

# Capítulo 12

## Reconocimiento de algas, protozoos y metazoos como bioindicadores ambientales

María Elena González<sup>1</sup>

Alejandra Rengifo<sup>2</sup>

Darlyn Piñeros Marín<sup>3</sup>

Lina Marcela Buitrago Ramírez<sup>4</sup>

**Cítese como:** González, M. E., Rengifo, A., Piñeros-Marín, D. y Buitrago-Ramírez, L. M. (2023). Reconocimiento de algas, protozoos y metazoos como bioindicadores ambientales. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 207-220). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c361>

### Resumen

Conocer la diversidad microbiana y su funcionamiento en el ambiente acuático resulta importante para entender el comportamiento y la presencia de contaminantes, aprovechando de paso el potencial de los microorganismos como bioindicadores, con el fin de implementar estrategias de biorremediación para estos ambientes. El objetivo de esta investigación fue reconocer microorganismos como algas, protozoos y metazoos en muestras ambientales, evaluando diferentes condiciones de cultivo y alimentación. Se presenta los resultados recopilados en los últimos años en el área de Biotecnología ambiental de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Se tuvo en cuenta un proyecto de aula realizado durante el semestre 2022-2 con la creación de un atlas digital. Se recolectó muestras de lodos y biopelículas provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, lixiviados, aguas de lagunas, represas, quebradas, musgos y líquenes, cultivadas por BG11 bajo diferentes condiciones, encontrando gran diversidad biológica entre protozoos ciliados, ameboides y flagelados, así como una gran variedad de metazoos como nematodos, rotíferos, tardígrados y copépodos.

<sup>1</sup> Docente Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Facultad de Ciencias de la Salud, Medellín, Antioquia, Colombia. Correo: maria1.gonzalez@colmayor.edu.co

<sup>2</sup> Estudiante programa de Biotecnología, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Facultad de Ciencias de la Salud, Medellín, Antioquia, Colombia. Correo: arengifov@est.colmayor.edu.co

<sup>3</sup> Estudiante programa de Biotecnología, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Facultad de Ciencias de la Salud, Medellín, Antioquia, Colombia. Correo: dpineros@est.colmayor.edu.co

<sup>4</sup> Ingeniera, Especialista en Microbiología ambiental. Aguas Nacionales EPM S.A. E.S.P. Correo: marce.04b@gmail.com



Además, algas verdes, diatomeas y filamentosas. Se observó variación en su prevalencia con relación al tiempo y a las condiciones de cultivo. En conclusión, este estudio logró mantener cultivos de algas, protozoos y metazoos a través del tiempo, determinando su ecología microbiana y su papel ecológico como bioindicadores ambientales.

*Palabras clave:* meiofauna; bioindicadores ambientales; ecología microbiana; diversidad biológica.

## **Recognition of algae, protozoa, and metazoa as environmental bio-indicators**

### **Abstract**

Knowing the microbial diversity and its functioning in the aquatic environment is important to understand the behavior and presence of contaminants, taking advantage of the potential of microorganisms as bio-indicators, to implement bioremediation strategies for these environments. The objective of this research was to recognize microorganisms such as algae, protozoa, and metazoa in environmental samples, evaluating different cultures and feeding conditions. The results collected in recent years in the area of Environmental Biotechnology of the Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia are presented. A classroom project carried out during semester 2022-2 with the creation of a digital atlas was taken into account. Samples of sludge and biofilms were collected from wastewater treatment plants, leachates, lagoon waters, dams, streams, mosses, and lichens, cultivated in BG11 under different conditions, finding great biological diversity among ciliate, amoeboid and flagellate protozoa, as well as a great variety of metazoa such as nematodes, rotifers, tardigrades, and copepods; in addition, green algae, diatoms, and filamentous algae. Variation in their prevalence was observed about time and culture conditions. In conclusion, this study was able to maintain cultures of algae, protozoa, and metazoa over time, determining their microbial ecology and their ecological role as environmental bio-indicators.

*Keywords:* meiofauna; environmental bio-indicators; microbial ecology; biological diversity.

## **Reconhecimento de algas, protozoários e metazoários como bioindicadores ambientais**

### **Resumo**

Conhecer a diversidade microbiana e seu funcionamento no ambiente aquático é importante para entender o comportamento e a presença de contaminantes, aproveitando o potencial dos microrganismos como bioindicadores, para implementar estratégias de biorremediação para esses ambientes. O objetivo desta pesquisa foi reconhecer microrganismos como algas, protozoários e metazoários em amostras ambientais, avaliando diferentes culturas e



condições de alimentação. São apresentados os resultados coletados nos últimos anos na área de Biotecnologia Ambiental da Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Um projeto de sala de aula realizado durante o semestre 2022-2 com a criação de um atlas digital foi levado em conta. Foram coletadas amostras de lodo e biofilmes de estações de tratamento de águas residuais, lixiviados, águas de lagoas, represas, córregos, musgos e líquens, cultivados em BG11 sob diferentes condições, encontrando grande diversidade biológica entre protozoários ciliados, ameboides e flagelados, bem como uma grande variedade de metazoários, como nematóides, rotíferos, tardígrados e copépodes; além disso, algas verdes, diatomác. Foi observada uma variação em sua prevalência em relação ao tempo e às condições de cultura. Em conclusão, este estudo foi capaz de manter culturas de algas, protozoários e metazoários ao longo do tempo, determinando sua ecologia microbiana e seu papel ecológico como bioindicadores ambientais.

*Palavras-chave:* meiofauna; bioindicadores ambientais; ecologia microbiana; diversidade biológica.

## Introducción

La contaminación del agua se define como cualquier alteración en su composición, ya sea química, física o biológica, que puede afectar la calidad del agua y, generar un impacto dañino en los organismos vivos consumidores. En la actualidad, existen diversas fuentes de contaminación; esta se puede clasificar en varios tipos: en primer lugar, la contaminación natural, causada por microorganismos patógenos como bacterias, virus, protozoos y metazoos; estos pueden transmitir enfermedades gastrointestinales como el cólera, el tífus y la hepatitis, entre otras. En segundo lugar, la provocada por los desechos orgánicos e inorgánicos vertidos en las aguas debido a las actividades humanas; en ellos están incluidos los efluentes industriales, domésticos y agrícolas, llevando estos últimos, fertilizantes y pesticidas (Marchetti, 2010).

También terminan en el agua, sustancias como el petróleo, plásticos, plaguicidas, detergentes y sustancias no solubles en ella, como los nitratos, fosfatos y metales pesados. La contaminación de los cuerpos hídricos afecta principalmente la cantidad y calidad del agua disponible para el consumo humano y animal; se estima que, diariamente, se arroja al medio ambiente dos millones de toneladas de desechos a nivel mundial, los cuales terminan en el agua.

Es importante tener en cuenta cómo estos medios acuáticos son grandes reservorios de microorganismos, los cuales son formadores de un microambiente capaz de realizar procesos de mineralización y descomposición de la materia orgánica e inorgánica, a partir de la comunidad de bacterias, algas, protozoos y metazoos que actúan en conjunto para mantener la calidad estable de las fuentes de agua ante la llegada de diversos compuestos; no obstante, si se sobrepasa la capacidad de autodepuración de dichos contaminantes, se altera esta flora microbiana, deteriorando el funcionamiento del microambiente y la



presencia de estos microorganismos (Madoni, 2011). Los mayores indicadores de la calidad del recurso hídrico son las algas, protozoos y metazoos presentes en lagunas, ríos, quebradas, aguas estancadas, entre otras; estos poseen funciones dentro de su microambiente, controlando las comunidades bacterianas y otros microorganismos, indicando la calidad del cuerpo de agua y los cambios que puedan ocurrir (Kolkwitz y Marsson, 1909).

El conocimiento de la diversidad microbiana y su funcionamiento dentro del ambiente acuático es esencial para conocer el comportamiento del medio en el que se encuentran, así como los contaminantes; de ahí la importancia de conocer la fauna microbiana presente y su potencial como bioindicadores de diversos contaminantes tóxicos y, a su vez, implementar estrategias de remediación para dichos ambientes. El objetivo de esta investigación fue dar a conocer nuestra experiencia en el área de biotecnología ambiental del Colegio Mayor de Antioquia durante el semestre 2022-2. Como resultado de un proyecto de aula a partir de muestras ambientales, se creó además un atlas digital, con el fin de conocer la diversidad de microorganismos presentes en diversos nichos ecológicos y determinar su papel ecológico en estos ambientes. Este atlas digital es una herramienta valiosa para entender la complejidad de los ecosistemas y contribuir a su conservación, por cuanto estos organismos sirven como bioindicadores de dichos ambientes.

### **Problema de investigación**

En los últimos años ha habido un aumento en la investigación de microorganismos de interés ambiental, incluyendo protozoos y metazoos, los cuales son relacionados comúnmente como parásitos intestinales patógenos que causan enfermedades gastrointestinales de origen hídrico, transmitidos a través de aguas y alimentos contaminados. El descubrimiento de nuevos microorganismos y el conocimiento existente sobre la microbiología del agua requieren un diseño más elaborado de las normas, que eviten la aparición de bacterias, virus, hongos y parásitos patógenos en el agua de consumo (Ríos-Tobón et al., 2017). Aunque estos microorganismos son conocidos principalmente por su papel patógeno, es primordial destacar sus cualidades en los ecosistemas acuáticos, por cuanto pueden actuar como bioindicadores ambientales. La literatura existente es limitada y no se ha explorado lo suficiente la diversidad de protozoos, algas y metazoos provenientes de diversos ambientes como aguas (crudas, estancadas y residuales), lodos, biopelículas, lixiviados, musgos y líquenes, en nuestro medio; por esta razón, se requiere más estudios que ayuden a comprender mejor la diversidad de estos microorganismos y sus interacciones con el ambiente.

### **Metodología**

**Recolección de muestras:** las muestras fueron tomadas en diferentes lugares del departamento de Antioquia; se recolectó muestras de lodos y biopelículas de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), lixiviados, aguas de lagunas, represas, quebradas, musgos y líquenes; estas fueron tomadas en



frascos limpios de plástico y/o vidrio, transportadas en refrigeración hasta los laboratorios de la Institución Universitaria del Colegio Mayor de Antioquia (IUCMA), donde permanecieron en nevera a 4 °C hasta su procesamiento.

**Observación microscópica inicial:** las muestras recolectadas fueron observadas empleando un estereomicroscopio, un microscopio óptico y un microscopio invertido con contraste de fase; se hizo observaciones en fresco y con lugol de Gram para determinar la riqueza biológica de las mismas.

**Condiciones de cultivo:** se ensayó varias formas de cultivo, escogiendo finalmente el medio BG11; fueron depositadas en *Erlenmeyers* de 125 mL con un volumen efectivo de 70 mL, para evitar zonas muertas de cultivo y/o sedimentabilidad; fueron dispuestas en las siguientes condiciones de cultivo:

1. Aireación constante con bomba de acuario y ciclo luz-oscuridad 12/12.
2. Agitación (75 rpm) y ciclo luz- oscuridad 12/ 12, *Erlenmeyer* distribuidos en cada *shaker*.
3. Agitación (150 rpm) e iluminación LED continua.

Las condiciones de laboratorio fueron constantes para las tres condiciones de cultivo: temperatura ambiente 24-26 °C, humedad relativa 66 %. Las muestras sembradas fueron alimentadas semanalmente con agua estancada, agua de quebrada, agua lluvia y la microalga *Chlorella vulgaris*; finalmente, cada 15 días se realizó el recambio de parte del medio de cultivo, con el fin de mantener vivos los microorganismos en estudio.

**Evaluación de parámetros fisicoquímicos:** en aras de correlacionar los resultados obtenidos en el cultivo de la meiofauna en estudio, se tomó parámetros fisicoquímicos (pH y conductividad) en cada una de las muestras, para determinar las condiciones durante el tiempo de experimentación.

**Clasificación de organismos encontrados:** de acuerdo con sus características morfológicas, con la ayuda de literatura especializada, divididos en:

- **Metazoos:** micrometazoos y macrometazoos
- **Algas:** diatomeas, filamentosas y algas verdes
- **Protozoos:** ciliados, flagelados y ameboides.

## Resultados

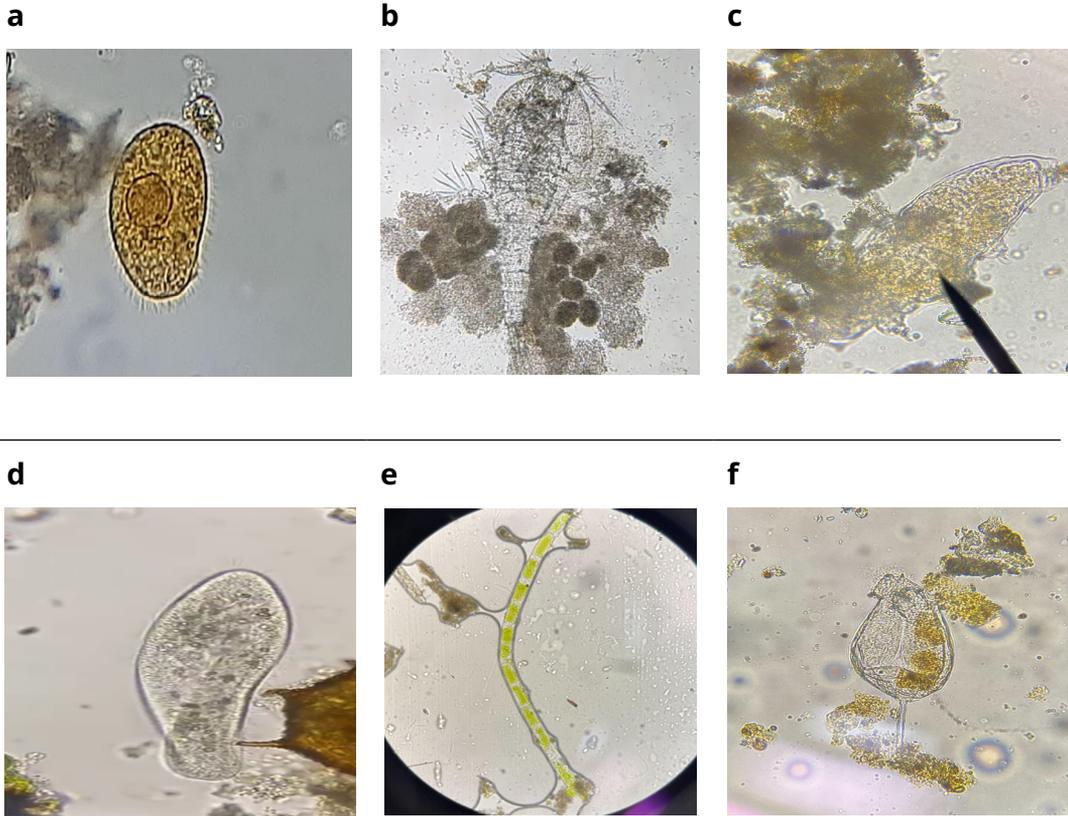
### Observación microscópica inicial

Se logró evidenciar gran diversidad de microorganismos y organismos presentes en las muestras iniciales. A continuación, se presenta algunos ejemplos de las observaciones microscópicas de los microorganismos encontrados:



## Figura 1

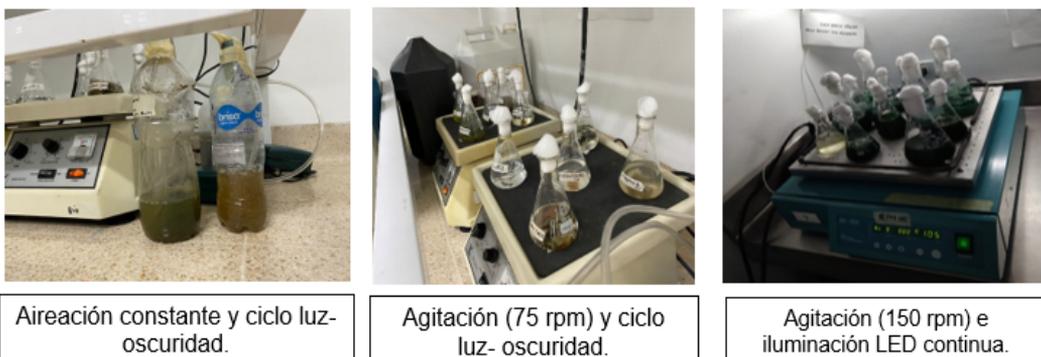
Observaciones microscópicas: a. Ciliado; b. Copépodo; c. Tardígrado; d. Ciliado; e. Alga filamentosa; f. Rotífero



## Condiciones de cultivo

### Figura 2

Condiciones de cultivo para los organismos en estudio, Centro de Biotecnología de la IUCMA



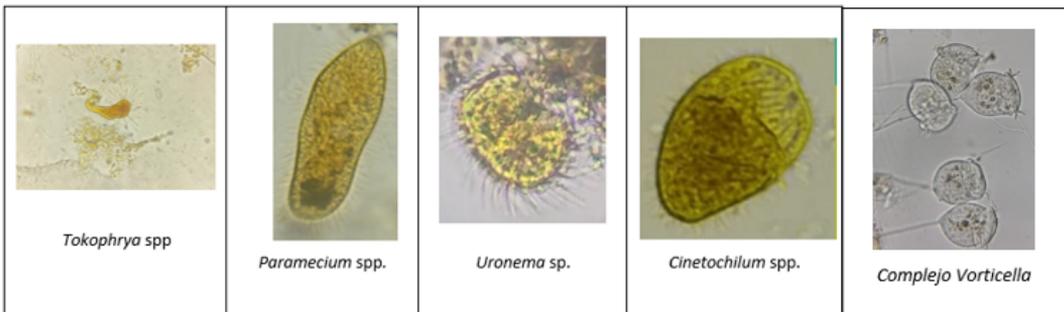
## Clasificación de organismos encontrados

El equipo de trabajo responsable de este estudio se permite aclarar que no somos biólogos ni mucho menos taxónomos; por tanto, realizamos aproximaciones en la clasificación de los siguientes organismos:

### Protozoos ciliados

#### Figura 3

Muestras de protozoos ciliados



Se pudo observar gran variedad de protozoos ciliados dentro de las muestras; a partir de esto, se procedió a buscar bibliografía para indicar su potencial como bioindicador. Así, evidenciamos la diferenciación entre ciliados en fijos o sésiles como *Tokophrya* sp; este ciliado sesil suctorio es bioindicador de alta edad de fangos en condiciones alfa y beta-mesosaprobias mientras que, *Vorticella* sp cuando aparece de forma dominante, está asociado a condiciones de buena aireación y funcionamiento estable del reactor; por el contrario, cuando aparece en baja densidad poblacional, se asocia a condiciones transitorias (poco estables o de colonización). Es indicador, además, de la ausencia de nitrificación en el reactor biológico.

Otro tipo de protozoos ciliados son los nadadores; en este caso, encontramos *Paramecium caudatum*, reportado para el control de la eutrofización de lagos, lo cual representa una alternativa biorremediadora para cuerpos de agua eutrofizados, mientras que su presencia esporádica en una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) indica fangos o lodos en formación, con carga orgánica alta; además, es frecuente hallarlo en filtros percoladores. Se ha demostrado la capacidad de *Paramecium* sp para estar en consorcios y actuar sobre aguas contaminadas con petróleo, logrando degradar más de un 50 % de hidrocarburos.

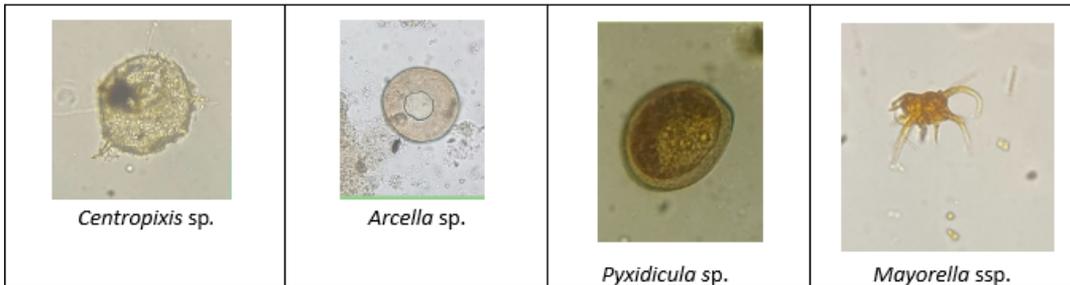
*Uronema* sp, otro ciliado nadador, es indicador de alta edad de lodos en condiciones alfa beta-mesosaprobias. En algunas ocasiones se presenta como organismo mayoritario en PTAR, funcionando a bajas edades de lodos o en situaciones de sobrecarga orgánica y escasa oxigenación (Isac et al., 2015).



## Protozoos ameboides

### Figura 4

Muestra de protozoos ameboides



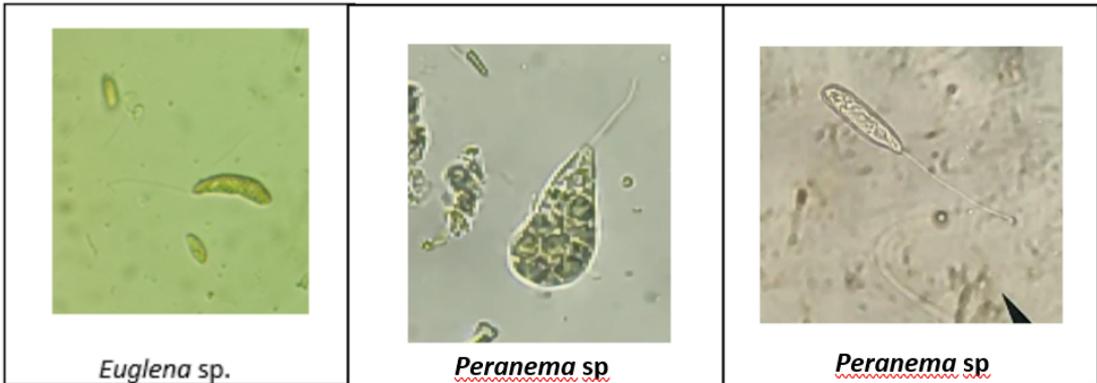
Los protozoos ameboides estaban distribuidos en todas las unidades experimentales, a excepción de las muestras cultivadas en agitación e iluminación constante, en las cuales se promovió el crecimiento de algas. Se pudo identificar algunos géneros de protozoos importantes como bioindicadores; según la información recopilada, hubo amebas tecadas como *Centropyxis* sp, que se alimenta de restos de materia orgánica y recoge fragmentos inorgánicos para usarlos como capa protectora; indica buena calidad de la depuración en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Por otro lado, *Arcella* sp se ha reportado como indicador de buenos rendimientos de depuración; a elevadas concentraciones, indica baja carga orgánica, altos tiempos de retención celular, buena oxigenación y condiciones de nitrificación (Zornoza et al., 2011). *Pyxidula* sp, a diferencia de las amebas descritas, no presenta tanta información ecológica; no obstante, está asociada a depuración correcta. En general, las amebas tecadas están asociadas a procesos exitosos; no ocurre igual para las amebas desnudas, como es el caso de *Mayorella* sp; su presencia indica bajos rendimientos en la depuración e inestabilidad de la carga orgánica de entrada en el reactor; cuando aparece en elevadas densidades de población, indica la entrada de vertidos difícilmente degradables.



## Protozoos flagelados

### Figura 5

#### Muestras de protozoos flagelados



Se halló protozoos flagelados en menor cantidad, en comparación con los demás microorganismos; existen diversos tipos: unos, de vida libre y otros, con capacidad de establecer relaciones simbióticas con diferentes especies vegetales y animales: *Crithidia spp.*, *Leptomonas spp.* o *Phytomonas spp.*, entre otros. Además, en este grupo muchos son parásitos del hombre (Cacciò et al., 2005).

Los protozoos flagelados desempeñan un papel ecológico importante en numerosos ecosistemas acuáticos y terrestres. Estos organismos unicelulares son un componente clave de la cadena alimentaria, por cuanto se alimentan de bacterias y algas más pequeñas y, a su vez, son presa de organismos más grandes como los crustáceos y los peces. Además, los protozoos flagelados son esenciales en la regulación de la calidad del agua, ya que actúan como depuradores naturales en los sistemas acuáticos. Al alimentarse de bacterias y otros microorganismos, contribuyen a reducir la carga de nutrientes y materia orgánica en el agua.

Por ejemplo, se ha encontrado que *Euglena sp.* puede ser un indicador útil de la presencia de alta concentración de carbono orgánico en las aguas residuales, debido a sus características bioquímicas están siendo utilizadas en procesos de descontaminación de aguas residuales (Mahapatra et al., 2013); esto indica cómo el agua residual entrante tiene sustancias orgánicas muy diluidas, al igual que *Peranema sp.*, aunque esta última es compatible con buenos rendimientos en la depuración.

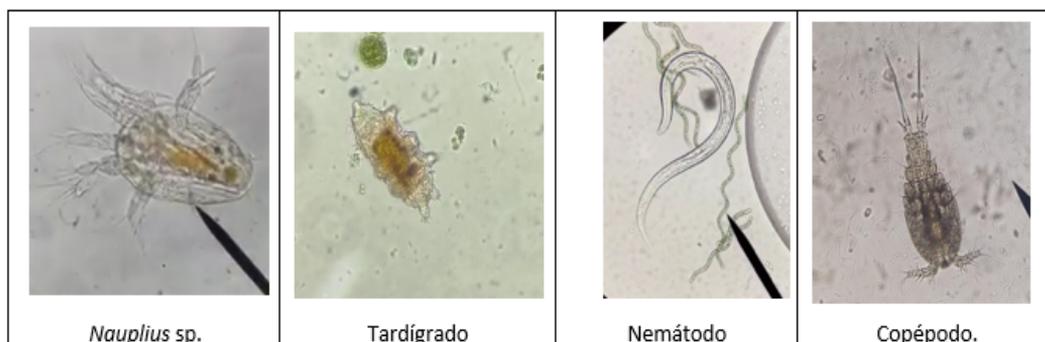
Los protozoos son buenos bioindicadores de toxicidad, por cuanto son más sensibles a los tóxicos y a los cambios de oxígeno; por lo anterior, pueden ser considerados como bioindicadores del funcionamiento de las PTAR y constituyen una herramienta útil para el control de las mismas, así como para la detección y prevención de posibles problemas operativos.



## Micro y macrometazoos

### Figura 6

#### Muestras de micro y macrometazoos



Los micro y macrometazoos han venido tomando relevancia, dadas sus múltiples utilidades biotecnológicas. Un ejemplo de ellos son los tardígrados, utilizados como modelos de investigación para astrobiología, exploración espacial y medicina, entre otros, debido a sus mecanismos de supervivencia como criptobiosis, anoxibiosis, criobiosis, anhidrobiosis y ósmosis (Lagos et al., 2013). Los tardígrados son ubicuos, encontrándose en aguas marinas y dulces, hábitats terrestres como musgos, líquenes, hepáticas, hojarasca, suelos forestales, en todas las altitudes y latitudes, en algunos ecosistemas antárticos como nunataks, llanuras costeras y glaciares, hasta en las trincheras oceánicas más profundas. Además de ser utilizados como indicadores ambientales, los tardígrados podrían funcionar como indicadores de calidad de diferentes sustratos, por su resistencia a metales pesados como el cobre, aunque falta aún mucha investigación por realizar en este tema (Parada, 2022).

Otros micrometazoos de gran importancia como bioindicadores son los rotíferos; en general, en número controlado indican eficiencia en la depuración, elevadas edades de fango y buena calidad del agua tratada, mientras que *Testudinella* sp. no aparece habitualmente en fangos activos, sí se encuentra en biofilms o biopelículas.

Por otra parte, según Zornoza et al. (2011), los copépodos cumplen un papel ecológico dentro de su nicho, ya que son enlaces tróficos esenciales en las redes alimentarias y pueden servir como bioindicadores de la presencia de metales pesados; además, son utilizados en larvicultura marina (altas cantidades de ácidos grasos y antioxidantes). No es común en fangos activados. Puede estar asociado a una elevación en la concentración salina.

También nos pudimos dar cuenta de la alta presencia de nematodos, en general, en la mayoría de las muestras; en lodos de PTAR, estos se alimentan de protozoos y están asociados a elevada edad de fangos. Poseen un potencial prometedor reportado en algunos estudios, a la producción de biomasa de



nematodos a partir de lodos generados de las plantas depuradoras urbanas, lo cual ayuda a disminuir la carga total del fango, generando una tecnología limpia y ecológica en el tratamiento de aguas residuales y en la biotecnología de nematodos, permitiendo alcanzar una economía circular más consolidada (Muñoz et al., 2022).

## Microalgas

### Figura 7

#### Muestras de microalgas



Las microalgas fueron los organismos con más abundancia en este estudio; son de vital interés ecológico y biotecnológico pues, bajo ciertas condiciones, muchas especies de ellas pueden acumular en altas concentraciones, compuestos de interés comercial, como proteínas, lípidos, almidón, glicerol, pigmentos naturales y biopolímeros; por tanto, constituyen un recurso muy versátil para numerosas aplicaciones en diversos campos: en la acuicultura, son utilizadas como fuente principal de alimento para moluscos, rotíferos, peces y fases larvarias de crustáceos, además de contribuir a mantener la calidad del agua. También son empleadas en el tratamiento de aguas residuales, la detoxificación biológica y el control de metales pesados en aguas naturales o industrialmente contaminadas. Son útiles en la agricultura como biofertilizantes y, en la industria biomédica y farmacológica para tratar heridas, así como en la producción de sustancias de interés comercial como vitaminas, pigmentos, aminoácidos, polisacáridos y enzimas. En la industria de la fermentación, son utilizadas como promotoras de crecimiento y para la producción de ceras, biosurfactantes, fosfolípidos, ácidos grasos esenciales y prostaglandinas. Además, los lípidos algales son una alternativa para la producción de biocombustibles (Gómez, 2007).

## Conclusiones

De los proyectos realizados en estos años en biotecnología ambiental, a la fecha logramos mantener cultivos de algas, protozoos y metazoos durante cuatro meses (lo que dura un semestre académico) en las diferentes condiciones de cultivo, alimentando dos veces por semana. Se evidenció cómo las condiciones de cultivo promueven un grupo específico de organismos, así: bajo las



condiciones de cultivo de agitación e iluminación continua, el crecimiento de algas verdes y algas filamentosas; mientras que, en las condiciones de ciclo luz-oscuridad, aumentan las amebas tecadas, el número de rotíferos, así como la variabilidad de las especies encontradas, siendo esta la mejor condición para los protozoos y metazoos. En la condición de aireación, se produce evaporación de las muestras, dificultando el crecimiento de los organismos en estudio.

Se cambió la alimentación de aguas lluvias por aguas estancadas y de quebrada, con el fin de mantener los organismos vivos, debido a que las primeras alimentaciones fueron pobres (aguas lluvias) y esto influyó en la viabilidad de los cultivos; si bien en este estudio no se logró el cultivo de tardígrados provenientes de líquenes, fueron estos las muestras con el mayor aporte en el número y variedad de organismos, al ser comparados con las demás muestras.

El alimento fue un factor determinante en la variación de la ecología microbiana; así mismo, se observó cómo la presencia de tardígrados está determinada por la abundancia de rotíferos y nematodos en las muestras de líquenes. En las mediciones de los parámetros fisicoquímicos se pudo evidenciar cómo las muestras biológicas son muy sensibles a cambios en su alimentación, como los cambios en la conductividad y pH; por tanto, se debe correlacionar los resultados fisicoquímicos con los bioindicadores encontrados en las muestras evaluadas.

Gracias a la amplia variedad de organismos hallados, se ha logrado identificar un gran número de especies que han permitido la creación de un atlas que recopila información sobre el papel ecológico que cada organismo desempeña, así como las características morfológicas principales, para su fácil identificación. En consecuencia, se tiene como objetivo, mantener actualizado este atlas, incluyendo organismos no documentados hasta ahora.

## Recomendaciones

El trabajo colaborativo, de acuerdo con los equipos y fortalezas de los grupos de investigación, es fundamental para dar a conocer nuestra riqueza en meiofauna; en nuestro caso, nos dimos cuenta que durante el desarrollo de esta investigación no contábamos con equipos especializados que permitieran una identificación morfológica de alta resolución para diferenciar organelas y estructuras claves para la clasificación taxonómica, razón por la cual y, para complementar nuestra experiencia, realizamos una pasantía con el grupo MIKU de la Universidad del Magdalena, grupo que cuenta con amplia experiencia en taxonomía de tardígrados. Así mismo, nos apoyamos en el trabajo del grupo Bioindicación Sevilla, de la Universidad Complutense de Madrid, para los lodos activados en PTAR. Deseamos continuar este estudio, con el fin de emplear los bioindicadores en otros sistemas de tratamiento de aguas residuales como reactores de biodiscos, MBR, humedales, entre otros.



## Agradecimientos

A los estudiantes del semestre 2022-2 de Biotecnología ambiental, quienes hicieron parte del proyecto de la creación de un atlas, aportando conocimiento valioso que ayudó a construir el presente artículo. Igualmente, un reconocimiento y un agradecimiento especial a todas las personas que durante casi nueve años han venido aportando en el crecimiento de esta línea de investigación.

## Referencias

- Cacciò, S. M., Thompson, R. C., McLauchlin, J., & Smith, H. V. (2005). Unravelling Cryptosporidium and Giardia epidemiology. *Trends in Parasitology*, 21(9), 430-437. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2005.06.013>
- Gómez, L. M. (2007). Microalgas: aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista Cubana de Química*, 19(2), 3-20.
- Isac, L., Rodríguez, E., Salas, M. D. y Fernández, N. (2015). Protozoos en el fango activo. [http://www.bibliotecagbs.com/archivos/089\\_156\\_capficha\\_protozoos.pdf](http://www.bibliotecagbs.com/archivos/089_156_capficha_protozoos.pdf).
- Kolkwitz, R. & Marsson, M. (1909). Ökologie der tierischen Saprobien. *Internationale Revue of Hydrobiologie*, 2(1-2), 126-152. <https://doi.org/10.1002/iroh.19090020108>.
- Lagos, A. M., Daza, A., Sánchez, C., León, M. V., Caicedo, M., Londoño, R. y Quiroga, S. (2013). Ositos de agua. Phylum: Tardigrada. *Boletín de Zoología*, 2, 1-16.
- Madoni, P. (2011). Protozoa in wastewater treatment processes: A minireview. *Italian Journal of Zoology*, 78(1), 3-11. <https://doi.org/10.1080/11250000903373797>
- Mahapatra, D. M., Chanakya, H. N., & Ramachandra, T. V. (2013). *Euglena* sp. as a suitable source of lipids for potential use as biofuel and sustainable wastewater treatment. *Journal of Applied Phycology*, 25, 855-865. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-9979-5>
- Marchetti, C. M. (2010). Contaminación y contaminantes del aire exterior. En *Salud ambiental infantil. Manual para enseñanza de grado en escuelas de medicina* (pp. 43-46). Ministerio de Salud de la Nación y Organización Panamericana de la Salud.
- Muñoz, M. J., López-Viso, C., & Hodaifa, G. (2022). Nematode biomass production from sewage sludge as a novel method for circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 330. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129706>



- Parada, M. (2022). *Tardígrados (ecdysozoa: tardigrada) asociados a musgos (bryophyta) de la ciudad de México y estados de Morelos, Hidalgo y Oaxaca, México* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://www.researchgate.net/publication/361650195>
- Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M. y Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Zornoza, A., Avendaño, L., Alonso-Molina, J. L., Serrano, S., Amoros, I., Bernácer, I. y Martínez, J. L. (2011). Análisis de las correlaciones entre diversos parámetros operacionales y físico-químicos relacionados con el proceso biológico de nitrificación en fangos activos. [https://www.researchgate.net/publication/234154579\\_Analisis\\_de\\_las\\_correlaciones\\_entre\\_diversos\\_parametros\\_operacionales\\_y\\_fisico-quimicos\\_relacionados\\_con\\_el\\_proceso\\_biologico\\_de\\_nitrificacion\\_en\\_fangos\\_activos](https://www.researchgate.net/publication/234154579_Analisis_de_las_correlaciones_entre_diversos_parametros_operacionales_y_fisico-quimicos_relacionados_con_el_proceso_biologico_de_nitrificacion_en_fangos_activos)

