Hodgson, J. F. Kitchell, M. L. Pace, D. Bade, K. L. Cottingham, T. E. Essington, J. N. Houser & D. E. Schindler, 2001. Trophic cascades, nutrients, and lake productivity: whole-lake experiments. *Ecological Monographs* 71: 163–186.
- Casas, J. J., Suárez, M. L., & Robles, S. (2012). Farm ponds as potential complementary habitats to natural wetlands in a Mediterranean region. *Wetlands*.
- Ebert, D. (2005). Ecology, Epidemiology, and Evolution of Parasitism in *Daphnia*. National Library of Medicine.

- Fahd, K., Serrano, L., & Toja, J. (2000). Crustacean and rotifer composition of temporary ponds in the Doñana National Park (SW Spain) during floods. *Hydrobiologia*, 436(1-3), 41-50.
- García-Roger, E. M., Carmona, M. J., & Serra, M. (2008). Bet-hedging in diapausing egg hatching of temporary rotifer populations – a review of models and new insights. *International Review of Hydrobiology*, 93(4-5), 523-533.
- Gilbert, J. D., de Vicente, I., Jiménez-Melero, R., & Guerrero, F. (2017). Zooplankton body size versus taxonomy in Mediterranean wetlands: Implications for aquatic ecosystem evaluation. *Freshwater Science*, 36(4), 774-783
- Gilbert, J. D., de Vicente, I., Ortega, F., & Guerrero, F. (2017). Zooplankton colonization degree in irrigation ponds at the Jaén province: a first approximation. *Water*, 13(1447).
- Gilbert, J. D., de Vicente, I., Ortega, F., & Guerrero, F. (2021). Zooplankton community dynamics in temporary Mediterranean wetlands: Which drivers are controlling the seasonal species replacement? *Water*, 13(1447).
- Jeppesen, E., Nørges, P., Davidson, T. A., Haberman, J., Nørges, T., Blank, K., Lauridsen, T. L., Søndergaard, M., Sayer, C., Laugaste, R., Johansson, L. S., Bjerring, R., and Amsinck, S. L. (2011). Zooplankton as indicators in lakes: a scientific-based plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia* 676, 279–297. doi:10.1007/S10750-011-0831-0
- Jiménez-Melero, R.; Gilbert, J.D.; Parra, G.; Márquez, F.J. y Pérez-Latorre, F.J. (2024) Primera aproximación al grado de colonización de las balsas de riego por comunidades zooplanctónicas en la provincia de Jaén XXXIX Congreso Nacional de Riegos

- Kotov, A. A., & Taylor, D. J. (2011). Mesozoic fossils (>145 Mya) suggest the antiquity of the subgenera of the 'living fossil' Triops (Crustacea: Branchiopoda: Notostraca). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 161(4), 723-742.
- Lampert, W. (2011). *Daphnia: Development of a model organism in ecology and evolution*. International Ecology Institute.
- Margaritora, F. G. (1983). Cladoceri (Crustacea: Cladocera). *Consiglio Nazionale delle Ricerche*, AQ/1/181.
- Mauchline, J. (1998). The biology of calanoid copepods. *Advances in Marine Biology*, 33, 1-710.
- Merritt, R. W., K. W. Cummins, & T. M. Burton, 1984. The role of aquatic insects in the processing and cycling of nutrients. In Resh, V. H., & D. M. Rosenberg (eds), *The Ecology of Aquatic Insects*. Praeger, New York: 134–163.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379–423.
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163, 688.