

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**Bacterivoría de Rotíferos y Cladóceros  
en Aguas Residuales Municipales**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

SANDRA NORMA MENDOZA MORENO

DIRECTOR DE TESIS: Dr. PEDRO RAMÍREZ GARCÍA



2004



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

*A mis padres Sandra y José Antonio por todo su apoyo incondicional en toda la carrera.*

*A mis hermanos por ser la primera de la familia en titularse y que este logro les de aliento para lograr sus propósitos.*

*A mi profesor Dr. Pedro Ramírez por toda la paciencia y tiempo dedicado en mi trabajo.*

*A mi amiga Sandra y Juan que toda la carrera estuvieron conmigo en los momentos difíciles y de alegría.*

*A Fernando que siempre me apoyo en todo lo necesario para poder terminar la tesis. Por todo su amor y paciencia infinita que todos los días tiene conmigo.*

*A todos MUCHAS GRACIAS*

## AGRADECIMIENTOS

*Deseo agradecer especialmente al Dr. Pedro Ramírez García el haberme dado la oportunidad de participar en este proyecto, el cual estuvo bajo su dirección, así como el apoyo brindado durante la realización del mismo.*

*A la Dra. Ma. del Rosario Sánchez Rodríguez deseo agradecer profundamente las observaciones realizadas al presente trabajo, tanto en la realización del protocolo de investigación como en la redacción del manuscrito final.*

*A la Dra. Nandini Sarma deseo agradecer todo el apoyo brindado para la realización de esta investigación, por los organismos proporcionados y por las valiosas observaciones realizadas a lo largo de la realización de este trabajo.*

*A la Biol. Ma. Dolores Hurtado Bocanegra deseo agradecer todos los comentarios y correcciones realizadas a lo largo de la elaboración de este trabajo de tesis y todo el tiempo que estuve laborando en el laboratorio.*

*Al M. en C. Ángel Durán Díaz deseo agradecer la ayuda en el análisis estadístico de este trabajo, así como las observaciones realizadas al escrito final.*

*Agradezco a los directivos y personal de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Iztacalco, S.A de C.V. por el apoyo y facilidades recibidas para la realización de este trabajo de tesis.*

*El presente trabajo de tesis se realizó en el marco del proyecto DGPA-PAPIIT IN 205900.*

## ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCION	2
1.1. <i>Aguas Residuales</i>	2
1.2. <i>Tratamiento de las aguas residuales</i>	2
1.3. <i>Rotíferos</i>	4
1.4. <i>Cladóceros</i>	6
1.5. <i>Importancia</i>	7
2. ANTECEDENTES	8
3. JUSTIFICACION	10
4. ÁREA DE ESTUDIO	11
5. OBJETIVOS	12
5.1. <i>Objetivo General</i>	12
5.2. <i>Objetivos particulares</i>	12
6. MATERIAL Y MÉTODOS	13
6.1. <i>Trabajo de campo</i>	13
6.2. <i>Trabajo de laboratorio</i>	13
7. RESULTADOS	17
7.1. <i>Rotíferos</i>	17
7.2. <i>Cladóceros</i>	21
7.3. <i>Análisis Estadístico</i>	25
8. DISCUSIÓN	27
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
9.1. <i>Conclusiones</i>	33
9.2. <i>Recomendaciones</i>	33
10. LITERATURA CITADA	34
Anexo 1	39
Anexo 2	45

---

## RESUMEN

Se estudió la eficiencia en el consumo de bacterias para rotíferos: *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus havanaensis*, *Brachionus patulus*, *Brachionus rubens* y cladóceros: *Alona rectangula*, *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia pulex* y *Moina macrocopa*, usando muestras de agua residual del efluente del tercer tanque de sedimentación del tratamiento secundario de la planta: Aguas Tratadas de Iztacalco S.A de C.V. De las especies de rotíferos estudiadas *B. Patulus* fue la especie con el más alto porcentaje de remoción (42.7%) y *B. havanaensis* fue el rotífero que tuvo menor eficiencia en la remoción de bacterias (15.2%). *Ceriodaphnia dubia* fue el cladócero con el mejor porcentaje de remoción (49%) y *A. rectangula* fue el cladócero con menor eficiencia en la remoción de bacterias (42.2%). En general los cladóceros tuvieron porcentajes de remoción más altos que los rotíferos. Se discute la posibilidad de utilizar a las especies mencionadas considerando no solamente los resultados obtenidos en este trabajo, sino también aquellos de estudios demográficos realizados anteriormente en condiciones similares a las empleadas en esta investigación.

Palabras clave: Cladóceros, Rotíferos, Bacterivoría, Agua residual.

---

## **1. INTRODUCCIÓN**

La naturaleza degrada la contaminación que produce mediante procesos cíclicos, pero actualmente le resultan insuficientes para procesar tanto la contaminación que es generada por las actividades del hombre como la propia; particularmente el ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Sin embargo, esta misma facilidad de regeneración y su aparente abundancia hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamos los residuos producidos por nuestras actividades (Lomelí y Tamayo, 2003).

### ***1.1. Aguas residuales***

Este deterioro se ha constituido desde hace varios años como un grave problema medioambiental y socioeconómico, especialmente en México, por lo que ha surgido la necesidad de tratar el agua contaminada mediante plantas depuradoras para reducir la carga de contaminantes del efluente (Seoanez, 1995). En México se cuenta con 361 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, con una capacidad instalada de 25 L/s. Estas plantas sólo tienen capacidad instalada para tratar el 24 % del volumen total a tratar y de esta el 50 % es para reuso. Esto se realiza mediante diferentes niveles de tratamiento, dependiendo del grado de purificación que se quiera obtener (Lomelí y Tamayo, 2003).

### ***1.2. Tratamiento de las aguas residuales***

El tratamiento de las aguas residuales es el conjunto de recursos por medio de los cuales es posible verificar las diferentes etapas que tienen lugar en la autodepuración de una corriente, dentro de un área limitada y apartada bajo condiciones controladas. El tratamiento se realiza por distintos procesos, los más

---

comunes son el tratamiento previo, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario (Ramalho, 1996).

- Tratamiento previo:

Tiene como objeto retirar del efluente las partículas sólidas de mayor grosor. Para ello se emplean distintos métodos de carácter físico, entre los más comunes, cribado, y desarenado (Seoanez, 1995a).

- Tratamiento primario:

En esta etapa se separan materiales que se encuentran en suspensión. Entre las operaciones que se utilizan están; filtración, sedimentación, flotación, separación de aceites y neutralización (Lomelí y Tamayo, 2003). El tratamiento primario se lleva a cabo en tanques de sedimentación con un tiempo de retención en el diseño de flujo de cerca de 2 hrs. y una velocidad de sedimentación calculada de cerca de 0.4 mm/s, elimina alrededor del 60 % de los sólidos en suspensión y el 35 % de los materiales orgánicos (35 % de la demanda bioquímica de oxígeno) (Lomelí y Tamayo, 2003; Dean y Lund, 1981).

- Tratamiento secundario:

En este paso lo que se elimina principalmente es la materia orgánica biodegradable. Para ello se emplean tratamientos biológicos en los que la materia orgánica es oxidada por distintos tipos de microorganismos reduciéndola hasta en un 90%, de manera que se hace disminuir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del efluente. En este proceso se pueden utilizar varios tipos de dispositivos, como pueden ser: lagunas de aireación, filtros biológicos o lodos activados, siendo éste último el método más utilizado (Seoanez, 1995).



- Tratamiento terciario:

Se aplica para eliminar una serie de compuestos, como son las sustancias nitrogenadas, los compuestos fosforados y distintos tipos de materia orgánica e inorgánica. Es una serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario. Existen diferentes tipos de tratamiento terciario como: adsorción en carbón activado (separación de compuestos orgánicos), intercambio iónico, ósmosis inversa y oxidación química (cloración y fósforo) para la purificación de aguas residuales (Ramalho, 1996).

### **1.3. Rotíferos**

Junto con los protozoos y pequeños crustáceos, son los organismos dominantes en el zooplancton de agua dulce y son importantes en el reciclado de nutrientes en los sistemas acuáticos (Ruppert y Barnes, 1996). Se han descrito unas 2,000 especies y casi todas tienen una distribución muy amplia, procedentes de aguas dulces y de todas las regiones litorales marinas, así como los medios semiterrestres, entre los musgos y los líquenes (Meglitsch, 1978), también es posible encontrarlos en lagunas de estabilización y en plantas de tratamiento de aguas residuales (Ehrlich, 1996; Daborn, *et al.*, 1978; Seaman *et al.*, 1986; Nandini, 1999).

Muchas especies de rotíferos se pueden dividir en una región anterior corta, un gran tronco que integra la mayor parte del cuerpo y un pie terminal. La región anterior tiene un órgano ciliado denominado corona, órganos sensoriales como son cerdas, fosetas ciliadas, ocelos, una o dos antenas cortas y el órgano retrocerebral (Meglitsch, 1978; Ruppert y Barnes, 1996). El tronco suele tener placas y estar ornamentado, la porción terminal del cuerpo o pie es mucho más

---

estrecha que la región del tronco, puede estar segmentado y en el extremo suele tener de una a cuatro proyecciones llamadas dedos (Ruppert y Barnes, 1996).

Han tenido éxito gracias a sus adaptaciones reproductivas, son organismos dioicos o hembras partenogénicas. Pueden producir huevos latentes, que soportan la deshidratación y no eclosionan durante varios meses e incluso años (Ruppert y Barnes, 1996).

La alimentación comienza por la boca que es ventral y suele estar rodeada por parte de la corona. La boca puede desembocar directamente en la faringe, o bien se puede situar entre ambos un tubo bucal ciliado. La faringe o mástax es característica de todos los rotíferos, suele ser oval o alargada y muscularizada. El epitelio interno tiene siete piezas internas o trophi, formadas por un material mucopolisacárido ácido. El mástax sirve para la captura y trituración del alimento y por consiguiente, su estructura varía considerablemente según el tipo de comportamiento alimenticio del organismo. En las paredes del mástax existen unas masas glandulares enzimáticas denominadas glándulas salivales, las cuales desembocan a través de conductos situados justo en el frente del mástax. Un esófago tubular conecta la faringe con el estómago, en el punto de unión del esófago y el estómago existen un par de glándulas gástricas. El estómago de absorción y digestión es un amplio saco o tubo que desemboca en un intestino corto. Los órganos excretores y el oviducto también desembocan en el extremo terminal del intestino, que por consiguiente funciona como una cloaca. El ano se localiza en la superficie dorsal cerca del extremo posterior del tronco (Ruppert y Barnes, 1996).

#### **1.4. Cladóceros**

Los cladóceros son crustáceos dulceacuícolas y marinos de pequeñas dimensiones que oscilan entre 0.2 - 0.5mm de longitud (Dodson y Frey, 1991). Se conocen unas 600 especies, distribuidas en 11 familias, más del 90% de las especies son dulceacuícolas (De la Fuente, 1994).

El cuerpo, en general está cubierto con un caparazón que lo rodea lateralmente. La cabeza es libre, en general prolongada en un corto rostro. Presenta ojos compuestos sésiles. (Ruppert y Barnes, 1996). Las antenas son cortas, birramias, utilizadas como las principales estructuras locomotoras. El tronco es corto, posee de cuatro a seis pares de apéndices filopodiales y continúa con un postabdomen, siguiendo un telson para formar furcas caudales (De la Fuente, 1994).

En relación a la morfología interna, el sistema nervioso muestra un grado de condensación variable de modo que en algunas formas los ganglios de la cadena nerviosa se pueden fusionar en una única masa postoral. El tubo digestivo es simple, a veces con un par de pequeños divertículos. El corazón es pequeño, globuloso con un par de ostiolas. Presenta sexos separados, con una o dos gónadas, en los machos puede existir un único gonoporo que a veces se continúa en el pene, la partenogénesis es frecuente, también hay huevos de resistencia (De la Fuente, 1994).

En la alimentación los movimientos complejos de las patas torácicas para fines prácticos es altamente exitosa, produce una corriente constante de agua entre las valvas, esos movimientos sirven para filtrar las partículas de alimento del agua y colectarlo en una cavidad ventromedial en la base de las patas, esta

---

corriente de alimento está dirigida a las partes bucales, donde las partículas pueden ser colocadas entre las superficie de las mandíbulas antes de ser llevadas al interior de la boca. Algas y protozoos han sido asumidos como alimentos principales, pero el detritus orgánico de todo tipo así como las bacterias son muy importantes y forman comúnmente la mayoría del material ingerido. Aunque hay poca evidencia de que ciertos tipos de alimento, tales como grupos particulares de algas, protozoos o bacterias, puedan ser seleccionados por algunas especies y se cree generalmente, que todas las partículas orgánicas de tamaño adecuado son ingeridas sin ningún mecanismo selectivo. El alimento digerido finalmente es pasado de las partes bucales al esófago en pequeñas masas de tamaño definido, el tiempo requerido para llenar el tracto digestivo varía considerablemente dependiendo de las especies, la temperatura, la concentración de alimento y otros factores, las observaciones de laboratorio muestran tiempos de 10 a 240 minutos (Pennak, 1989).

### **1.5. Importancia**

Su importancia se debe a que tanto rotíferos como cladóceros juegan un papel fundamental en las cadenas tróficas, ya que son consumidores no solamente de bacterias sino también de protozoos y algas, organismos que suelen estar presentes en las aguas residuales (Ruttner- Kolisko, 1974) y a su vez son alimento de peces tanto juveniles como adultos (Dodson y Frey, 1991).

---

## 2. ANTECEDENTES

En los últimos tiempos se ha visto un incremento en la investigación sobre los rotíferos y cladóceros debido a su importancia en campos aplicados como la acuicultura, estudios ecotoxicológicos, monitoreo ambiental, indicadores de contaminación y calidad del agua (Sládecek, 1983; Flores, 1996; Nandini, 1999).

Patil *et al.* en 1975 realizó estudios sobre la sucesión del zooplancton y fitoplancton en lagunas de estabilización, donde registró la presencia de *Brachionus* sp. en abundancia.

Sanders en 1989, estudió la bacterivoría de rotíferos, ciliados, copépodos, cladóceros y protozoos en un lago eutrófico en Georgia. Estos dos últimos fueron ampliamente estudiados por Vaqué y Pace en 1992, como depredadores de bacterias en dos lagos oligotróficos de E.E.U.U.

Roche en 1995, en aguas de desecho de una lechería encontró y estudió el crecimiento poblacional de *Brachionus calyciflorus*, Barroso *et al.* en 1997 registró esta misma especie en una planta de tratamiento. Arévalo *et al.* en 1998 estudió la dinámica poblacional de esta especie en aguas de desecho provenientes de la industria de la tortilla.

Güntzel y Bohrer en 1997, reportaron a *Moina* sp. como abundante en aguas de desecho de una planta petroquímica de Brasil. Nandini en 1999, encontró a esta misma especie en lagunas de estabilización de aguas residuales en la India.

---

En las lagunas de estabilización de aguas residuales se han realizado estudios sobre los organismos presentes en ellas y sus interacciones ecológicas. Daborn *et al.* en 1978, documentó la dinámica poblacional de *Daphnia pulex* y Roche en 1998, estudió el crecimiento de *Daphnia magna* en aguas de desecho provenientes de una lechería.

En la planta de tratamiento de Iztacalco, Ciudad de México, Trujillo en el 2002, realizó estudios sobre crecimiento poblacional y tablas de vida con cuatro especies de rotíferos; *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus patulus*, *Brachionus rubens* y *Asplanchna sieboldi*. En la misma planta de tratamiento Hernández en el 2002 y Aguilera en el mismo año, probaron cuatro especies de cladóceros; *Alona rectangula*, *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia pulex* y *Moina macrocopa*, utilizando el agua residual como medio de cultivo y realizaron estudios de dinámica poblacional respectivamente. Los autores trabajaron con muestras del agua cruda, del reactor biológico y del efluente antes de la etapa de cloración. Estos trabajos son de gran importancia pues demuestran la resistencia de los organismos en las diferentes fases de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Debido a esa resistencia se utilizaron los mismos organismos en el presente trabajo, con excepción de *Asplanchna sieboldi*.

---

### **3. JUSTIFICACION**

Las aguas residuales serán el mayor problema con el que contará la humanidad en los próximos años (Seoanez, 1995), aunado a la calidad del efluente de las plantas residuales que llegan a contener altas concentraciones de bacterias patógenas, tales como: *Escherichia coli*, *Aerobacter* sp, *Shigella* spp y *Salmonella* spp (Metcalf y Eddy, 1985). Estas bacterias pueden ser utilizables como fuente de alimento para los rotíferos y cladóceros, trayendo consigo una mejora en la calidad del mismo (Roche, 1998). Por ejemplo, *Daphnia* está considerada como una especie clave debido a su fuerte impacto de pastoreo a numerosos niveles tróficos, ejerciendo un control en los protozoos, el fitoplancton y en las bacterias (Langenheder y Jürgens, 2001). También se sabe que los rotíferos utilizan directamente materia orgánica y materia orgánica disuelta en forma de partículas y a través del consumo de bacterias y protozoarios respectivamente, por lo tanto forman un enlace importante en la cadena alimenticia acuática (Arévalo, 1998). Esto hace necesario estudiar la eficacia de rotíferos y cladóceros en la reducción de poblaciones bacterianas del efluente de las aguas residuales, pues podrían representar una alternativa no solamente para el tratamiento terciario en la mejora de la calidad del agua, sino que también podrían ser utilizados como alimento en la acuicultura de peces de ornato económicamente importantes (Wallace y Snell, 1991).

#### **4. ÁREA DE ESTUDIO**

Para el presente trabajo el agua residual utilizada se obtuvo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Delegación Iztacalco Distrito Federal, S.A. de C.V. Localizada en Av. Río Churubusco esquina Av. Río de La Piedad s/n en la colonia Magdalena Mixiuhca Delegación Iztacalco (Figura 1).

Las aguas residuales que aquí llegan son de origen industrial, doméstico y fluvial, la planta las recoge del colector Churubusco y cuenta con 2 unidades de tratamiento para aproximadamente el 80% de los 230 L/s. que entran. El tratamiento del agua está constituido por los tratamientos previo, primario y secundario, que opera con lodos activados y una etapa de cloración. Pasa a una cisterna de almacenamiento y se distribuye por medio de la red hidráulica y pipas a las delegaciones; Cuauhtemoc, Benito Juárez, Iztacalco, Venustiano Carranza e Iztapalapa. El agua es utilizada para el riego, la industria y autolavados (Comunicación personal de la gerencia de la Planta de Tratamiento).



Figura 1. Tanque de Sedimentación del Tratamiento Secundario



---

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo General

- Conocer la eficacia de los rotíferos: *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus havanaensis*, *Brachionus patulus*, *Brachionus rubens*, y los cladóceros: *Alona rectangularis*, *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia pulex* y *Moina macrocopa*, como consumidores de bacterias presentes en el efluente del tanque final de sedimentación del tratamiento secundario de las aguas residuales municipales o delegacionales de una planta de tratamiento.

### 5.2 Objetivos Particulares

- Establecer cual de las especies de rotíferos presenta una mayor actividad bacterívora.
- Establecer la eficiencia bacterívora de las especies de cladóceros.
- Comparar la eficiencia bacterívora entre rotíferos y cladóceros.

---

## 6. MATERIAL Y MÉTODOS

### 6.1 Trabajo de Campo

Se realizaron muestreos de agua residual en la planta de: Aguas Tratadas de Iztacalco S.A de C.V. Se tomaron aproximadamente 200 ml de agua del efluente del tercer tanque de sedimentación y las muestras se trasladaron al laboratorio, manteniéndose en refrigeración para disminuir la actividad microbiana.

### 6.2 Trabajo de Laboratorio

Se trabajó con cuatro especies de Rotíferos: *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus havanaensis*, *Brachionus patulus*, *Brachionus rubens* y cuatro especies de Cladóceros: *Alona rectangula*, *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia pulex* y *Moina macrocopa* (Anexo 1). Las especies fueron proporcionadas por la Dra. Nandini Sarma en la UNAM-FES Iztacala, Unidad de Morfofisiología, Laboratorio de Zoología Acuática.

Con el fin de eliminar en lo más posible la interferencia ocasionada por las bacterias que portaran los organismos al exterior del cuerpo y de esta forma tener un mayor control en los resultados (Peterson y Hobbie, 1978), las especies fueron filtradas en un equipo Millipore, con solución estéril de EPA (Anexo 2) y posteriormente colocadas en un vaso de precipitados con la misma solución, esperando una hora aproximadamente de acuerdo a la resistencia de la especie (todo este procedimiento se realizó en condiciones estériles) (Seaman *et al.*, 1986; Peterson y Hobbie, 1978). Posteriormente con ayuda de un microscopio estereoscópico (Nikon, SMZ800) se agregaron a los tubos experimentales los organismos depurados, permitiendo que se alimentaran por un tiempo de 30

---

minutos de las bacterias presentes en las muestras del efluente de la planta de tratamiento (Starkweather, *et al.*, 1979; Güde, 1988; Peterson y Hobbie, 1978), después de los 30 minutos se fijaron con formol al 4%. Para preparar los tubos control se utilizó la misma agua residual obtenida del efluente, se fueron preparando simultáneamente con los tubos experimentales, por lo que se les aplicó el mismo período de tiempo que a los tubos experimentales, fijándolos al final de los 30 minutos.

Para cada especie se trabajaron ocho tubos control con 10 ml de agua residual sin aplicar ninguna dilución, y ocho tubos experimentales con 10 ml de agua residual sin aplicar ninguna dilución, más 100 organismos en el caso de Rotíferos y 10 para Cladóceros (Seaman *et al.*, 1986; Güde, 1988; Hadas, *et al.*, 1982; Peterson y Hobbie, 1978). El número de organismos se seleccionó con relación a su biomasa (Información verbal, Dra. Nandini)

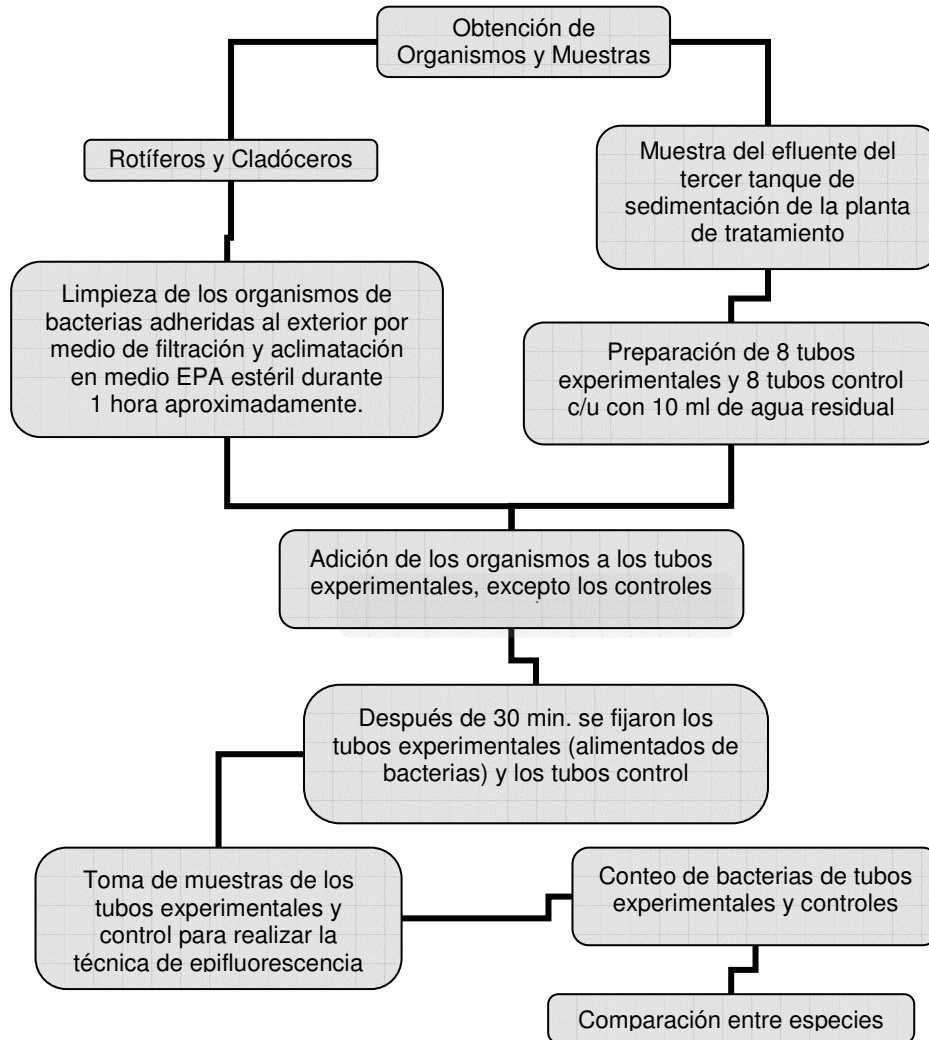
Para el conteo bacteriano se utilizó la técnica de epifluorescencia empleando el fluorocromo DAPI (4, 6 diamidino-2 –fenilindol de Sigma), que es una tinción altamente específica para ADN y usada como una prueba citoquímica para ADN nuclear, mitocondrial, de cloroplastos y para ADN presente en niveles indetectables por otros métodos (Porter y Feig, 1980). Esta técnica permite cuentas más exactas por la nitidez que ofrece la tinción y el mayor tiempo de almacenamiento del material biológico. Para realizar la tinción se hizo un filtrado de cada tubo fijado tomando 1 ml, del cual se filtró 0.5 ml, con un equipo Millipore (1684), utilizando membranas negras de policarbonato (Millipore) de 0.22  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro y 25 mm de diámetro, después se agregaron 50 $\mu\text{l}$  de la solución DAPI, después de 1 a 5 minutos y se realizó un segundo filtrado. En un

---

portaobjetos se colocó la membrana con aceite de inmersión no fluorescente, para realizar los conteos se utilizó un microscopio de epifluorescencia (Nikon, ECLIPSE E600), a un aumento de 100x, con una rejilla en el campo formada de 100 cuadros, de los cuales solo se utilizaron 10 de forma vertical u horizontal para el conteo.

Al finalizar el conteo de las ocho especies, se compararon entre ellas, mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) (Elston y Johnson, 1987; Neter *et al.*, 1990), para determinar si existían diferencias significativas entre las especies bacterívoras. Posteriormente se evaluaron los resultados con la prueba de Tukey, para determinar las especies que fueron más eficientes para la remoción bacteriana al comparar todas las combinaciones posibles entre las medias de las muestras (Reyes, 1980).

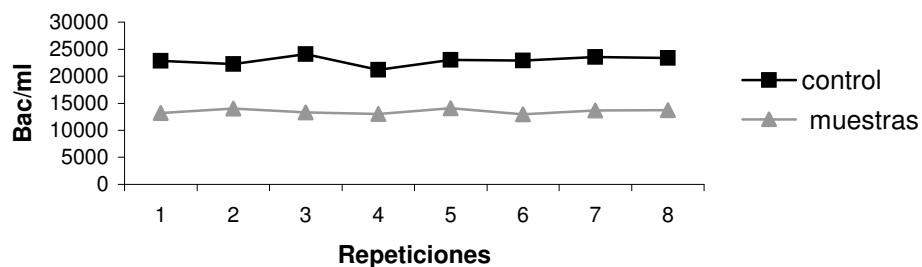
### Diagrama de flujo del trabajo experimental



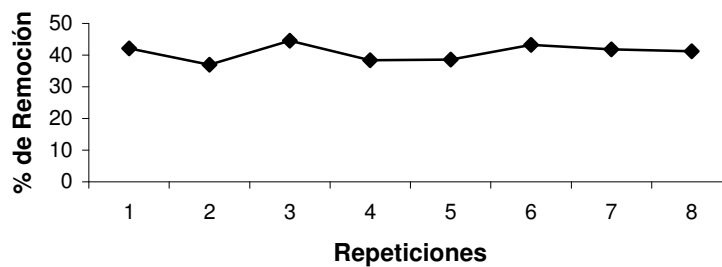
## 7. RESULTADOS

### 7.1 Rotíferos

Para los experimentos de la especie *Brachionus calyciflorus*, los controles promediaron 22,902 bac/ml, con una desviación estándar (DS) de 870 bac/ml, quedando las muestras en un promedio de 13,532 bac/ml y DS 431 bac/ml (Gráfica 1), resultando una remoción de 40.85 % (Gráfica 2).

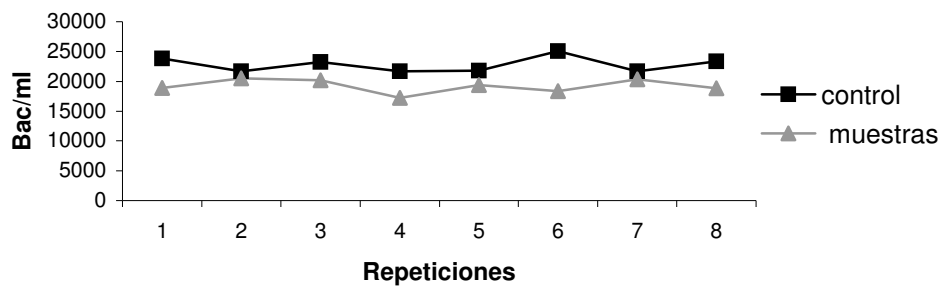


Gráfica 1. Consumo de bacterias registrado en 30 minutos, con ocho repeticiones del control y las muestras.

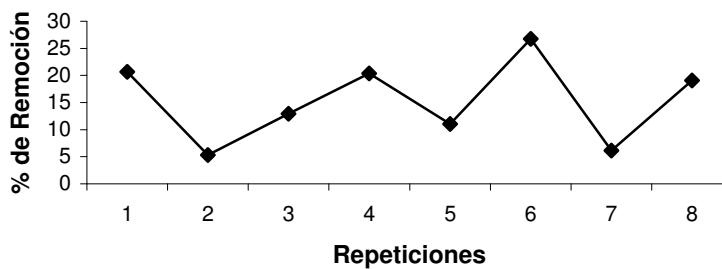


Gráfica 2. Porcentaje de bacterias consumidas en 30 minutos, con ocho repeticiones.

*Brachionus havanaensis*, tuvo un promedio en los controles de 22,792 bac/ml y DS de 1280 bac/ml, quedando las muestras en un promedio de 19,240 bac/ml y DS 1,124 bac/ml (Gráfica 3), resultando una remoción de 15.29 % (Gráfica 4).

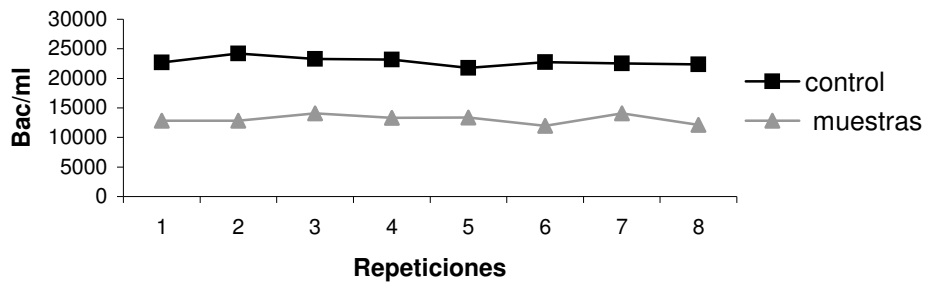


Gráfica 3. Consumo de bacterias registrados en 30 minutos, con ocho repeticiones del control y las muestras.

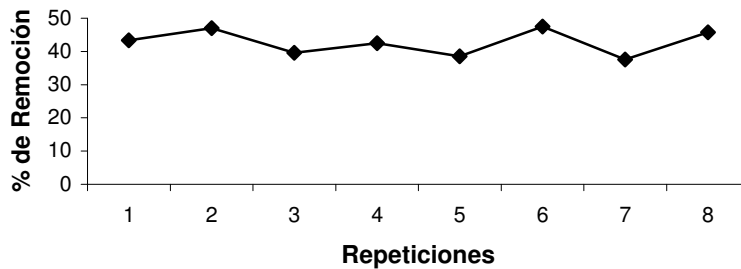


Gráfica 4. Porcentaje de bacterias consumidas en 30 minutos, con ocho repeticiones.

*Brachionus patulus*, tuvo un promedio en los controles de 22,849 bac/ml y DS de 731 bac/ml, quedando las muestras en un promedio de 13,074 bac/ml y DS 791 bac/ml (Gráfica 5), resultando una remoción de 42.73 % (Gráfica 6).



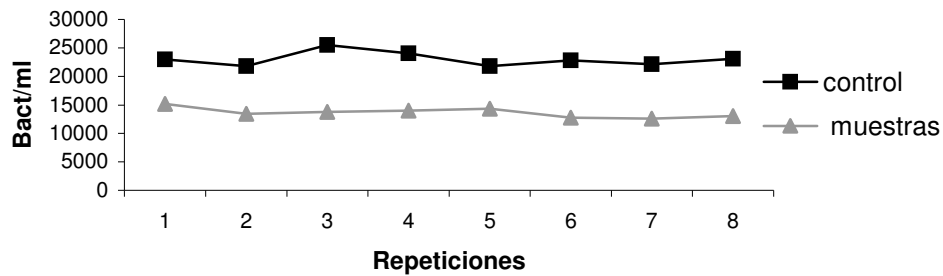
Gráfica 5. Consumo de bacterias registrados en 30 minutos, con ocho repeticiones del control y las muestras.



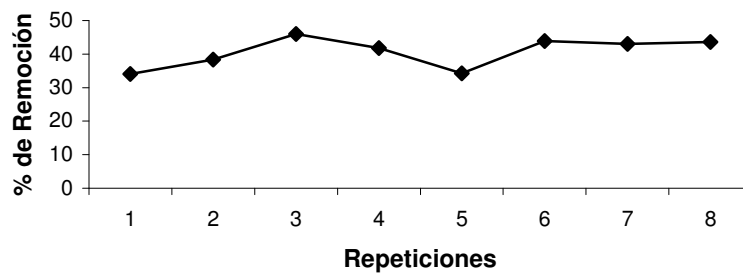
Gráfica 6. Porcentaje de bacterias consumidas en 30 minutos, con ocho repeticiones.



*Brachionus rubens*, tuvo un promedio en los controles de 23,028 bac/ml y DS de 1259 bac/ml, quedando las muestras en un promedio de 13,648 bac/ml y DS 860 bac/ml (Gráfica 7), resultando una remoción de 40.61 % (Gráfica 8).



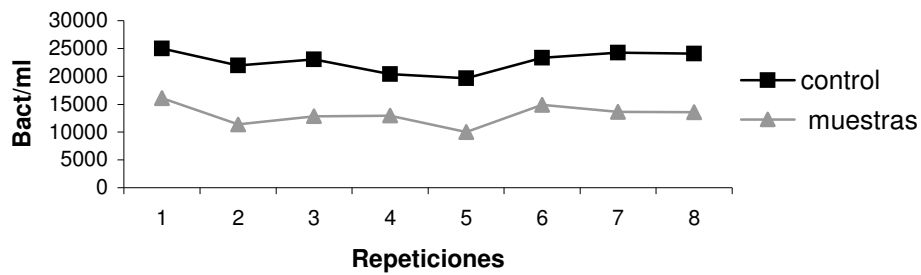
Gráfica 7. Consumo de bacterias registrados en 30 minutos, con ocho repeticiones del control y las muestras.



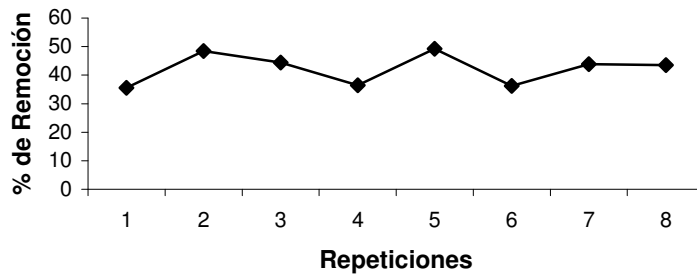
Gráfica 8. Porcentaje de bacterias consumidas en 30 minutos, con ocho repeticiones.

## 7.2 Cladóceros

*Alona rectangularis*, tuvo un promedio en los controles de 22,738 bac/ml y DS de 1,904 bac/ml, quedando las muestras en un promedio de 13,173 bac/ml y DS 1,915 bac/ml (Gráfica 9), resultando una remoción de 42.21 % (Gráfica 10).

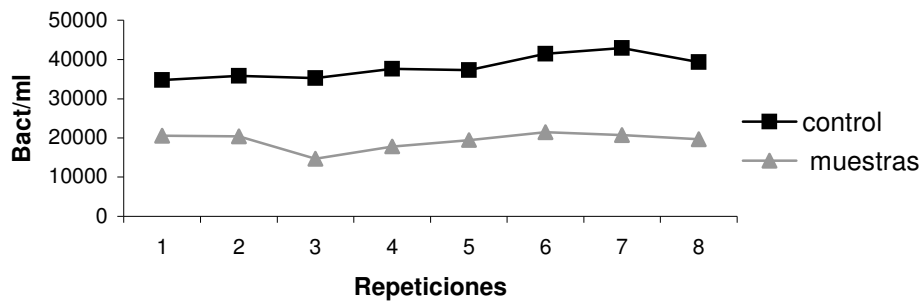


Gráfica 9. Consumo de bacterias registrados en 30 minutos, con ocho repeticiones del control y las muestras.

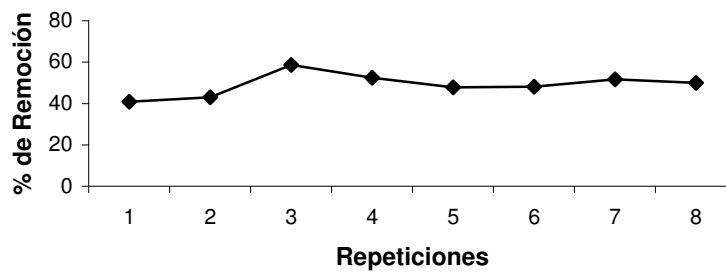


Gráfica 10. Porcentaje de bacterias consumidas en 30 minutos, con ocho repeticiones.

*Ceriodaphnia dubia*, tuvo un promedio en los controles de 38,062 bac/ml y DS de 2,933 bac/ml, quedando las muestras en un promedio de 19,357 bac/ml y DS 2,198 bac/ml (Gráfica 11), resultando una remoción de 49.06 % (Gráfica 12).

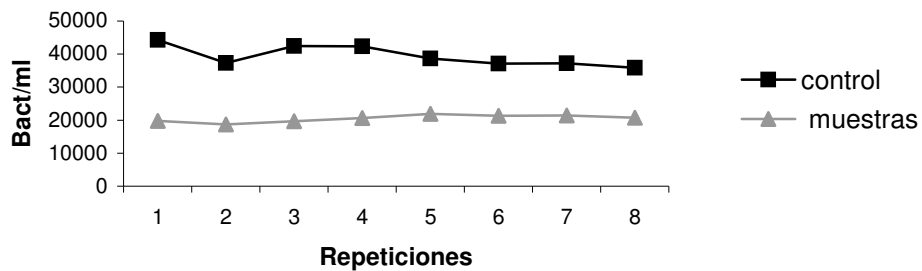


Gráfica 11. Consumo de bacterias registrados en 30 minutos, con ocho repeticiones del control y las muestras.

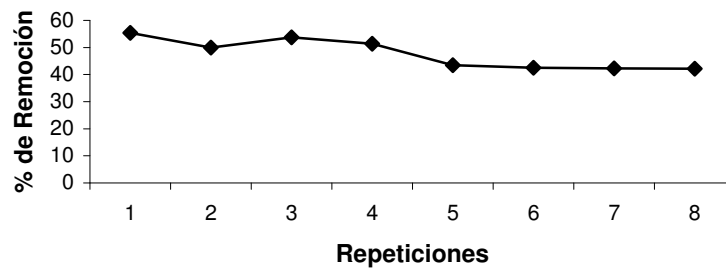


Gráfica 12. Porcentaje de bacterias consumidas en 30 minutos, con ocho repeticiones.

*Daphnia pulex*, tuvo un promedio en los controles de 39,410 bac/ml y DS de 3,131 bac/ml, quedando las muestras en un promedio de 20,509 bac/ml y DS 1,086 bac/ml (Gráfica 13), resultando una remoción de 47.61 % (Gráfica 14).

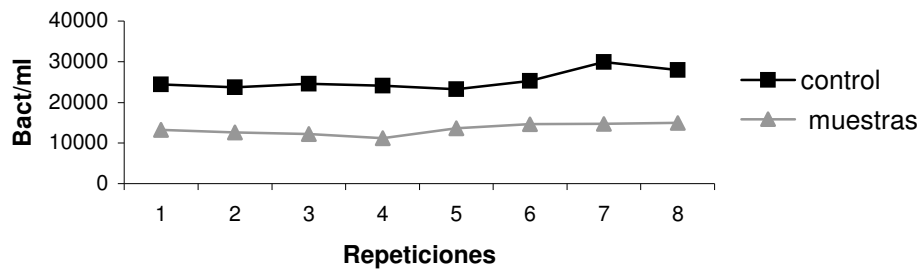


Gráfica 13. Consumo de bacterias registrados en 30 minutos, con ocho repeticiones del control y las muestras.

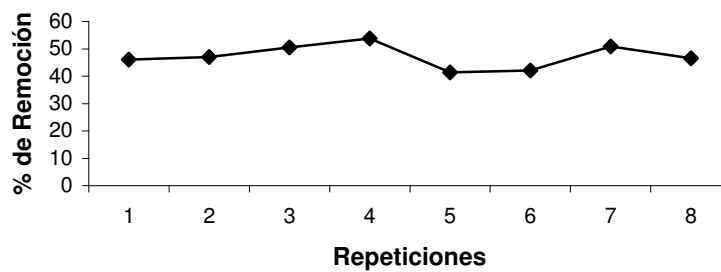


Gráfica 14. Porcentaje de bacterias consumidas en 30 minutos, con ocho repeticiones.

*Moina macrocopa*, tuvo un promedio en los controles de 25,434 bac/ml y DS de 2,311 bac/ml, quedando las muestras en un promedio de 13,379 bac/ml y DS 1,358 bac/ml (Gráfica 15), resultando una remoción de 47.30 % (Gráfica 16).



Gráfica 15. Consumo de bacterias registrados en 30 minutos, con ocho repeticiones del control y las muestras.



Gráfica 16. Porcentaje de bacterias consumidas en 30 minutos, con ocho repeticiones.

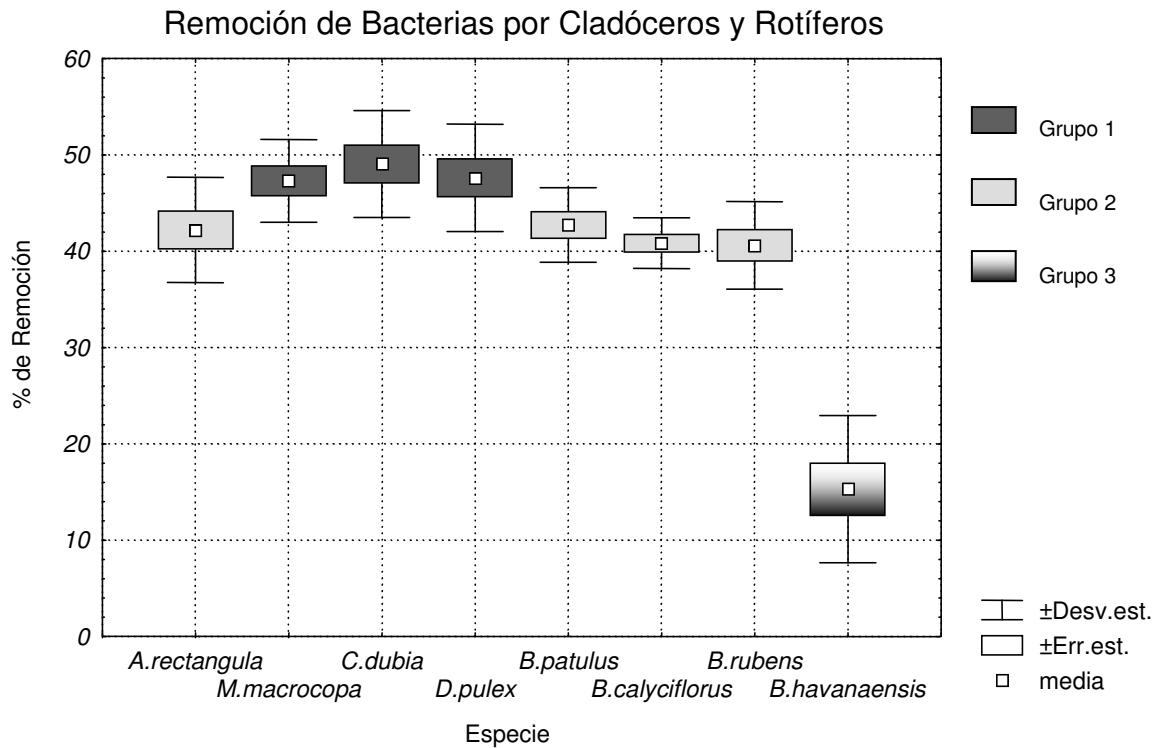
### 7.3 Análisis Estadístico

El porcentaje de remoción promedio de bacterias para cada especie se encuentra en la Gráfica 17, los valores presentan la media,  $\pm$  error estándar y desviación estándar.

Los datos del análisis de varianza son los siguientes:  $F= 35.24$  y  $P= 0.0003$ , por lo que existen diferencias significativas entre las especies en cuanto al porcentaje de remoción de las bacterias que se encontraban en las muestras obtenidas de la planta de Iztacalco.

La prueba de Tukey mostró que las especies podían separarse en tres grupos con diferente capacidad de remoción bacteriana, en forma descendente. En el primer grupo se encuentran los organismos que tuvieron mayor porcentaje de remoción, conformado por los cladóceros; *M. macrocopa*, *C. dubia* y *D. pulex*. El segundo grupo lo conforma el cladóceros *A. rectangula* y los rotíferos *B. patulus*, *B. calyciflorus* y *B. rubens*. Por último, el tercer grupo está constituido únicamente por el rotífero *B. havanaensis*.

De las ocho especies, se encontró que *C. dubia* es el organismo más bacterívoro (49%) y el cual pertenece a los cladóceros. El organismo menos bacterívoro, pertenece a los rotíferos, y este es *B. havanaensis* (Tabla 1).



Gráfica 17. Diagrama que muestra a las especies agrupadas con base a su capacidad bacterívora

Grupo Taxonómico	Especie	Grupos Bacterívoros	Porcentaje de Remoción
Rotíferos	<i>B. patulus</i>	2	42.734
	<i>B. calyciflorus</i>	2	40.850
	<i>B. rubens</i>	2	40.611
	<i>B. havanaensis</i>	3	15.297
Cladóceros	<i>C. dubia</i>	1	49.065
	<i>D. pulex</i>	1	47.618
	<i>M. macrocopa</i>	1	47.308
	<i>A. rectangula</i>	2	42.211

Tabla1. Remoción bacteriana por Rotíferos y Cladóceros

---

## 8. DISCUSIÓN

La importancia de los rotíferos como consumidores de bacterias ha sido estudiada de forma extensiva especialmente para la especie *Brachionus calyciflorus* (Starkweather *et al.*, 1979). Este organismo tiene una gran capacidad para sobrevivir en aguas residuales, en condiciones donde otras especies perecerían, además de que se reproducen con mayor rapidez que los cladóceros aun cuando ambos tipos de organismos se alimenten únicamente de bacterias, posiblemente debido a que *B. calyciflorus* asimila más eficientemente los nutrientes que obtiene de las bacterias (Seaman *et al.*, 1986). Su ciclo de vida en estas aguas residuales es de 16 días (Trujillo, 2002). Esto explicaría el buen desempeño como bacterívoro en esta investigación, siendo el segundo consumidor de bacterias del grupo de los rotíferos con un 40.85% de remoción.

Es difícil encontrar información sobre el desempeño de *B. patulus* como consumidor de bacterias. Trujillo en 2002, encontró que en aguas residuales no alcanzaba densidad poblacional más que la inicial del experimento, sin embargo fue el rotífero con mayor bacterivoría de este estudio con una efectividad del 42.73% de remoción.

Para el caso de *B. rubens* las observaciones que se han realizado al respecto de su capacidad para consumir bacterias muestran que el crecimiento poblacional y la reproducción se reducen cuando se alimenta exclusivamente de bacterias (Starkweather *et al.*, 1979). También su esperanza de vida y sobrevivencia decrecen en aguas residuales, llegando a 2.58 ind ml<sup>-1</sup> (Trujillo, 2002).



*Alona rectangula* presentó el porcentaje de remoción más bajo de los cladóceros con un 42.21%. En aguas residuales esta especie ha sido reportada con una densidad poblacional de 7 ind ml<sup>-1</sup>, manteniéndose 12 días constante (Hernández, 2002) y produciendo 3 neonatos ml<sup>-1</sup>día superando al testigo (Aguilera, 2002).

En contraste *Ceriodaphnia dubia* tuvo el mayor porcentaje de remoción con un 49.06% con respecto a rotíferos y cladóceros, pero en aguas residuales solo alcanza 2 ind ml<sup>-1</sup>, siendo menos resistente a la contaminación (Aguilera, 2002).

La capacidad de los cladóceros para alimentarse de bacterias está bien documentada especialmente para organismos del género *Daphnia* y en particular para la especie *Daphnia pulex*, organismo utilizado en este estudio, por lo que es difícil obtener referencias sobre la capacidad de consumo de otros cladóceros, de ahí la importancia de esta investigación, que permitió hacer una comparación entre un organismo bien conocido como *D. pulex* y otros cladóceros como son *Alona rectangula*, *Moina macrocopa* y *Ceriodaphnia dubia*. Esta especie fue la segunda consumidora de bacterias con un 47.61% de remoción.

Es necesario mencionar que aun cuando las condiciones favorezcan el desarrollo de *Daphnia*, estos organismos podrían causar una autolimitación de alimento en muy poco tiempo si la población es lo suficientemente grande (Daborn *et al.*, 1978; Pace y Cole, 1996), favoreciendo un cambio en la estructura de la comunidad bacteriana (el crecimiento de células más pequeñas agregadas en filamentosas, para resistir la depredación por *Daphnia*) (Langenheder y Jürgens, 2001; Güde, 1988), por lo que automáticamente la población disminuiría (Lampert *et al.*, 1986) y en consecuencia, existirían condiciones para que se desarrollaran

---

poblaciones de rotíferos.

Por otra parte se sabe que las bacterias contribuyen sustancialmente a la demanda de carbono de *Daphnia* (Langenheder y Jürgens, 2001) y que en sistemas donde este cladóceros domina, otros consumidores de bacterias se encuentran en números bajos (Sommaruga y Psenner, 1995; McManus y Fuhrman, 1988) e incluso puede limitar la actividad de filtradores de bacterias más eficientes (Sommaruga y Psenner, 1995) como los nanoflagelados heterotróficos (Vaqué *et al.*, 1994) al consumirlos (Sanders y Porter, 1990).

Las investigaciones de los aspectos demográficos de *Daphnia* muestran que no tuvo crecimiento significativo (Aguilera, 2002) y menos de 1 neonato (Hernández, 2002) en aguas residuales.

*Moina macrocopa*, tuvo el 47.30% de remoción bacteriana, Aguilera en 2002 reportó que solamente los tres primeros días incrementó su población y sólo estuvo por debajo del 12.5% del control y Hernández en 2002, alcanzó a desarrollar 18 neonatos al día séptimo del estudio. Estos experimentos fueron realizados con agua residual de la misma planta.

Aun cuando los porcentajes de remoción para rotíferos y cladóceros fueron considerables y bastante similares, sería erróneo pensar que en conjunto la eficiencia en el consumo de bacterias mejoraría, debido a posibles interacciones competitivas entre ambos tipos de organismos. Se debe tener en cuenta que el estudio se realizó *in vitro* y en un tiempo corto de 30 min.

Primeramente hay que considerar aun cuando *B. patulus* fue el que presento mayor actividad bacterívora no tiene un crecimiento significativo en las aguas residuales, mientras que *B. calyciflorus* aunque se encuentra por debajo de

---

la actividad de *B. patulus* tiene una gran capacidad para sobrevivir en aguas residuales (Trujillo, 2002). Es importante destacar que estos resultados fueron obtenidos con agua de la misma planta de tratamiento y del mismo punto de donde se realizó el presente trabajo.

Para los cladóceros *C. dubia* fue el mayor consumidor de bacterias seguido de *Daphnia* y *Moina*, sin embargo estos organismos no tuvieron un buen desarrollo en aguas residuales alimentadas únicamente con bacterias y su población fue decreciendo, pero *Alona rectangula* aunque fue el quinto sitio como consumidor de bacterias, superó a su testigo en cuanto a la producción de neonatos (Aguilera, 2002). De igual forma estas pruebas fueron realizadas de la misma toma de donde se realizó el presente trabajo.

Para llevar esta investigación a un plano real sería conveniente considerar que los organismos mas viables (aún cuando no fueron los mejores en actividad bacterívora, serían *B. calyciflorus* y *A. rectangula*.

Otro aspecto a considerar sería la competencia entre los organismos. Se sabe que existe temporalidad en la abundancia de rotíferos y cladóceros en los cuerpos de agua tanto naturales como de aguas residuales (Sanders *et al.*, 1989), lo que se debe posiblemente a que existe interferencia entre rotíferos y cladóceros, efectivamente se sabe que *Daphnia* excluye a *B. calyciflorus* por lo que este último tiende a desaparecer de la comunidad planctónica en sistemas dominados por *Daphnia* como consecuencia de la competencia por el alimento, ya que generalmente los nichos alimentarios de los rotíferos se encuentran incluidos en aquellos de los cladóceros (Gilbert, 1985, 1988, 1988a).

Tampoco parece posible que coexistan dos especies de cladóceros, estudios realizados con *Moina macrocopa* y *Ceriodaphnia dubia* (Nandini y Sarma 2001), dos de las cuatro especies de cladóceros usadas en este estudio, mostraron que el crecimiento poblacional de *C. dubia* se reduce en presencia de *M. macrocopa* y la competencia entre estas especies se ve influenciada por la cantidad de alimento disponible.

Tanto para rotíferos y cladóceros, la interferencia mecánica es efectiva cuando las diferencias en tamaño son mayores a 500  $\mu\text{m}$  y entonces puede ocurrir la competencia. En especies con tamaño similar la competencia es explotativa afectando la reproducción y sobrevivencia de las especies involucradas (Nandini y Sarma, 2001).

También es necesario considerar que las cantidades de alimento consumido por los rotíferos es altamente variable en función de la densidad del mismo (Starkweather, 1980) y no en función de la longitud corporal de los rotíferos (Bogdan *et al.*, 1980).

Además en los cladóceros existe una fuerte correlación positiva entre el incremento en el tamaño del cuerpo y el tamaño de las partículas ingeridas (Burns, 1968), por lo que existirían diferencias en las cantidades de bacterias consumidas dependiendo del tamaño de los organismos y de la composición de la comunidad bacteriana en un sistema dado, además del tamaño de otras partículas presentes en el mismo (Porter *et al.*, 1983).

Se puede concluir considerando los aspectos de bacterivoría, competición y crecimiento poblacional que estos organismos puedan ser utilizados como una alternativa para el efluente del tercer tratamiento en plantas de aguas residuales,

---

para disminuir las poblaciones bacterianas y a su vez producir a los bacterivoros para utilizarlos como alimento para peces de ornato (Sanders *et al.*, 1989; Nandini, 1999).

Las anteriores conclusiones podrían representar una alternativa importante, para la planta de tratamiento de Iztacalco, ya que no cuenta con un tratamiento terciario, actualmente solo utilizan cloración para desinfectar el agua; esta propuesta podría mejorar la calidad del efluente y cumplir de manera más fácil con los parámetros que marca la NOM-003 para reuso del agua residual.

También tendría que realizarse un estudio a escala piloto para valorar el costo de reactivos, energía e insumos en general, así como evaluar la productividad del zooplancton para establecer la factibilidad en la planta de tratamiento.

---

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 9.1 Conclusiones

- El rotífero más bacterívoro fue *B. patulus* y el menos bacterívoro *B. havanaensis*.
- El cladóceros más bacterívoro fue *C. dubia* y el menos bacterívoro *A. rectangula*.
- Las especies de rotíferos tuvieron porcentajes de remoción más bajos que los obtenidos por los cladóceros.
- Considerando los datos de estudios demográficos realizados anteriormente, se considera que el rotífero *B. calyciflorus* y el cladóceros *A. rectangula* son los mejores organismos para emplearse como bacterívoros en aguas residuales.
- Pueden ser una alternativa en la disminución bacteriana y producción de biomasa para su uso como alimento en la acuicultura de peces de ornato.

### 9.2. Recomendaciones

- Debido a que *B. calyciflorus* y *A. rectangula* aun cuando no son los organismos más bacterívoros, son los más resistentes a las aguas residuales, por lo que sería conveniente realizar un estudio de competencia para utilizar ambas especies en un tratamiento terciario.

---

## 10. LITERATURA CITADA

- Aguilera, L.D. 2002. Dinámica poblacional de cuatro especies seleccionadas de cladóceros (Cladocera: Crustacea) realizada en aguas residuales urbanas parcialmente tratadas. Tesis Biol. FES-I UNAM. México.
- Anonymous, 1985. Methods of Measuring the Acute Toxicity of Effluents to Freshwater and Marine Organisms U.S. Environment Protection Agency. EPA/600/4-85/0B, Washington, D.C.
- Arévalo S.R.A., Sarma, S.S.S. y Nandini. S. 1998. Population dynamics of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera: Brachionidae) in waste water from food-processing industry in Mexico. Rev. Biol. Trop. 43(6): 595-600.
- Barroso, G.F; Días, C. y Güntzel, A. M. 1997. Preliminary assessment of the eutrophication potential from sewage effluents of four wastewater treatment plants in Espírito Santo State (Brazil). Verh. Internat. Verein Limnol. 26: 666-670.
- Bogdan, K.G., Gilbert, J.J. y Starkweather, P.L. 1980. In situ clearance rates of planktonic rotifers. Hydrobiologia. 73: 73 – 77.
- Burns, C.W. 1968. The relationship between body size of filter – feeding cladocera and the maximum size of particle ingested. Limnol. Oceanogr. 13: 675 – 678.
- Daborn, G.R., Hayward, J.A. y Quinney, T.E. 1978. Studies on *Daphnia pulex* Leydig in sewage oxidation ponds. Can. J. Zool. 56:1392-1401.
- De la Fuente, J.A. 1994. Zoología de los artrópodos. Interamericana – Mc Graw-Hill. 222 – 223pp.
- Dean, R.B. y Lund. E. 1981. Water Reuse: Problems and Solutions. Academic Press Inc. Great Britain. pp. 150.
- Dodson, S.I y Frey, D.G. 1991. Cladocera and Other Branchiopoda En: Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. Thorp, J.H. y Covich A.P. Academic Press Inc. USA.
- Elston. R.C. y Johnson, W.D. 1987. Principios de bioestadística. El manual moderno. México. p. 213-215.
- Ehrlich, S. 1966. Two experiments in the biological clarification of stabilization – pond effluents. Hydrobiologia. 27: 70 – 80.

- 
- Flores, B.J. 1996. Estudio sobre los rotíferos como indicadores de la calidad del agua. Tesis Biol. FES-I UNAM. México.
  - Gilbert, J.J. 1985. Competition between rotifers and *Daphnia*. Ecology. 66 (6): 1943 – 1950.
  - Gilbert, J.J. 1988. Susceptibilities of ten rotifer species to interference from *Daphnia pulex*. Ecology. 69 (6): 1826 – 1838.
  - Gilbert, J.J. 1988a. Suppression of rotifer populations by *Daphnia*: A review of the evidence, the mechanisms, and the effects on zooplankton community structure. Limnol. Oceanogr. 33 (6) 1286 – 1303.
  - Güde, H. 1988. Direct and indirect influences of crustacean zooplankton on bacterioplankton of Lake Constance. Hydrobiologia. 159: 63 – 73.
  - Güntzel, A. M. y Bohrer, M. B C., 1997. Embryonic development of *Moina micrura* (Cladocera: Moinidae). Revista Brasileira de Biologia.
  - Hadas, O., Cavari, B.Z., Kott, Y. y Bachrach, U. 1982. Preferential feeding behaviour of *Daphnia magna*. Hydrobiologia. 89: 49 – 52.
  - Hernández, V.M. 2002. Estudio de la capacidad de aprovechamiento de aguas residuales como medio de cultivo para las especies *Moina macrocopa*, *Daphnia pulex*, *Ceriodaphnia dubia* y *Alona rectangula* (Cladóceros) por medio de un estudio demográfico de tablas de vida. Tesis Biol. FES-I UNAM. México.
  - Koste, W. 1978. Rotaria. Berlín. pp. 231.
  - Lampert, W., Fleckner, W., Rai, H. y Taylor, B.E. 1986. Phytoplankton control by grazing zooplankton: A study on the spring clear – water phase. Limnol. Oceanogr. 31 (3): 478 – 490.
  - Langenheder, S. y Jürgens, K. 2001. Regulation of bacterial biomass and community structure by metazoan and protozoan predation. Limnol. Oceanogr. 46(1): 121-134.
  - Lomelí, R.M.G., Tamayo O.R 2003. Contaminación del agua. [www.sagan-gea.org](http://www.sagan-gea.org)
  - McManus, G.B. y Fuhrman, J.A. 1988. Control of marine bacterioplankton populations: Measurement and significance of grazing. Hydrobiologia. 159 (1): 51 – 62.



- 
- Meglitsch, A.P. 1978. Zoología de los invertebrados. H. Blume ediciones. España. 233 –247.
  - Metcalf y Eddy Inc. 1985. Ingeniería Sanitaria: Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales.2ª Edición. Editorial Labor. España. p. 114 - 115.
  - Nandini, S. 1999. Variations in physical and chemical parameters and plankton community structure in a series of sewage-stabilization ponds. Rev. Biol. Trop. 47(1): 149-156.
  - Nandini, S. y Sarma, S.S.S. 2001. Competition between *Moina macrocopa* and *Ceriodaphnia dubia* a life table demography study. International Rev. Hydrobiol.
  - Neter, J., Wasserman, W. y Michael, H.K. 1990. Applied linear statistical models. 3<sup>rd</sup> ed. U.S.A. p. 861-865.
  - Pace, M.L. y Cole, J.J. 1996. Regulation of bacteria by resources and predation tested in whole – lake experiments. Limnol. Oceanogr. 47 (7): 1448 – 1460.
  - Patil, H.S., Dodakundi, G.B., y Rodgi S.S. 1975. Succession in Zoo-Phytoplankton in a Sewage Stabilization Pond. Hydrobiologia. 47(2); 253-264.
  - Pennak, R.W. 1989. Freshwater invertebrates of the United States Protozoa to mollusca. 3<sup>rd</sup> Edition. John Wiley & Sons, Inc. USA. pp. 169, 197, 410 - 442.
  - Peterson, B.J. y Hobbie, J. E. 1978. *Daphnia* grazing on natural bacteria. Limnol. Oceanogr. 23 (5): 1039 – 1044.
  - Porter, G. K. y Feig, Y.S. 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. Limnol. Oceanogr. 25(5), 943-948.
  - Porter, K.G., Feig, Y.S. y Vetter, E.F. 1983. Morphology, flow regimes, and filtering rates of *Daphnia*, *Ceriodaphnia*, and *Bosmina* fed natural bacteria. Oecologia. 58: 156 – 163.
  - Pourriot. R., 1977. Food and feeding habits of rotifers. Arch. Hydrobiol. Beih. 8: 243-260.
  - Ramalho, R.S. 1996. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté. España. p. 76, 585-697.

- 
- Reyes, C.P. 1980. Bioestadística aplicada. Editorial Trillas. México. p.110-113.
  - Roche, K.F. 1995. Growth of the Rotifer *Brachionus Calyciflorus* Pallas in dairy waste stabilization ponds. Wat. Res. 29(10); 2255-2260.
  - Roche, K.F. 1998. Growth potential of *Daphnia magna* Straus in the water of dairy waste stabilization ponds. Wat. Res. 32(4); 1325-1328.
  - Ruppert, E.E. y Barnes, D.R. 1996. Zoología de los invertebrados. Mc Graw-Hill Interamericana. Sexta edición. México. 306 – 316 pp.
  - Ruttner-Kolisko, A. 1974. Plankton Rotifers. Biology and Taxonomy. Alemania. pp. 307.
  - Sanders, R. W. y Porter, K.G.1990. Bacterivorous flagellates as food resources for the freshwater crustacean zooplankter *Daphnia ambigua*. Limnol. Oceanogr. 35 (1): 188 – 191.
  - Sanders, R.W., Porter, K.G., Bennett, S.J. y DeBiase, A.E. 1989. Seasonal patterns of bacterivory by flagellates, ciliates, rotifers, and cladocerans in freshwater planktonic community. Limnol. Oceanogr. 34(4):673-987.
  - Seaman, M. T., Gophen, M., Cavari, B. Z. y Azoulay, B. 1986. *Brachionus calyciflorus* Pallas as agent for the removal *E. coli* in sewage ponds. Hydrobiologia. 135, 55-60.
  - Seoanez, C.M. 1995. Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Colección Ingeniería medioambiental. Ediciones Mundi-prensa. Madrid-España.
  - Seoanez, C.M. 1995a. Ecología Industrial. Ingeniería Medioambiental Aplicada a la Industria y a la Empresa. Manual para Responsables Medioambientales. Colección Ingeniería Medioambiental. Ediciones mundiprensa. Madrid- España. 522pp.
  - Sládecek, V. 1983. Rotifers as indicators of water quality. Hydrobiologia. 100:169-201.
  - Sommaruga, R. y Psenner, R. 1995. Permanent presence of grazing – resistant bacteria in a hypertrophic lake. Applied and Environmental Microbiology. 61 (9): 3457 – 3459.
  - Starkweather, P.L. 1980. Aspects of the feeding behavior and trophic ecology of suspension – feeding rotifers. Hydrobiologia. 73: 63 – 72.

- 
- Starkweather, P.L., Gilbert, J.J. y Frast, T, M. 1979. Bacterial feeding by the rotifer *Brachionus calyciflorus*: Clearance and ingestion rates, behaviour and population dynamics. Oecologia. 44: 26-30.
  - Trujillo, H.E. 2002. Tabla de vida demográfica y crecimiento poblacional de especies de rotíferos seleccionadas (Rotifera) en aguas de desecho urbano con énfasis en calidad nutricional. Tesis Biol. FES-I UNAM. México.
  - Vaqué, D. y Pace, M.L. 1992. Grazing on bacterial by flagellates and cladocerans in lakes of contrasting food-wed structure. Journal of Plankton Research. 14(2):307-321.
  - Vaqué, D., Gasol, J.M. y Marrasé, C. 1994. Grazing rates on bacteria: The significance of methodology and ecological factors. Marine Ecology Progress Series. 109: 263 – 274.
  - Wallace, R.L. y Snell, T. W. 1991. Rotifera. En: *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. Thorp, J. H. and Covich, A. P. (Eds.). Academic Press. USA.

---

**ANEXO 1**

Descripción de las especies de rotíferos y cladóceros utilizados en el estudio.

Phylum	Rotifera
Clase	Monogea
Orden	Ploima

***Brachionus calyciflorus*** (Pallas). Con cuatro espinas en el margen anterior de la lóricas, espinas puntiagudas delgadas en el margen anterior, cuerpo en forma de saco, la parte dorsal y ventral puede no distinguirse, especie con un alto polimorfismo. Mide de 200-500  $\mu\text{m}$  (Ruttner-Kolisko, 1974) y se alimenta de partículas de un rango de 0-18  $\mu\text{m}$ . Es común encontrarlo en aguas residuales y se sospecha que es un buen consumidor de bacterias, y suele tener preferencia por Euglenoides, Volvocales y Chlorococcales y una preferencia más débil por el detritus, con o sin bacterias (Pourriot, 1977). Puede ingerir cadenas cortas de células de bacterias cultivadas, se ha visto que puede sobrevivir consumiendo únicamente bacterias y las tasas de ingestión son densodependientes, se ha visto que en competencia con *Daphnia* se ve excluido de 2 a 3 semanas (Starkweather *et al.*, 1979).

***Brachionus havanaensis*** (Rousselet) (Figura 2). Mide 135-390  $\mu\text{m}$  de longitud (Ruttner-Kolisko, 1974; Koste, 1978), tiene una marcada variación en la longitud de las espinas occipitales y posteriores, la espina derecha siempre es más larga que la izquierda. En opinión de Koste (1978), está presente en aguas alcalinas y eutróficas (Flores, 1996).

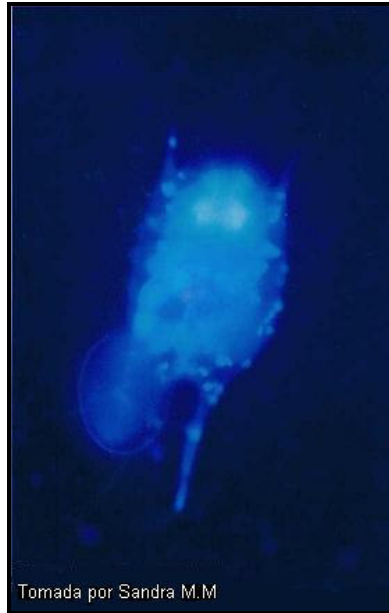
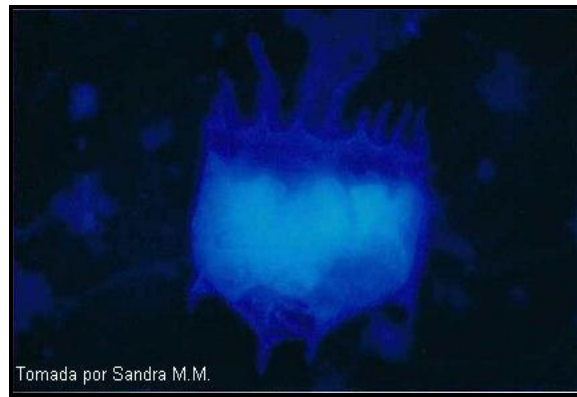
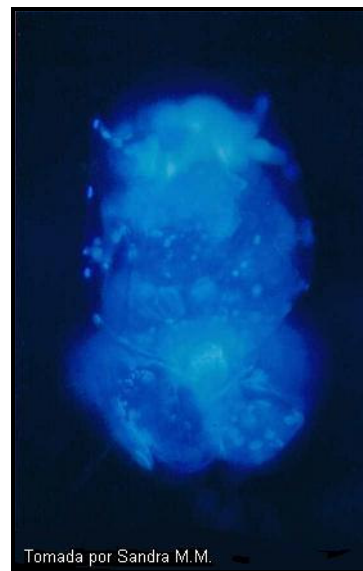


Figura 2. *B. havanaensis* teñido con DAPI (40x)

***Brachionus patulus*** (Müller) (Figuras 3 y 4). Miden de 150-250  $\mu\text{m}$ , margen de la lóricas ventral anterior con espinas fuertes como dientes, cuentan con seis espinas puntiagudas en el margen dorsal anterior, cuerpo más o menos rectangular, pie segmentado, abierto con dos espinas cortas, dedos en forma de lanceta (Ruttner-Kolisko, 1974).

Figura 3. *B. patulus* (40x)Figura 4. *B. patulus* teñido con DAPI (40x)

***Brachionus rubens*** (Ehrenberg) (Figuras 5 y 6). Lórica delgada, miden de 150-200  $\mu\text{m}$ , muchos son bénticos de aguas frescas, cálidas, lagos poco profundos y charcas (Ruttner- Kolisko, 1974).

Figura 5. *B. rubens* con huevo (40x)Figura 6. *B. rubens* teñido con DAPI (40x)

---

Phylum	Artrópoda
Subphylum	Crustacea
Clase	Branchiopoda
Subclase	Diplostraca
Orden	Cladocera

***Alona rectangularis***. (Figura 7) Cuerpo y patas cubierto por un caparazón bivalvo, con 5 o 6 pares de patas foliaceas claramente segmentadas. Rostro abruptamente estrecho y puntiagudo cerca de la parte superior; fórnices extendidos de manera que cubren más o menos a las anténulas y unido en el rostro con un pico; ojo compuesto. Postabdomen con dentición marginal lateral, sin espinas grandes (Pennak, 1989).



Figura 7. *Alona rectangularis* (10x)

***Ceriodaphnia dubia***. (Figura 8 y 9) Mide más de 1.2 mm de largo, rostro ausente, cabeza pequeña y deprimida, anténulas pequeñas (Pennak, 1989). En competencia con *Moina macrocopa* el incremento poblacional se ve influenciado por la cantidad de alimento disponible (Nandini y Sarma, 2001).



Figura 8. *Ceriodaphnia dubia* (10x)    Figura 9. *C. dubia* teñida con DAPI (10x)

***Daphnia pulex***. Mide más de 2.25 mm de largo, cuerpo entero ocasionalmente de color café, pero la cabeza sola nunca de café oscuro. La cabeza es más larga cerca de la línea media, la parte ventral de la cabeza esta cerca del margen anterior de las valvas. El margen ventral de la cabeza es cóncavo, la vesícula óptica toca el margen de la cabeza. Extremadamente común y generalmente distribuido en lagos y estanques (Pennak, 1989). Es un organismo abundante en aguas residuales (Daborn *et. al.*, 1978). Cuando la biomasa de *Daphnia* es suficientemente alta en lagos meso a eutróficos se puede convertir en el principal consumidor de bacterias (Langenheder y Jürgens, 2001).



*Daphnia* consume más bacterias en comparación con los protozoos cuando la biomasa de *Daphnia* es de 248 a 365  $\mu\text{g}$  de peso seco  $\text{litro}^{-1}$ , es suficiente para limitar la abundancia y productividad, limita la actividad de los protozoos y nanoflagelados heterotróficos (Pace y Cole, 1996). Puede alimentarse eficientemente de células que miden de 1-17  $\mu\text{m}$  y se ha visto que el tamaño máximo de la partícula ingerida depende del tamaño del organismo, puede consumir partículas de hasta 40  $\mu\text{m}$  (Burns, 1968).

***Moina macrocopa*** (Straus) (Figura 10). Mide menos de 1.4 mm de largo, anténulas largas y cabeza grande extendida sin depresión supraocular, postabdomen con dientes distales, cuerpo grueso y pesado, las valvas no cubren completamente el cuerpo, la primera pata de la hembra con una seda anterior de los segmentos penúltimo y último dentada; ampliamente distribuida en estanques y charcas (Pennak, 1989). La esperanza de vida, tiempo de generación e incremento poblacional son influenciados negativamente por la presencia de *C. dubia* y la cantidad de alimento disponible (Nandini y Sarma, 2001).



Figura 10. *Moina macrocopa* (10X)

---

## **ANEXO 2**

El medio EPA se prepara disolviendo 95 mg de  $\text{NaCO}_3$ , 60 mg  $\text{CaSO}_4$ , 60 mg  $\text{MgSO}_4$  y 0.2 mg de KCl por litro de agua destilada (Anonymous, 1985).