



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

UNAM

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA
FESI

Evaluación de la bacterivoría del zooplancton
(rotíferos, cladóceros, copépodos) sobre *Vibrio cholerae*
NO O1 NO O139

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

PRESENTA:

ABIGAIL MINERVA TOVAR RODRÍGUEZ

DIRECTOR DE TESIS: Dr. PEDRO RAMÍREZ GARCÍA



2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

La gente que por primera vez mira por un cristal, dice: ahora veo una cosa, luego veo otra; es que el observador más experto puede equivocarse por que realmente uno no sabe lo que ve o en lo que cree. En estas observaciones he empleado mas tiempo del que mucho creerán; pero las he hecho con satisfacción, sin hacer caso de quien me preguntaba por qué me tomaba tanto trabajo qué finalidad tenía todo eso y la finalidad simplemente era sentirme bien con lo que hago como ahora lo estoy.

Leeuwenhoek

Agradecimientos

Gracias a Dios

Por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida y lograr muchas metas a lo largo de mi carrera.

A Juan José y Lolis mis Padres

Agradezco de todo corazón a ustedes por el apoyo y la confianza que siempre han tenido para mí, esto es lo menos que puedo ofrecerles como muestra de mi agradecimiento y cariño y de que he aprovechado las oportunidades que me han brindado este trabajo es para ustedes gracias por su sacrificio y por ser los mejores papas gracias a ustedes soy la persona que ahora soy, por que me cuidan siempre por esas preocupaciones y ese apoyo siempre es por eso que estoy aquí por que me han enseñado que poco a poco y si uno quiere se puede y han hecho de mí una persona de bien y gracias a todas sus enseñanzas y valores ahora soy la persona que soy gracias por todo los quiero mucho.

Alita

Hermanita gracias por tu paciencia, apoyo y cariño, por estar siempre cuando te necesitó, por ser la mejor hermana que tengo por hacerme feliz y gracias por compartir todos esos momentos tan especiales de mi vida, te quiero mucho y siempre estaré contigo

A mi familia

Gracias, por quererme y por apoyarme y por todas sus oraciones y consejos y uno que otro regaños todo eso sirvió para aprender de mis errores y para tener nuevas virtudes.

Gracias a todos mis amigos

Elijo este orden no por que a unos los quiera más que a otros a todos los quiero igual:

Nirvana gracias por estar conmigo durante todos estos años, por brindarme tu amistad, cariño y confianza por ser una buena compañera de equipo, Osvaldo gracias por ser un buen amigo con el que puedo confiar siempre, por el apoyo y

cariño que me diste durante todo este tiempo, Sandy gracias por estar cuando te necesite, por darme tu cariño y amistad y sobretodo tu apoyo, Rosalina gracias por darme tu cariño y apoyo y sobretodo por ser tan buena amiga, Alejandro por apoyarme en los momentos de felicidad y de tristeza, por estar conmigo cuando te necesite, por brindarme tu ayuda, en todo, Ángel gracias por apoyarme y por el cariño que me diste por ser tan buen amigo. Juan te agradezco por estar en los momentos difíciles, por escucharme, por tu apoyo y sobretodo por darme todo tu cariño.

A mis amigos los que han pasado y los que se han quedado, por que todos ustedes han sido tantas veces parte aguas de mi vida, han marcado mi vida de alguna forma y me han abierto los ojos al mundo; gracias Leslie ,Caro, Lupe, Lacho, Carolina, Milton, Odín, Lety, Susana, Corina, León Erica, Ruth y Pilar.

Y a todos a aquellos que estuvieron conmigo y compartimos tantas aventuras, experiencias, desveladas y triunfos por que cada uno de ustedes formaron parte de ellos. Gracias a cada uno por hacer que mi estancia en la FES-I fuera súper divertida.

A mis Profesores

En especial al Dr. Pedro Ramírez García por la colaboración, paciencia, apoyo brindados desde siempre y sobre todo por esa gran amistad que me brindó y me brinda, por escucharme y aconsejarme siempre, a la Dra. Nandini Sarma, por brindarme su ayuda cuando más la necesitaba, por ser una persona con la que puedo contar siempre, por el cariño que me brinda y los ánimos que me da, al Dr. S.S.S. Sarma, por su apoyo, conocimiento, ayuda, a la Profesora Ma. Dolores Hurtado Bocanegra, por su apoyo, ánimo, por compartir conmigo muchos momentos tanto alegres como tristes, por tener siempre tendida su mano amiga, por escucharme, por darme cariño y amistad desde el día en que me conoció, a la profesora Blanca Nieves Martínez, por su apoyo, ayuda su la amistad, al Profesor Nicolás Rodríguez, por los momentos en los que más que una profesor se comportó como un amigo, a la Profesora Edith López Villafranco por ser una gran persona y sobre todo una gran amiga, con la que sé que podré contar siempre.

Índice

Resumen	3
1. Introducción	4
1.1 Disponibilidad de agua	4
1.2 Tratamiento de aguas residuales	5
1.3 Respuesta funcional	10
1.4 Cladóceros	11
1.5 Rotíferos	12
1.6 Copódos	13
1.7 Vibrio cholerae	14
2 Antecedentes	15
3 Justificación	18
4 Objetivos	19
5 Material y Métodos	19
6 Diagrama	21
7 Resultados	22
7.1 Rotíferos	22
7.2 Copépodos	24
7.3 Respuesta funcional de copépodos	25
7.4 Cladóceros	26
7.5 respuesta funcional de cladóceros	29
8 Discusión	31
8.1 Rotíferos	31
8.2 copépodos	31
8.3 Cladóceros	32
9 Conclusión y Resultados	34
Anexo 1	41
Anexo 2	42

Resumen

Se realizó un estudio sobre el consumo de bacterias del género *Vibrio cholerae* NO O1 NO O139, por tres grupos taxonómicos pertenecientes al zooplancton, el primer grupo fue el de los cladóceros, entre las especies estudiadas se encuentran: *Daphnia pulex*, *Moina macrocopa*, *Cerodaphnia dubia* y *Alona rectangula*, de las cuales *M. macrocopa* (38%) y *D. pulex* (42.8%) son las que presentaron mayor actividad bacterívora. El segundo grupo probado fue el de los rotíferos dentro del cual se estudiaron las siguientes especies *Brachionus rubens* (85%), *Brachionus havanaensis* y *Brachionus patulus*, el primero de ellos con la mayor actividad bacterívora. El último grupo que se estudió fue el grupo de los copépodos, dentro de los que se probaron: Calanoideo, Ciclopoideo y Harpacticoides y una clase de microcrustáceos como son los Ostracodos. De estos grupos, los Harpacticoides (48.1%) fueron los de mayor actividad bacterívora. Se determinó el porcentaje de remoción y la respuesta funcional para dos especies de cladóceros y para una de copépodos. *En el caso de Harpacticoides* su porcentaje de remoción fue de 59% y tuvo una respuesta funcional de tipo I, en el caso de *Daphnia pulex* ésta fue de 24% y para *Moina macrocopa* de 19%, estas dos últimas obtuvieron una respuesta funcional de tipo III.

Comparando los tres grupos taxonómicos probados, se observó que el de los cladóceros fue el que consumió mayor número de bacterias. Cabe la posibilidad de considerar a las especies mencionadas de cladóceros y copépodos como consumidoras activas de bacterias ya que los resultados obtenidos en este trabajo son coincidentes con los estudios realizados anteriormente en condiciones similares a las empleadas en esta investigación y que muestran tal actividad.

Palabras claves: Bacterivoría, Zooplancton, *Vibrio cholerae*

1. Introducción

La investigación científica del agua ha experimentado un particular impulso en los dos últimos decenios debido a la importancia que ha tomado para la economía y el bienestar de la sociedad (Rheinheimer, 1987). Cabe mencionar que de toda el agua del planeta, aproximadamente el 90% son aguas marinas, el 2 % corresponde a los hielos perpetuos y sólo el 1 % es agua dulce y se utiliza tanto para consumo humano como para un gran número de usos diversos que van desde la agricultura hasta procesos industriales (CNA, 2000).

1.1 Disponibilidad de agua en el mundo y en México

Según un informe de Naciones Unidas, en el año 2050, padecerá la escasez de agua cerca de 7,000 millones de personas en el mundo, mientras que actualmente casi 1000 millones de personas carecen de agua potable. La higiene personal aumenta cuando la disponibilidad de agua supera los 50 litros diarios (por lo general esto significa que el agua llega a la casa o al patio por una red de abastecimiento) (Agua, 2000).

Asimismo, se estima que 1,700 millones de personas no cuentan con servicios de saneamiento adecuados. La falta de tratamiento de las aguas residuales es una importante fuente de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas (Agua, 2000).

Debido al cambio climático, a mediados del presente siglo, millones de personas sufrirán de escasez de agua en todo el mundo. Se calcula que un 20% del incremento de la escasez mundial de agua obedecerá a este factor. En las zonas húmedas es probable que las precipitaciones lluviosas aumenten, mientras que en muchas zonas propensas a la sequía, e incluso en algunas regiones tropicales y subtropicales, disminuirán y serán más irregulares (Worldbank, 2000).

Casi 20 países del Cercano Oriente y del Norte de África enfrentan las peores perspectivas: la disponibilidad anual de agua *per cápita* ya ha descendido a sólo 1,250 metros y si disminuye otro 50%, llegará a 650 metros cúbicos. Actualmente, Jordania y Yemen tienen un 60% menos que en 1960. De acuerdo con las proyecciones, en 2025 los requerimientos *per cápita* obligarán a extraer de acuíferos subterráneos 30% más de agua por año, de la que se estaría destinada a la recuperación de estos (Worldbank, 2000).

En lo que respecta a México, éste es en su mayoría un país árido o semiárido (en un 56%) el 67% de las lluvias caen en los meses de junio a septiembre. Si promediamos la lluvia, el país recibe unos 711 mm cada año, lo cual no es mucho, comparado con otros países. El 50% de su superficie la tienen los estados del norte, en donde llueve tan sólo el 25% del total. En la parte angosta del país, en donde se encuentran los estados del sur-sureste, Chiapas, Oaxaca, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Veracruz y Tabasco y que ocupan el 27.5% del territorio, presentan la mayor precipitación pluvial que es del 49.6% (Worldbank, 2000).

Entre los Estados más secos está Baja California, en donde tan solo llueve un promedio de 199 mm por año. En contraste está Tabasco que recibe 2,588 mm de agua cada año. En México llueve cada vez menos, se ha observado que de 1994 a la fecha ha llovido menos del promedio histórico anterior. En la clasificación mundial, México está considerado como un país de disponibilidad baja de agua, mientras que los países más ricos en disponibilidad son Canadá y Brasil (Agua, 2000).

Por estas razones, el adecuado tratamiento de las aguas residuales industriales y su posterior reutilización para múltiples usos, contribuye a un consumo sostenible del agua y a la regeneración del recurso en el ambiente continental y marítimo así como de sus ecosistemas. Sin olvidar que el agua de buena calidad es una materia prima crítica para las industrias tales como la alimentaria y farmacéutica (Worldbank, 2000).

De acuerdo al Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos cada día. Sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento. Con la ausencia de éste, las aguas negras son por lo general vertidas a las aguas superficiales, crean un riesgo obvio para la salud humana y los animales. Muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos e industriales (Worldbank, 2000).

La composición biológica de este tipo de aguas es importante ya que en ellas se presenta una gran actividad metabólica, misma que realizan hongos, protozoarios, algunos metazoarios, crustáceos y bacterias que son un factor potencial para la transformación de componentes químicos físicos y orgánicos. Las bacterias al igual que otros organismos, se encuentran en un medio rico de nutrientes en las aguas residuales para llevar a cabo su desarrollo (Bahena, 2005).

El control la calidad del agua tiene asignada en sí una responsabilidad esencialmente unificada y que va en dos direcciones, tanto para el abastecimiento de agua como para el tratamiento de las aguas residuales (CNA, 2000).

1.2. Tratamiento de Aguas Residuales

Existen diversos tipos de tratamiento como son: lagunas de estabilización, biorreactores (biodiscos), procesos anaerobios, humedales artificiales y los sistemas de lodos activados. Estos se llevan a cabo de varias formas, los más comunes son el tratamiento primario, secundario y terciario (Ramalho, 1996).

Lagunas de estabilización

Son estructuras simples en las que se embalsan aguas residuales para mejorar sus propiedades sanitarias, miden aproximadamente de 2 a 4 m, teniendo periodos de retención de varios días, cuando hay descargas de aguas residuales a estas lagunas se lleva a cabo la estabilización de forma natural en

donde ocurren diferentes tipos de fenómenos tanto físicos como químicos y biológicos (Estrucplan, 2009).

Biorreactores (biodiscos)

Son recipientes que mantienen un ambiente biológicamente activo. En algunos casos se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos. Este tipo de proceso puede ser aeróbico o anaeróbico. El biorreactor consiste de una serie de discos montados en un eje horizontal, dichos discos son de gran diámetro y están espaciados entre sí y están contruidos de un material de poliestireno. Los microorganismos presentes en las aguas servidas permiten que exista un crecimiento biológico en la superficie de los discos. A medida que el disco rota, las bacterias se van alternando entre el agua servida y el aire. Operando de esta forma, los discos proveen de un soporte para el crecimiento microbiano y un contacto alternado de estos organismos con los contaminantes orgánicos del agua y el aire (Estrucplan, 2009).

Sus principales características consisten en un mínimo consumo de energía, mantenimiento sencillo y económico, alta eficiencia y confiabilidad en el tratamiento biológico, dada su eficiencia se han llegado a instalar módulos de hasta 9,300 m² (100,000 pies²) (Estrucplan, 2009).

Procesos anaeróbicos

En el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica contenida en el fango del agua residual es transformada en los gases metano y bióxido de carbono. Este proceso biológico natural es realizado por grupos o comunidades de bacterias en recipientes cerrados (reactores). El gas producido puede ser recogido y utilizado como combustible. El fango final, estabilizado, que se extrae no es putrescible, y su contenido en organismos patógenos es nulo o muy bajo. Esta conversión biológica del sustrato complejo, en el que se encuentra materia orgánica en suspensión o disuelta, se realiza a través de una serie de reacciones bioquímicas que transcurren tanto consecutiva como

simultáneamente. El proceso de Depuración de Aguas Residuales se divide en tres etapas: hidrólisis, fermentación acetogénica y finalmente la metanogénicas (Estrucplan, 2009).

Humedales artificiales

Los humedales artificiales forman parte del sistema de depuración. Suelen tener un fondo o base impermeable sobre la que se deposita un lecho de grava, suelo u otro medio para el desarrollo de las plantas, que constituyen el principal agente depurador. Existen dos tipos de humedales contruidos, dependiendo de la situación del nivel de agua: el denominado superficie libre de agua en el que el agua está en contacto con la atmósfera y constituye la fuente principal del oxígeno para aireación y el denominado de flujo superficial, donde la superficie del agua se mantiene a nivel de la superficie del lecho permeable o por debajo de la misma. La transferencia de oxígeno desde las hojas hasta las raíces de las plantas, actúa como mecanismo suministrador de oxígeno al agua. La presencia de plantas emergentes con raíces es esencial en ambos tipos de sistemas. La carga hidráulica anual aplicada varía en el rango dependiendo del tipo de sistema, características del agua de alimentación, estructuras que limitan o cambian la dirección del efluente, etc. (Estrucplan, 2009).

Lodos activados

El proceso de tratamiento por los lodos activados es aquél por el cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado aireador, los flóculos biológicos formados en este proceso se transfieren a otro tanque denominado de sedimentación, lugar del cual son recirculados nuevamente al tanque aireador o de aeración. En el proceso de lodos activados los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica en el agua residual de manera que ésta les sirve de alimento, lo que lleva a que se incrementen las poblaciones de microorganismos. Es importante indicar que la mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos (aireadores superficiales, sopladores, etc.) los cuales tiene doble función 1)

producir mezcla completa y 2) agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle (Estrucplan, 2009). En el proceso de lodos activados se distinguen tres procesos:

Tratamiento primario

Este tratamiento sirve para reducir la presencia de aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos previos al inicio del tratamiento propiamente dicho. Este paso está enteramente hecho con maquinaria, de ahí conocido también como tratamiento mecánico (Estrucplan, 2009).

Tratamiento secundario

Este tratamiento está diseñado, para degradar substancialmente el contenido biológico de las aguas residuales municipales con un alto contenido de materia orgánica que se deriva de la actividad humana y que trae en su contenido desechos sólidos, restos de comida, jabones y detergentes. La mayoría de las plantas municipales e industriales tratan el licor de las aguas residuales usando procesos biológicos aeróbicos. Para que sea efectivo el proceso biótico, se requiere de oxígeno y de un substrato. Hay variación de maneras por las cuales esto se realiza; en todos estos métodos las bacterias y los protozoarios consumen contaminantes orgánicos solubles biodegradables (por ejemplo: azúcares, grasas, moléculas de carbón orgánico, etc.) y unen muchas de las pocas fracciones solubles en partículas de flóculos (Estrucplan, 2009).

Tratamiento terciario

Este tratamiento proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente, al estándar requerido, antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.). Más de un proceso terciario del tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento. Si la desinfección se practica siempre en el proceso final, a esta se le denomina “pulir el efluente”. Actualmente los procesos de desinfección de los efluentes tratados y a los cuales se les adiciona principalmente cloro, no llegan a bajar las cuentas bacterianas más allá de un cierto límite por lo que se considera que aprovechando la actividad bacterivoría de ciertos organismos del zooplancton se pudiera someter al efluente tratado – antes de la desinfección con cloro- a

un carga de rotíferos, copépodos e incluso cladóceros para bajar las cuentas bacterianas y optimizar el proceso de desinfección con cloro (Estrucplan, 2009).

1.3. Respuesta funcional

Para evaluar la disponibilidad con respecto al consumo de diferente cantidad y tipo de alimento, en este caso las bacterias, por los diferentes grupos probados se utilizaron los datos para conocer la respuesta funcional de los organismos bacterívoros.

La depredación no solo es solamente una transferencia de energía entre los seres vivos, si no que constituye una interacción directa y compleja entre dos o más especies, la que come y la que es comida. La abundancia de depredadores puede en ocasiones depender de la abundancia de sus presas. Cada una de las dos especies puede influir sobre el crecimiento poblacional de la otra y favorecer el establecimiento de nuevas adaptaciones (Silva, 2008).

El número de presas que un depredador consume en presencia de una cierta densidad de la presa, es conocida como respuesta funcional y es la relación que existe entre esa densidad y la presa o número de presas ingeridas por unidad de tiempo (Silva, 2008).

Existen tres tipos de respuesta funcional, el primer tipo es característico de animales que consumen su alimento en una tasa proporcional a la tasa de presas presentes en el medio es decir que aumenta linealmente con respecto al alimento hasta llegar a un máximo que se mantiene constante con respecto al alimento, este comportamiento se observa en organismos filtradores. El segundo tipo es característico de muchos microorganismos que toman ciertas cantidades de tiempo para ingerir y capturar su comida, esto se presenta en organismos invertebrados. El tercer tipo es característico de organismos que muestran un comportamiento de aprendizaje, durante el cual bajan un cierto umbral de densidad. Los organismos no utilizan las presas para comida con gran intensidad sin embargo por arriba de los niveles de densidad los

organismos incrementan su tasa de consumo de presas hasta un nivel de saturación (Silva, 2008).

Los grupos de organismos que se probarán para llevar a cabo una baja en las cuentas bacterianas del agua residual tratada son los siguientes y de los cuales se hace una breve descripción:

1.4 Cladóceros

Particularmente los cladóceros son crustáceos, de tamaño pequeño como lo son *A. rectangula* y *C. dubia* (0.4mm) seguidas por *D. pulex* y *M. macrocopa* (2-4mm) (Gulati, 1990). Otros organismos son los copépodos, que son generalmente de pequeño tamaño (1-5mm) estos organismos poseen un mecanismo de filtración desarrollado, muy eficaz para retener partículas alimenticias que midan entre 10 y 40 micras. Otro de los grupos importantes son los rotíferos, de talla pequeña (40-500 μ), al igual que los dos grupos anteriores son organismos filtradores y esta característica los hace ser eficientes como limpiadores de lagos y estanques (Ruppert y Barnes 1996). Dentro de este grupo se encuentran las especies *M. macrocopa.*, *D. pulex*, *C. dubia* y *A. rectangula* (Mendoza, 2004).

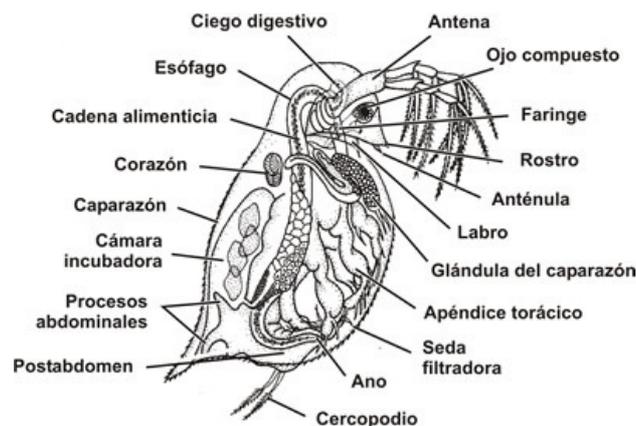


Figura 1. Anatomía de *Daphnia pulex*

1.5 Rotíferos

Los rotíferos están distribuidos en las aguas dulces ocupando tres cuartas partes, son sésiles y están asociados a sustratos, son invertebrados de cuerpo blando, metazoarios microscópicos de 50μ a 200μ ; existen 2,000 especies estudiadas en el mundo, de las cuales 1,500 pertenecen a la clase Monogonta y las 500 restantes pertenecen a la clase Belloidea (Throp, 1991). Muchas de estas especies pueden llegar a poblar nichos ecológicos vacantes, algunos son consumidores de bacterias aunque en general son omnívoros y presentan en el extremo anterior o corion los cilios que crean una corriente bidireccional hacia la boca del aparato digestivo, el cual consta de unas estructuras denominadas mastax que les sirven para triturar las partículas de alimento que ingieren y que miden aproximadamente de 12μ a 50μ (Wetzel, 1981).

Dentro de los sistemas acuáticos son esenciales los ciclos de producción secundaria, son cosmopolitas y tienen una gran capacidad de alimentarse de otras especies como son las bacterias, además actualmente se están utilizando para estudios toxicológicos, como monitores ambientales y calidad de agua. Las especies pertenecientes a este grupo son *B. patulus*, *B. havanensis* y *B. rubens*.

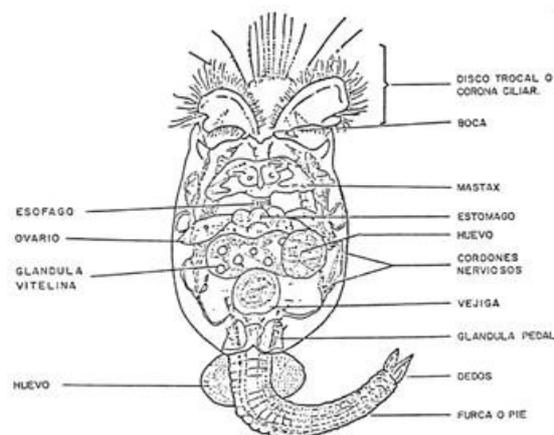


Figura 2. Anatomía de *Brachionus* spp.

1.6 Copépodos

Este es un grupo de pequeños crustáceos, que incluye unas 8,500 especies, la mayoría son marinas, aunque algunas son dulceacuícolas, terrestres o planctónicas. Son de pequeño tamaño, generalmente entre 1 mm a 5 mm, su color suele ser transparente, su cuerpo suele ser alargado, casi cilíndrico, más ancho en la parte delantera. La cabeza, suele ser de forma redondeada, tiene un ojo nauplio bien visible y dos antenas primarias largas y perpendiculares al cuerpo. El tórax está formado por seis segmentos y la cabeza se encuentra fusionada al primero y a veces también con el segundo; el primer par de apéndices funciona como maxilípido y los restantes se emplean en la locomoción; son birrámeos y tienen una placa de unión entre las dos ramas para que batan acompasadamente. El abdomen, formado por 5 segmentos más estrechos que los torácicos, carece de apéndices excepto las ramas caudales que forman el telson final. Dentro de estos se encuentran los Harpacorticoides, Calanoideos, Cyclopoideos y los crustáceos a los cuales pertenecen los Ostracodos. Todos estos grupos pertenecen al zooplancton y tienen gran importancia en la transferencia de energía de los niveles tróficos bajos a los superiores en los ecosistemas acuáticos, constituyendo uno de los principales eslabones de la cadena alimentaria junto con las bacterias (Mendoza, 2004).

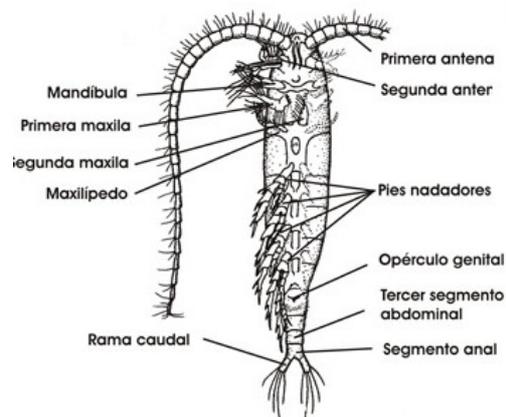


Figura 3. Morfología de los copépodos.

1.7. *Vibrio cholerae*

Las bacterias pertenecen al grupo monera, son organismos procariotas que se caracterizan por tener un sólo cromosoma circular y carecen de membrana nuclear, su reproducción es asexual, y son cosmopolitas (Pradós y Furones, 2003). Es de importancia señalar que de entre los patógenos presentes en las aguas residuales se ha encontrado la familia Vibrionaceae, a la cual pertenece el género *Vibrio* que habita en ecosistemas acuáticos estuarinos y costeros sin estar relacionados con contaminación humana. La especie *V. cholerae*, incluidas sus cepas no toxigénicas denominadas genéricamente como NO 01 y NO 0139 se han aislado con frecuencia de ambientes acuáticos, tales como bahías, ríos, canales etc. *V. cholerae* es un anaerobio facultativo ya que aprovecha el oxígeno presente para respirar y en su ausencia es capaz de fermentar (Borroto, 1997).

Puede crecer en medios que contienen carbohidratos, particularmente glucosa, así como nitrógeno, azufre, fósforo y sodio se adhiere a sedimentos para obtener estos nutrientes tiene un requerimiento absoluto de sodio para el crecimiento, encontrando así las condiciones óptimas para su supervivencia y crecimiento en ambientes acuáticos ricos en nutrientes, moderadamente salinos, cálidos y de pH neutro o ligeramente alcalino (Borroto, 1997).

Estas son las condiciones típicas de los estuarios y pantanos costeros en zonas ecuatoriales, tropicales y subtropicales, donde abundan las especies de fitoplancton y zooplancton. Actualmente se considera que su nicho ecológico se encuentra en las aguas de estuarios, en las que puede sobrevivir incluso en ausencia de contaminación fecal humana. En situaciones de estrés ambiental, como la disminución y la disponibilidad de nutrientes o cambios en la salinidad, adopta formas cocoides de tamaño pequeño que le permite realizar funciones metabólicas, se dice entonces que entra en un estado viable no cultivable. Mediante asociaciones ecológicas, se adhiere a superficies de especies de plantas macrófitas acuáticas, fitoplancton y zooplancton (Borroto, 1997).

La ecología de *Vibrio cholerae* del serogrupo O1, cuando se presenta en agua dulce, es un fenómeno que contribuye al carácter endémico del cólera. No obstante, es posible que durante los brotes estacionales de fitoplancton y zooplancton se incrementen en el agua las cuentas de *V. cholerae* O1 y O139 asociado con estos sustratos, con especies del plancton y la macrofauna acuática como estrategia de supervivencia (Borroto, 1997).

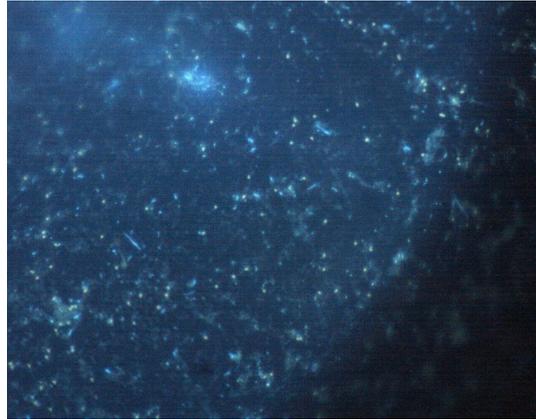


Figura 4. *Vibrio cholerae* teñido con DAPI y visto bajo fluorescencia (100X).

2. Antecedentes

En lagunas litorales del estado de Tabasco durante 1979, 1980 y 1981, se realizaron una serie de investigaciones que se refirieron a dinámicas físicas y biológicas. También se observó que los cuerpos de agua estudiados contenían sedimentos con altas concentraciones de bacterias del grupo coliformes, otro grupo que se encontró en grandes cantidades fue el de *V. cholerae* y la presencia de otros géneros patógenos como *Salmonella* y *Shigella* (ECODES, 1981).

Por otra parte, en un estudio de competencia alimenticia entre *Brachionus calyciflorus*, *Keratella cochlearis* y *Daphnia pulex*, se encontró que *D. pulex* no dejaba alimento disponible para los rotíferos (Gilbert, 1985).

También se realizaron estudios de bacterivoría en aguas marinas con el uso de interfluorescencia de partículas, encontrando que la abundancia de bacterioplacton en una hora fue de 6% en lagos oligotróficos (McManus y Fuhrman, 1986).

En investigaciones sobre la importancia de la bacterivoría en nanoflagelados se encontró en abundancia a un grupo pelágico depredador de bacterias (Estep, et al. 1986), en ese mismo año Briol y Kalff, realizaron un estudio sobre algas y bacterias en lagos planctónicos encontrando que existía bacterivoría sobre la microalga *Dinobrium*.

Un estudio de bacterivoría realizado por Sanders et al. en 1989, en flagelados, ciliados, rotíferos y cladóceros en una comunidad planctónica de agua dulce en diferentes estaciones, encontró una gran bacterivoría en comunidades planctónicas en el sistema lagunar europeo. En el mismo año se estudió la bacterivoría de rotíferos, ciliados, copépodos, cladóceros y protozoos en un lago eutrófico en Georgia, EU. Particularmente los dos últimos grupos fueron ampliamente estudiados por Vázquez y Pace en 1992 como depredadores de bacterias en dos lagos oligotróficos de Estados Unidos.

En México en ese mismo año se llevó a cabo un estudio acerca de *Vibrio cholerae* en la zona de Veracruz, Boca del Río y Mandinga reportando la presencia de *V. cholerae* en diversas partes de la zona así como otros géneros de *Vibrio* que también ocasionan sintomatologías relacionadas con padecimientos gastrointestinales en las comunidades (Velásquez, 1992).

En un estudio acerca de la contaminación bacteriana en aguas sedimentadas y organismos de los bancos ostrícolas del sistema Poma-Atasta, Campeche, se determinó la presencia de *Salmonella* y *V. cholerae* (Lagunas y Cols, 1994). Para 1995 Roche realizó un estudio de aguas residuales de una lechería, identificando el crecimiento poblacional de *Brachionus calyciflorus*. En 1997 Barroso et al. reportaron la misma especie en una planta de tratamiento, y en 1998, Arévalo et al. estudiaron la dinámica poblacional de *B. calyciflorus* en aguas de desecho provenientes de una tortillería.

El estudio del crecimiento de cepas individuales de *D. magna* en aguas residuales de un estanque de estabilización de una lechería en condiciones de laboratorio permitieron evaluar la tasa intrínseca de crecimiento (r) llegando a la conclusión de que el agua de efluentes es un medio potencial para el crecimiento de *D. magna* (Roche,1998). Posteriormente en el 2002 Martínez, realizó un estudio sobre la comunidad alimentaria de *Daphnia ambigua*, *Moina micrura* y *Cerodaphnia dubia* frente a un grupo de concentración de alimento, encontrando que *D. ambigua* tuvo la mayor tasa de ingestión sobre *Chlorella* sp. y *Oocystis* sp. y *M. micrura* presentó una mayor eficiencia de consumo sobre *Chlorella* sp. y *C. dubia* sobre *Oocystis* sp.

En ese mismo año Lara, realizó un estudio sobre dinámica poblacional de cuatro especies seleccionadas de cladóceros y crustácea realizada en aguas residuales urbanas parcialmente tratadas, encontrando que el grupo de cladóceros se alimentan principalmente de bacterias, algas y particularmente de materia orgánica, en general las cuatro especies de cladóceros fueron las que presentaron mayor resistencia a sobrevivir en aguas residuales.

Otro estudio se llevó a cabo sobre crecimiento poblacional y tablas de vida de los rotíferos; *B. calyciflorus*, *B. patulus*, *B. rubens* y *A. sieboldi*, en la planta de tratamiento de Iztacalco, Ciudad de México (Trujillo, 2002).

Se realizó un estudio sobre la bacterivoría de Rotíferos y Cladóceros en aguas residuales de una planta de tratamiento en la delegación Iztacalco encontrando que *Brachionus calyciflorus* y el cladóceros *Alona rectangularata* fueron los que mostraron una mejor tasa de consumo en ese tipo de aguas (Mendoza, 2004).

Posteriormente en el 2005 Rosales, evaluó la calidad bacteriológica del agua de los canales de Xochimilco (que mantienen el nivel de agua con el efluente de la planta de tratamiento de Cerro de la Estrella) realizando la caracterización serológica de *Escherichia coli* y determinando que los canales se encuentran en una fase de gran deterioro en lo que se refiere a su calidad bacteriológica. Asimismo reportó la presencia de bacterias de origen fecal, las cuales poseen importancia clínica-epidemiológica, pues pueden ser transmitidas por el consumo de vegetales que se cultivan en esta zona y que se consumen crudos o simplemente por el contacto directo con este tipo de aguas durante la recreación.

En ese mismo año Solís, aisló y caracterizó a *Vibrio cholerae* de los canales de Xochimilco, encontrando que la presencia de éste podría estar relacionada con la eutrofización del lago, ya que al provocar el aumento de las poblaciones de fitoplancton y zooplancton, estos pueden ser un reservorio de *V. cholerae* en el lago.

En otro contexto, se realizó un estudio sobre la tasa de ingestión de *Simocephalus velutus* (crustacea) alimentado con *Selenestrum capricornutus* y *Chlorella vulgaris* encontrando que los crustáceos tienen una tasa de ingestión mas elevada que otros grupos (Brito, Milani y Pereira, 2006).

En el 2008 Silva hizo una evaluación comparativa de la capacidad depredadora de *Paramecium multimicronucleatum* y *Rotaria rotatoria* sobre poblaciones de enterobacterias encontrando que *R. rotatoria* tiene un volumen corporal del

30% superior al de *P. multimicronucleatum*, las tasas de consumo fueron siempre mayores para *R. rotatoria* que para *P. multimicronucleatum*. La mas alta fue la de *E. coli*, con 5.13×10^7 bac/ml cuando la concentración inicial fue de 1.00×10^9 bac/ml teniendo una diferencia en la tasa de consumo con base en los pesos equivalentes, se observaron con *S. typhi* siendo de hasta 13.9 y 28.4 veces mayores en el caso de las concentraciones 1.0×10^5 y 1.0×10^7 bac/ml, concluyendo que *P. multimicronucleatum* prefiere consumir *E. coli* y *S. sonii* evitando el consumo de *S. typhi*, mientras que *R. rotatoria* no tiene preferencia por ninguna de las tres especies de enterobacterias.

3. Justificación

El crecimiento poblacional ha llevado a la humanidad a formar asentamientos de los cuales provienen una gran cantidad de desechos domésticos e industriales que son descargados a los cuerpos de agua dulce provocando su deterioro y dejando el recurso inadecuado para el consumo humano. Uno de los principales problemas de las aguas residuales es la concentración de bacterias patógenas que se encuentran en ellas y es por esto que resulta importante realizar estudios de bacterivoría que podrían resultar en una herramienta útil para disminuir las cantidades de bacterias que se encuentran en las aguas residuales y aún en los efluentes provenientes del tratamiento, antes del proceso de desinfección con cloro. Asimismo, esta alternativa para mejorar la calidad de agua, además, dejaría disponible biomasa del zooplancton que podría utilizarse como alimento para peces de ornato

4. Objetivos

Objetivo general

Evaluar la capacidad bacterívora del zooplancton (rotíferos, cladóceros y copépodos) sobre *Vibrio cholerae* No O1 No O139.

Objetivo particular

- Comparar la eficiencia bacterívora entre las diferentes especies integrantes del zooplancton.
- Comparar la frecuencia funcional de las diferentes especies.

Comparar el consumo entre las diferentes especies de zooplancton en relación a su talla.

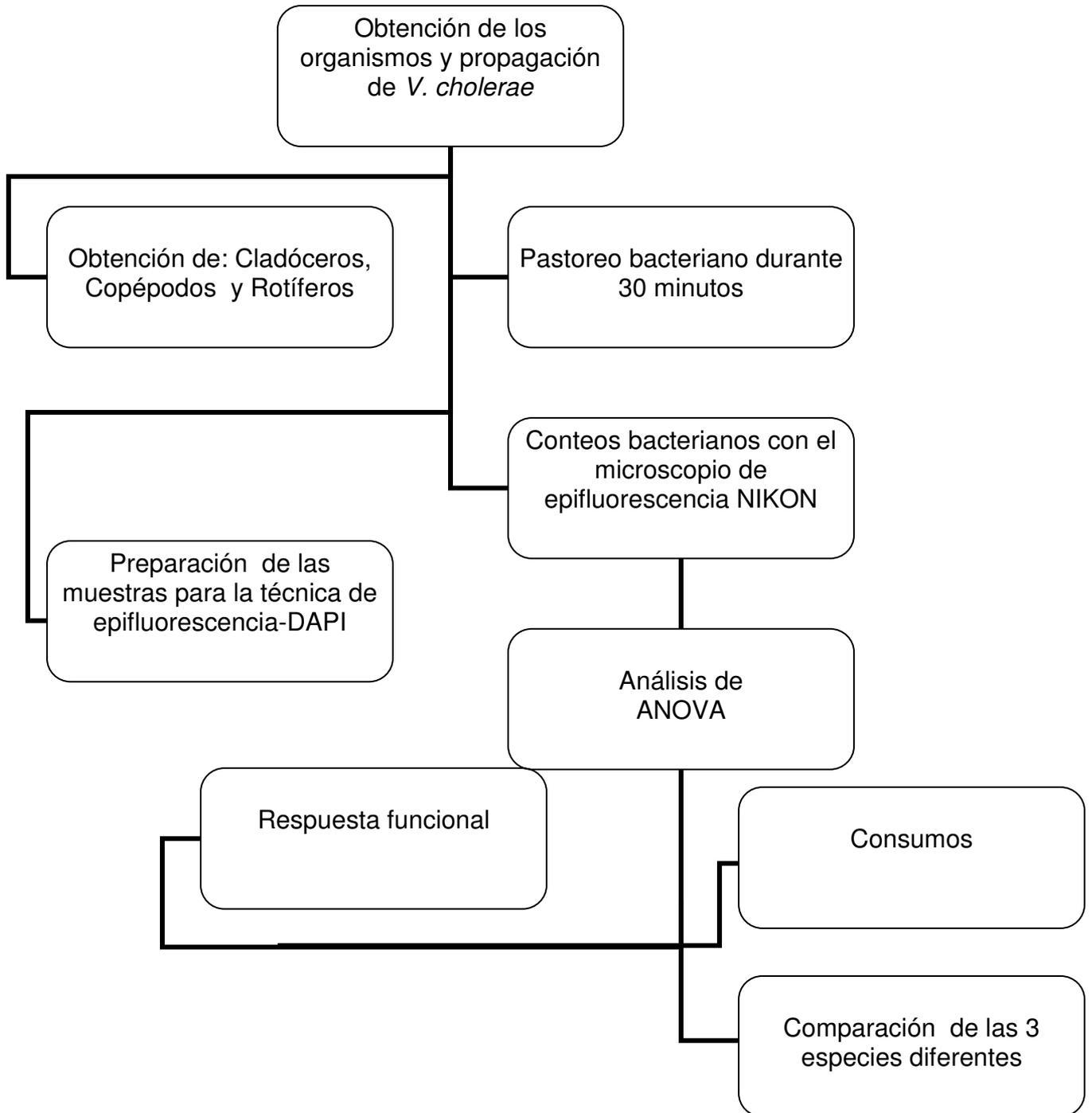
5. Material y Métodos

Trabajo de laboratorio

La propagación de *V. cholerae* se obtuvo mediante la recuperación en caldo Luria, posteriormente se realizó una cinética bacteriana, iniciando con la siembra de varias UFC de *V. cholerae*, en 50 ml de caldo Luria, que se colocaron en un matraz (A) y se incubó en un baño de agitación por 18 horas a 37°C. Al día siguiente se desecharon 2ml del medio estéril contenido en un matraz de 100ml (B) y en su lugar se agregaron 2ml de la siembra de *V. cholerae* en Luria y se incubaron a 37°C en baño de agitación por cuatro horas, posteriormente se comenzaron las mediciones de densidad óptica y el plaqueo.

Para conocer el número de bacterias presentes en el medio, se hicieron series de diluciones hasta 10^{-12} y en ésta se contaron las bacterias, con dicha dilución se prepararon los recipientes para hacer las pruebas de bacterivoría con los diferentes grupos de organismos, pertenecientes al zooplancton en cada serie de experimentos, cada lote con su respectivo control. Después de 30 minutos se detuvo el experimento con formol al 4% y posteriormente se hizo una tinción por la técnica de DAPI (4,6 diamidino-2-fenilindol marca Sigma) (Porter y Feig, 1980) (Anexo I). El conteo bacteriano se realizó en un microscopio de epifluorescencia Nikon, ECLIPSE E600, a un aumento de 100x. Se contaron en una rejilla de campo, formada de 100 cuadros y el conteo se realizó por cuadro, de forma horizontal. Al finalizar los conteos se aplicó una fórmula para obtener el número de bacterias consumidas por cada organismo o grupo probado, esto se llevó a cabo por el método de varianza (ANOVA), para saber cual de los grupos fue mejor en su consumo y posteriormente seleccionarlo y realizar una respuesta funcional con las siguientes diluciones (10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} y 10^{-8}) esto para saber el porcentaje de remoción, siguiendo el mismo procedimiento antes mencionado, finalmente se realizó un análisis de varianza (ANOVA), para saber si se presentaron diferencias significativas entre cada grupo; posteriormente se llevo acabo la prueba Tukey para mostrar que especies obtuvieron un mejor desempeño en la remoción de bacterias.

6. Diagrama de flujo



7. Resultados

7.1 Rotíferos

En la figura 1 se observa que el consumo de bacterias entre las tres especies de rotíferos probadas existe una diferencia de 0.004 demostrando que no hay una diferencia significativa.

Variable	GL	SS	MS	F	P
Consumo por talla	1	1009740483	1009740483	34.514	0.004
Residual	4	117024001	29256000		
Total	5	1126764483			

Cuadro1. Muestra que no hay diferencia significativa dentro del grupo de los rotíferos.

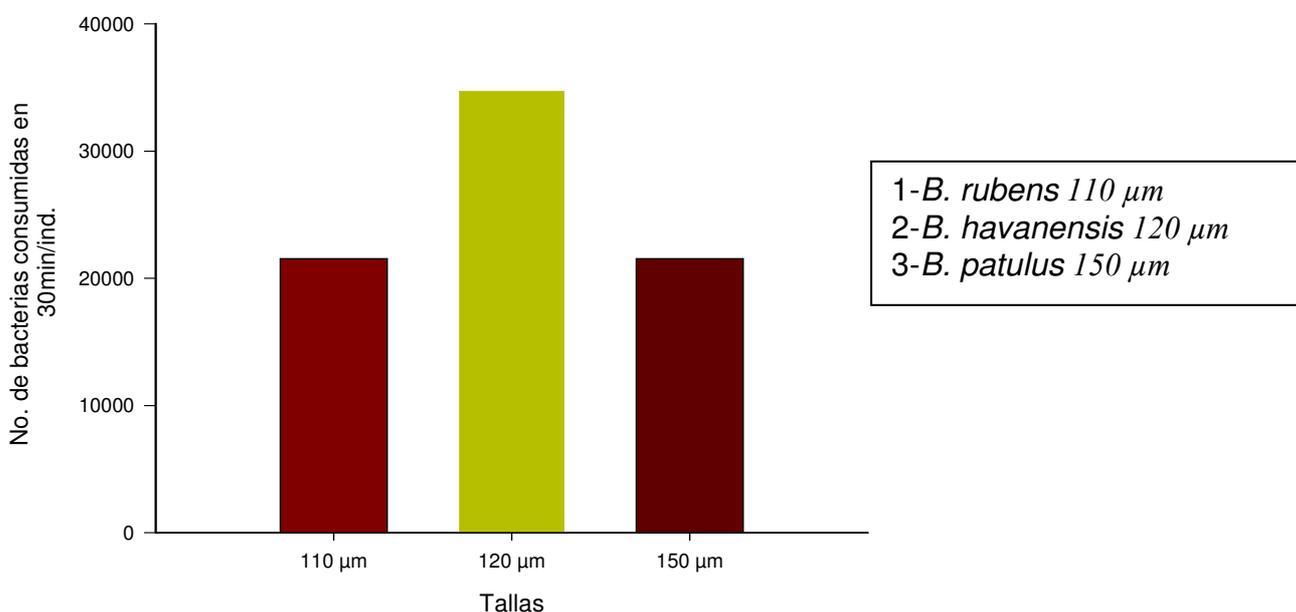


Figura 5. Consumo de *V. cholerae* por las diferentes especies de rotíferos probadas, dependiendo a su talla.

En la figura 2, se observa el consumo entre las diferentes especies de rotíferos con respecto a su talla; *B. havanaensis* obtuvo un alto consumo y a su vez es el que presenta una talla mayor por lo que su capacidad de filtración es más alta en comparación con las especies con *B. rubens* y *B. patulus*.

En la figura 3 se observa que el consumo de bacterias entre las tres especies de rotíferos probadas en una dilución, de 10^{-12} , existe una diferencia de 0.052 demostrando que no existe una diferencia significativa dentro del grupo de los rotíferos.

Variable	GL	SS	MS	F	P
Consumó por dilución de las especies de rotíferos.	3	6.3×10^{11}	2.1×10^{11}	3.4	0.052
Residual	12	7.4×10^{11}	6.1×10^{10}		
Total	15	1.3×10^{12}			

Cuadro 2. Muestra la que no existe diferencia significativa entre las especies de rotíferos que se probaron.

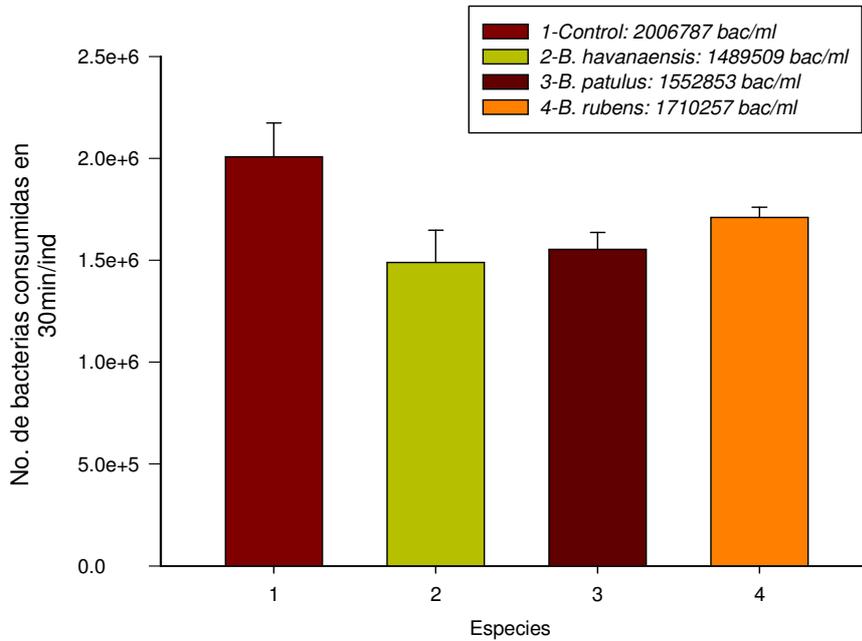


Figura 6. Consumo de *V. cholerae* por las diferentes especies de rotíferos en una dilución de 10^{-12} .

En la figura 4, se observa que las especies más bacterívoras, fueron aquellas que dejaron un menor número de bacterias, con respecto al control 2006787bac/ml, fueron *B. havanaensis* 14,895 bac/ml seguida por *B. patulus* 15,528 bac/ml y la especie menos bacterívoras fue *B. rubens* 17,102 bac/ml, todas ellas con respecto al conteo del control que fue de 20,067 bac/ml.

7.2 Copéodos

En la figura 5 se observa que el consumo de bacterias entre las cuatro especies de copéodos probadas, existiendo una diferencia de <0.001 demostrando que existe una diferencia significativa, dentro de este grupo.

Variable	GL	SS	MS	F	P
Consumo de los copéodos	4	1.3×10^{12}	3.4×10^{11}	27.7	<0.001
Residual	15	1.8×10^{11}	1.2×10^{10}		
Total	19	1.5×10^{12}			

Cuadro 5. Muestra que hay una diferencia significativa menor a <0.001 dentro del grupo de copéodos.

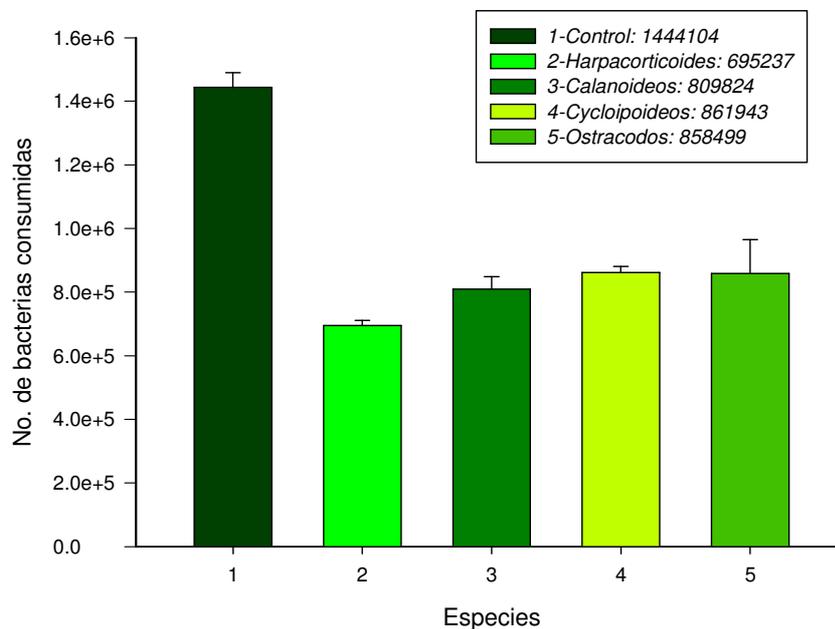


Figura 7. Consumo de *V. cholerae* por las diferentes especies de copéodos en una dilución de 10^{-12} .

En la figura 6 Se observa que las especies mas bacterívoras fueron *Harpacorticoides* con un consumo de 6,952 bac/ml y la menos bacterívora fue

la de los *Ostracodos* con un consumo de 8,584.99 bac/ml en comparación al control en donde se cuantificaron 14,441 bac/ml.

En la figura 7 se observa el porcentaje de remoción de *Harpacorticoides* que obtuvo un consumo de 11,828 bac/ml (41%) con respecto al Control en donde el conteo fue de 16,915 bac/ml (59%).

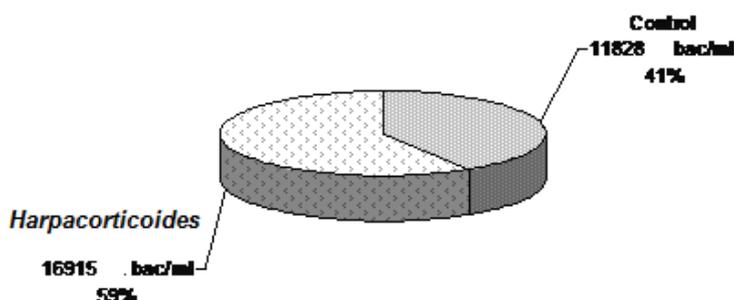


Figura. 8. Porcentaje de remoción de *Harpacorticoides*.

7.3 Respuesta funcional de Copépodos

En la figura 8 se observa que el consumo de bacterias entre las tres especies de copépodos probadas en una dilución, de 10^{-12} , existe una diferencia de 0.001 demostrando que existe una diferencia significativa dentro del grupo de los copépodos.

Variable	GL	SS	MS	F	P
Respuesta funcional de <i>Harpacorticoides</i>	1	7.7×10^{11}	7.7×10^{11}	18.82	0.001
Residual	10	4.1×10^{11}	4.1×10^{10}		
Total	11	1.1×10^{12}			

Cuadro 8. Muestra que hay una diferencia significativa de 0.001 con respecto al control.

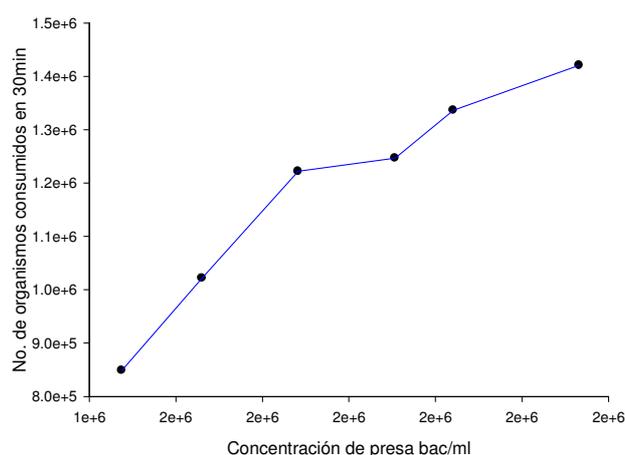


Figura 9. Respuesta funcional de tipo I

En la figura 9 Se observa el consumo de 10 organismos que se obtuvo con la especies de *Harpacorticoides* en diferentes diluciones (10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} y 10^{-8}).

7.4 Cladóceros

En la figura 10 se observa que el consumo de bacterias entre las cuatro especies de cladóceros probadas, existiendo una diferencia de <0.001 demostrando que existe una diferencia significativa, dentro de este grupo.

Variable	GL	SS	MS	F	P
Consumo por talla	1	0.335	0.335	87	<0.001
Residual	6	0.0232	0.00386		

Cuadro 10. Muestra que hay una diferencia significativa menor a 0.001 en el consumo de las diferentes especies de cladóceros.

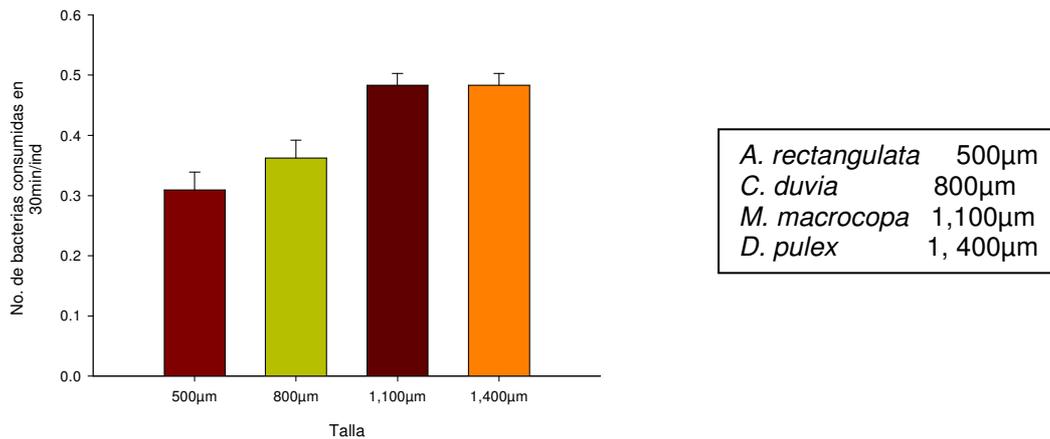


Figura 10. Consumo de *V. cholerae* por las diferentes especies de cladóceros probadas, dependiendo a su talla.

En la figura 11 se observa el consumo entre las diferentes especies de cladóceros con respecto a su talla; *D. pulex* y *M. macrocopa* obtuvieron un alto consumo y a su vez son los que presenta una talla mayor por lo que su capacidad de filtración es más alta en comparación con las especies de *A. rectangularata* y *C. duvia*.

En la figura 12 se observa que el consumo de bacterias entre las tres especies de cladóceros probadas en una dilución, de 10^{-12} , existe una diferencia de <0.001 demostrando que existe una diferencia significativa dentro del grupo de los cladóceros.

Variable	GL	SS	MS	F	P
Consumo por dilución de los cladóceros	4	2×10^{15}	5×10^{14}	12	<0.001
Residual	15	6×10^{14}	4×10^{13}		
Total	19	2×10^{15}			

Cuadro 12. muestra que existe una diferencia significativa menor a 0.001 entre las diferentes especies de cladóceros.

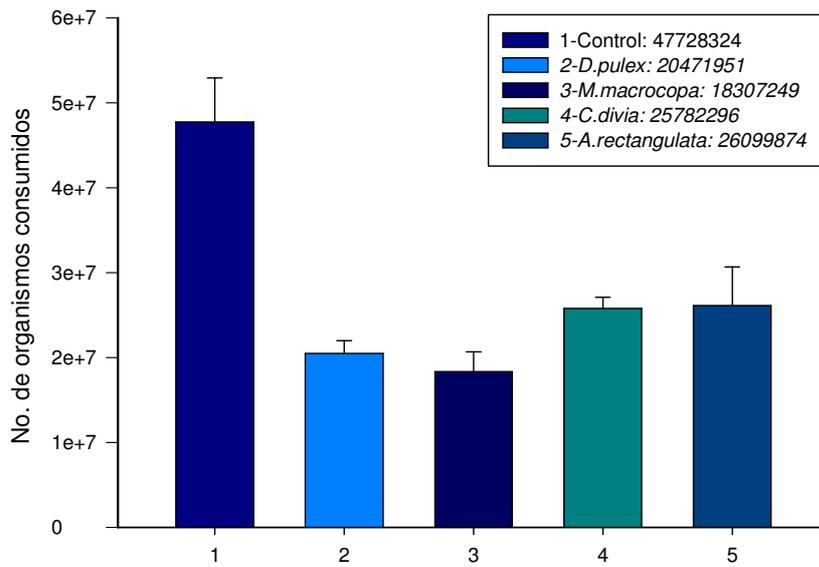


Figura. 11. Consumo de *V. cholerae* por las diferentes especies de cladóceros en una dilución de 10^{-12} .

En la figura 13 Se observa que la especie mas bacterívora fue *Daphnia pulex*: 20,4719 bac/ml seguida por *Moina macrocopa* 18,3072 bac/ml y las especies menos bacterívoras fueron *Cerodaphnia duvia*: 25,7822 bac/ml y *A. rectangulata*: 26,0998 bac/ml. El número de bacterias en el control fue de 4,772,8324 bac/ml.

En la Figura. 14 Se muestra el porcentaje de remoción de *Daphnia pulex* que hizo un consumo de 6,484 bac/ml (24%) con respecto al control en el que se obtuvo un conteo de 20,358 bac/ml (76%).

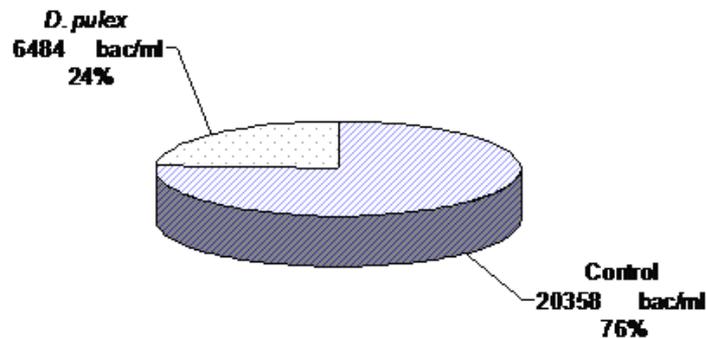


Figura 13. Porcentaje de remoción de *D. pulex*.

En la figura 15 Se muestra el porcentaje de remoción de *M. macrocopa* que obtuvo un consumo de 4,247 bac/ml (19%) con respecto al control que fue de 17,993 bac/ml (81%).

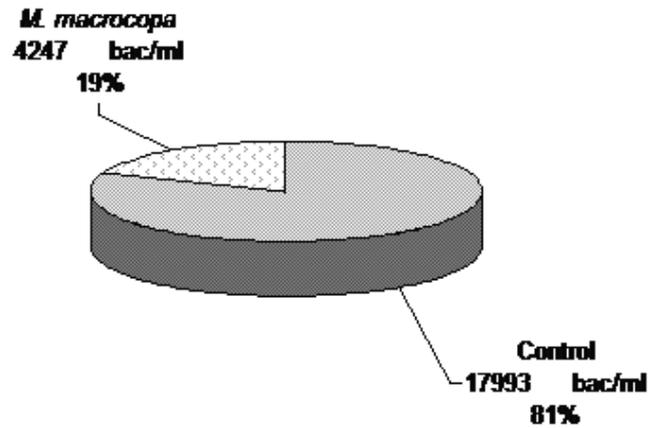


Figura 12. Porcentaje de remoción de *M. macrocopa*

7.5 Respuesta funcional de Cladóceros

En la figura 16 Se muestra el consumo que hubo con 10 organismos de cladóceros de la especie *Daphnia pulex* a diferentes concentraciones.

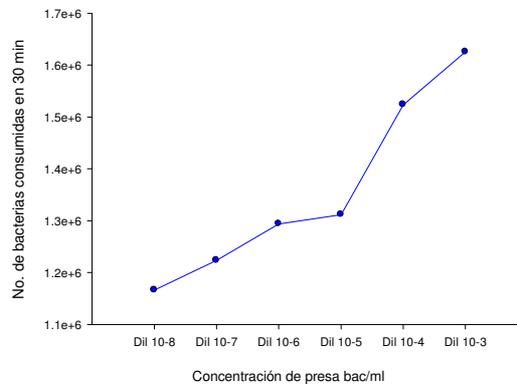


Figura 14. Respuesta funcional de tipo III de *D. pulex*.

En la figura 17 se observa que el consumo de bacterias entre las tres especies de cladóceros probadas en una dilución, de 10^{-12} , no existe una diferencia de 0.869 demostrando que no existe una diferencia significativa dentro del grupo de los cladóceros.

Variable	DF	SS	MS	F	P
Consumo por dilución de <i>M. macrocopa</i> .	5	1.3×10^{12}	2.7×10^{11}	0.355	0.869
Residual	12	9.4×10^{12}	7.8×10^{11}		
Total	17	1.08×10^{13}			

Cuadro.17. Muestra que no existe una diferencia significativa 0.869 entre las diferentes especies de cladóceros.

En las figura 18 se observa el consumo que se obtuvo con 10 organismos del grupo de cladóceros de la especie *M. macrocopa* en concentraciones diferentes

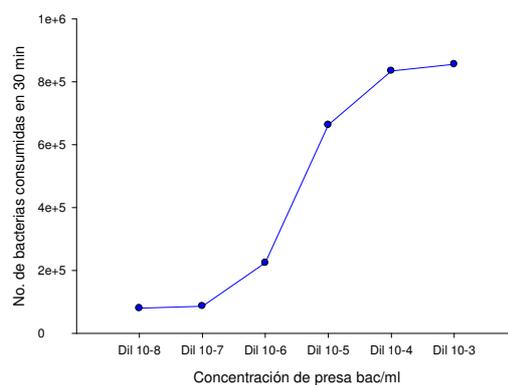


Figura 15. Repuesta funcional de tipo III de *M. macrocopa*.

8. Discusión

8.1 Rotíferos

En el presente estudio se demuestra la importancia de los rotíferos como consumidores de bacterias, principalmente en la especie de *B. havanensis* (74.2%) se observa un gran consumo puesto que es un depredador de algunas bacterias, en este caso sobre *V. cholerae*.

En segundo lugar esta el caso de *B. patulus* (77.3%) y coincide con lo que reporta Mendoza en el 2004 al observar en su trabajo experimental que esta especie era uno de los mejores bacterívoras en aguas residuales.

En tercer lugar se encuentra la especie *B. rubens* (85%), cuyos resultados coinciden con Waether et al., quien en 1979, observó que su capacidad de consumo muestra que el crecimiento poblacional y la reproducción se reduce al consumir solo bacterias. Trujillo en 2002 menciona que cuando están presentes en aguas residuales, su capacidad de sobrevivencia disminuye, llegando a 2.58 indiv. ml^{-1.5} por día.

Stemberger y Gilbert (1985) mencionan en su estudio, la relación que existe entre diferentes concentraciones de alimento, la tasa de crecimiento para algunas especies de rotíferos de diferentes tamaños y la relación significativamente positiva entre el tamaño corporal y la tasa de crecimiento poblacional; puntualizando que las especies mas pequeñas tienen un nivel de alimentación bajo como en el caso de *B. rubens*, los que parecen estar bien adaptados a vivir en ambientes con escasez de alimento, y puedan garantizar su alto potencial reproductivo.

8.2 Copépodos

En el caso de los copépodos el que mostró mayor consumo fue el *copépodo Harpacorticoides* con un 48.1% de consumo seguido por el *copépodo Cyclopoideo* 59.6% y el copépodo Calanoideo 56.07% esto se debe a que

estas tres especies se encuentran con abundancia en aguas residuales, puesto que su reproducción se ve favorecida comúnmente y su alimentación consiste de bacterias tales como *V. cholerae*.

Lewis (1980) menciona en su escrito que estos copépodos tienen un aumento sustancial en el tamaño sin que haya una probabilidad y un aumento en el gasto energético. El consumir sólo bacterias del género *Vibrio*, implica que estos organismos tengan reduzcan o tengan un cambio en su metabolismo.

8.3 Cladóceros

Por otra parte se encuentra el grupo de los cladóceros, dentro del cual se encuentran 4 especies que fueron probadas en este estudio, la primera fue *Daphnia pulex*, en la que se observó una mayor bacterivoría (42.8% de consumo) esto se debe a su comportamiento alimentario sobre altas concentraciones del recurso (Martínez, 2000). En sistemas donde este cladóceros domina en aguas residuales, la tasa de ingestión a cargo de *Moina macrocopa* (38% de consumo) mantiene altas tasas de filtración lo cual le permite procesar mayor volumen de agua de tal modo que mantiene niveles suficientes de ingestión de alimentos dentro del contexto de la teoría de optimización de recursos, estos individuos se comportarían como forrajeadores óptimos debido a que presentan altas tasas de ingestión en condiciones de baja disponibilidad de alimento .

Considerando que *M. macrocopa* puede crecer en aguas residuales crudas, se recomienda su uso para cosechar materia orgánica en los tanques de sedimentación de las plantas de tratamiento y al cosecharse el organismo puede usarse como alimento en la acuicultura, para larvas de peces de ornato y en un futuro su participación como control biológico de patógenos que afectan la salud humana (Aguilera, 2002).

Cerodaphnia dubia y *A. rectangula* fueron las menos bacterívoras, la primera con (54% de consumo) y la segunda (54.4% de consumo) en comparación con *D. pulex* y *M. macrocopa*, sin embargo en aguas residuales alcanzan 2 ind ml⁻¹ pero con menor resistencia a la contaminación; en el caso de *A. rectangula*,

que presentó menos consumo se debe a que en aguas residuales ha sido reportada con una densidad poblacional de 7 ind. ml⁻¹ manteniéndose 12 días constantes (Hernández, 2002) y produciendo 3 neonatos ml⁻¹, esta reúne una de las condiciones necesarias para su utilización en procesos de remoción en aguas negras crudas y particularmente en aguas tratadas (Aguilera, 2002).

En el presente estudio se realizaron una serie de gráficas donde se muestran las concentraciones iniciales contra la tasa de consumo de cada uno de los depredadores con respecto a cada presa, para obtener la respuesta funcional del número de presas que un depredador consume en función de la densidad de presas. La respuesta funcional como ya se había mencionado es la relación entre la densidad de la presa y el número de presas que ingiere un depredador por cada unidad de tiempo. Por lo general, en este estudio, los organismos presentan alguno de los tres tipos de respuesta funcional, lo que coincide con Silva, que en el 2008 reportó que las dos especies probadas: *P. multimicronucleatum* y *R. rotatoria* mostraron la respuesta funcional tipo I.

En la gráfica número 9 se observa una curva de tipo I, que es característica de organismos que consumen su alimento en una tasa proporcional a la tasa de disposición de alimento, esto significa que aumenta en forma lineal hasta un máximo y se mantiene constante el consumo a pesar del aumento de la densidad de la presa, este tipo de curvas lo presentan generalmente los organismos que son filtradores en este caso la especie *Harpacorticoides*.

En el caso de las especies de cladóceros que son *Moina macrocopa* y *Daphnia pulex* presentan una respuesta funcional de tipo III esto quiere decir que este tipo de organismos muestra un comportamiento de aprendizaje, esto es que bajo un mismo umbral de densidad los organismos no usan la presa para comida con gran intensidad sin embargo por arriba de los niveles del umbral de densidad los organismos incrementan su tasa de consumo de presa hasta un nivel de saturación (silva, 2008).

9. Conclusiones y recomendaciones.

Conclusión:

- La especie de rotífero más bacterívora fue *B. patulus*.
- Las especies de cladóceros más bacterívoras fueron *D. macrocopa* y *M. micrura*
- La especie de copépodo más bacterívora fue el copépodo *Harpacticoides*.
- En comparación con las tres especies probadas los rotíferos obtuvieron un menor consumo seguido por los copépodos, sin embargo los cladóceros obtuvieron un mayor porcentaje de consumo.
- Se demostró que las especies de cladóceros (*D. pulex* y *M. macrocopa*) son los mejores consumidores de bacterias en aguas residuales.
- La especie de Harpacorticoides presentó una respuesta funcional de tipo I
- Las especies *Moina macrocopa* y *Daphnia* presentaron una respuesta funcional de tipo III

Recomendación:

- Tal como se demuestra en este estudio, las dos especies de cladóceros (*D. pulex* y *M. macrocopa*) y los copépodos (Harpacorticoides) fueron las más bacterívoras por lo que se recomienda utilizarlas como tratamiento alternativo para aguas residuales.

Anexo I

Técnica de Epifluorescencia DAPI

1.-Se monta el equipo Millipore en un matraz Kitasato, se conecta a vacío por medio de una manguera de látex, se utilizan membranas de policarbonato de 0.22 μ m de tamaño de poro y 25mm de diámetro.

2.-con una pipeta serológica estéril de 1 ml se toma 0.5 ml de muestra fijada y 0.5 ml de agua de la llave estéril obteniendo en total 1 ml y se colocan dichas cantidades en el equipo Millipore.

3.-Se realiza un filtrado de aproximadamente 0.5ml se agrega con una micro pipeta 50 μ l de solución DAPI se deja reaccionar de 5 a 10 minutos y se continua con el filtrado hasta que la membrana quede un poco húmeda. La membrana no debe succionarse en demasía pues puede perderse la muestra.

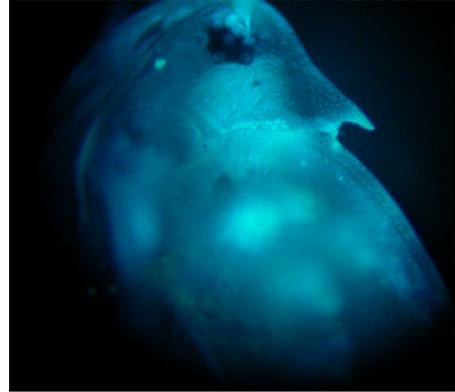
4.-Retirar la membrana con las pinzas y colocarla sobre un portaobjetos al cual se le coloca una gota de aceite de inmersión no fluorescente previamente y otra después de colocar la membrana, se coloca el cubreobjetos y otra gota de aceite para posteriormente observarse al microscopio de fluorescencia a 100x.

Anexo II

Cladóceros



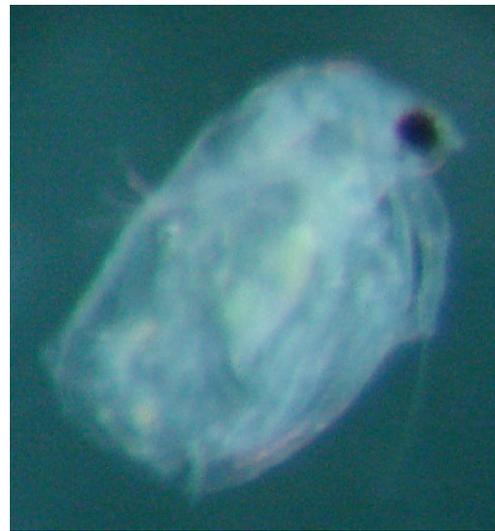
Daphnia pulex.



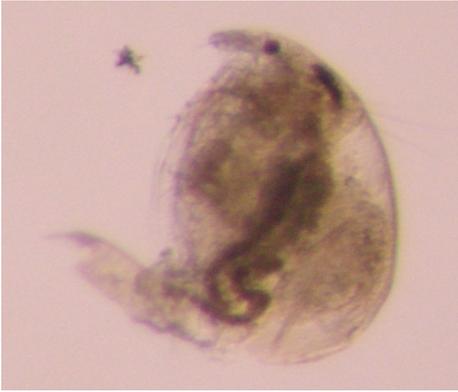
Daphnia pulex teñida con DAPI



M. macrocopa.



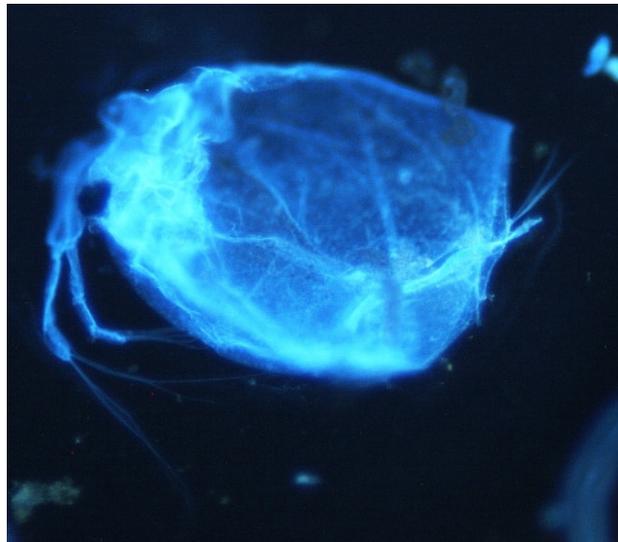
M. macrocopa teñida con DAPI.



Alona rectangularis.



A. rectangularis teñida con DAPI.



Ceriodaphnia dubia teñida con DAPI.

Rotíferos

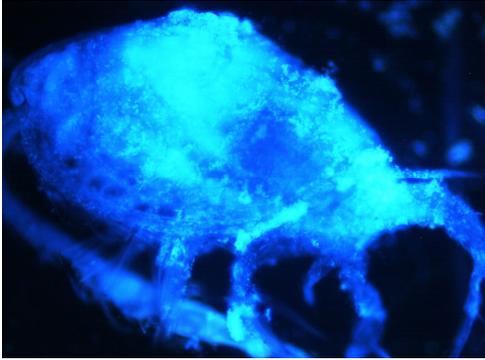


B. havanaensis teñido con DAPI.

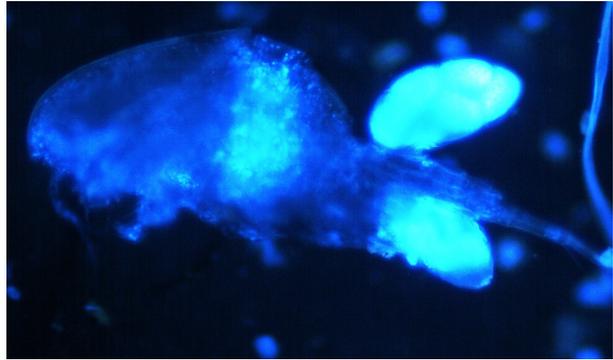


B. patulus teñido con DAPI.

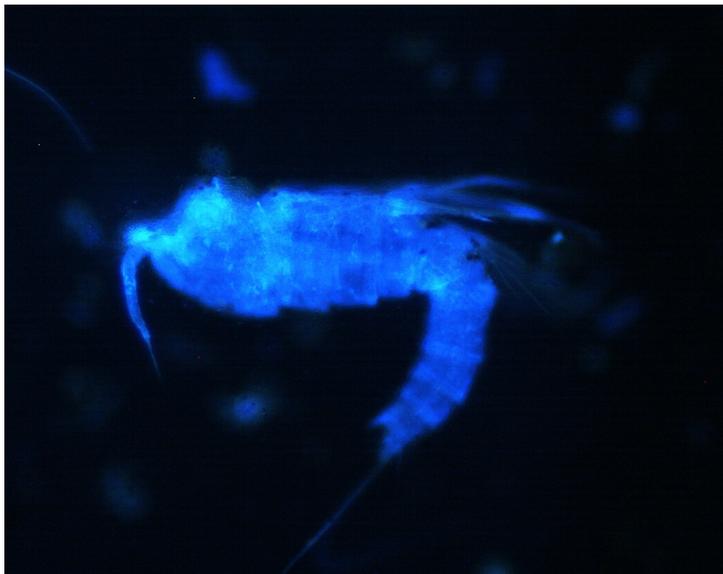
Copéodos



Calanoideo teñido con DAPI.



Ciclopoideo teñido con DAPI.



Harpacorticoides teñido con DAPI.

10. Literatura citada

- Aguilera, L. D. 2002. Dinámica poblacional de cuatro especies seleccionadas de cladóceros realizadas en agua residuales urbanas particularmente tratadas. (Tesis profesional) Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM.
- Arévalo, S., S.S.S Sarma y S. Nandini. 1998. Population dynamics of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera: Brachionidea) in waste water from food-processing industry in Mexico. *Biol. Trop.* Vol.43 Pp. 595-600.
- Asish, M., Soumen C., Yoshifumi T. G., Balakrish N., Douglas E. 2001. Characterization of VPI pathogen city island of *Vibrio cholerae*. *Journal Bacteriology*. Pp. 4737-4746.
- Bahena, A. A. 2005. Revisión de los estudios sobre producción del zooplancton para su uso posterior en efluentes de aguas residuales tratadas. (Tesis profesional) Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM.
- Brito, D., Milani N., Pereira G. 2006. Tasa de filtración e ingestión de *Simocephalus vetulus* Muller, 1776 crustácea cladóceros) alimentado *Selenestrum capricornutum* PRINTZ, 1914 Y *Chlorella vulgaris*. BERIJERINCK. Pp.189.
- Borroto, J. R. 1997. La ecología de *Vibrio cholerae* serogrupo O1 en ambientes acuáticos. Panamericana. Salud Pública /Pan. Pp. 1.
- Cecodes, 1981. Laguna costera de tabasco un ecosistema en peligro centro de desarrollo pp.109.
- Lewis, J. R. 1980. The Nature and Ecological Significance of Metabolic Changes During the Life History of Copepods. *Ecology*. Vol. 61.No. 2 pp. 259-264.

- Estep, K.W., Maureen. P. G., Keller. D. Sieburth. M. J.1996. How important are oceanic algal nanoflagellates in bacterivory. *Limnology and oceanography*. Vol.31 No.2.Pp.420-426.
- Fryer, G. 1968. Evolution and Adaptive Radiation in the Chydoridae (Crustacea: Cladocera): A Study in Comparative Functional Morphology and Ecology. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Sciences*. Vol. 254.No. 795. Pp. 221-385.
- Gilbert, J. J. 1985. Competition between Rotifers and Daphnia. *Ecology*. Ecological Society of America Stable. Vol. 66. No. 6. Pp. 1943-1950.
- Gosse, P. H. 18857. On the Dioecious Character of the Rotifera. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Vol. 147. Pp. 313-326.
- Herrera, G. M. L. 1992. Medidas de calidad de agua potable en la ciudad de México en un periodo de 9 meses. (Tesis profesional) Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM.
- Ibarra, M. M. R. 2000. Evaluación de la calidad de bacteriológica y fisicoquímica de la Laguna Negra, Puerto Marqués Gro. México. (Tesis profesional) Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM.
- Kondrashov, S.A. 1997.Evolutionary Genetics of Life Cycles. *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol. 28. Pp. 391-435.
- Martinez, F. y Gonzales. R. 1994. Effect of food concentration on the chronic toxicity of Sodium dodecyl sulphate to *Daphnia macna*. *Journal of Aquatic Ecolosystem*. Pp. 247-252.
- Martinez, 2000. Conducta alimentaria de *Daphnia ambigua* Scourfield 1947, *Moina micrura* Kurz 1874 y *Cerodaphnia dubia* Richar 1985 cladocera. Chile. *Historia natural*. Pp.1-9.

- Martinez, P. M,E. 2002. Reduccion de la presencia de *Vibrio cholerae* por bacterivoria de protozoo-plancton en el medio acuático. (Tesis de maestria). Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM.
- McMacnus, G.B y Fuhrman A.1986. Bacterivory in seawater stied with the use of inert Fluorescent particles. Limology and oceanography. Vol. 31 No.2. pp. 420-426.
- Mendoza, M.S. N. 2004. Bacterivora de Rotíferos y Cladóceros en Aguas Residuales Municipales. (Tesis profesional) Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM.
- Mohr, S. 2000. Functional Responses of the Rotifers *Brachionus calyciflorus* and *Barchonus rubens* Feeding on Armored and Unarmored Ciliates Limnology and Oceanography. Vol. 45. No. 5. Pp. 1175-1180.
- Nandini, S y S.S.S. Sarma. 2001. Competition between *Moina macocopa* and *Ceriodaphnia dubia* a life table demography study. International. Rev. Hydrobiology.
- Nandini, S y Sarma. S.S.S 2001. Competition between *Moina macocopa* and *ceriodaphnia dubia* a life table demography study. International Rev. Hydrobiology.
- Nandini, S., Aguilera-Lara D., Sarma. SSS., Ramírez. G. P. 2004. La capacidad de las especies de cladóceros seleccionados para utilizar las aguas residuales domésticas en la Ciudad de México. México. Journal Of. Environmental Management. Vol. 1. No.1. Pp.59-65.
- Nye, M. B James D. Pfau. D. J, Skorupski. K. 2000. *Vibrio cholerae* H-NS, silences virulences Gene exprecion at multiple steps in the TOXR regulatory cascade. Journal bacteriology. Vol.182.N.15. Pp. 4295-4303.

- Olesen, N. J., Frandsen. K. y Riisgard. V. H. 1994. Population dynamics, Growth and energetics of Jellyfish *Aurelia aurita* in a shallow fjord. Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 105. Pp. 9-18.
- Palijan, G. y Fuks. D. 2006. Alternation of factors affecting bacterioplankton abundance in the Danube River Floodplain (Kopacki Rit, Croatia) hydrobiology. Vol. 560. Pp. 405-415.
- Prados, F y Furones. M. D. 2003. Patología bacteriana en piscicultura. SEM. Barcelona. Vol. 34. Pp.21.
- Ramírez, A. I. 2002. Estudio bacteriológico y fisicoquímico de la calidad del agua de la Laguna de Mecoacán Tabasco México. (Tesis profesional) Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM.
- Ramalho, R. S. 1996. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté. España. Vol. 76. Pp. 585-697.
- Rejas, D., Muylaert. K. y Meester. D. 2002. First data on the microbial community in an Amazonian várzea lake in Bolivia (Laguna Bufeos, Cochabamba). Ecol. Vol.37 No.2.Pp. 51-63.
- Rheiner, G. 1987. Microbiología de las aguas. Acriba. 4ta.Zaragoza. España. Pp.251.
- Riquelme, C. E y Herrera 2003. Interacción bacteria – microalga en el ambiente marino y uso potencial en acuicultura. Chile. Historia. Natural. Vol. 76. No.4.
- Roche, K. F. 1995. Growth of the Rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas in dairy waste stabilization ponds. Vol. 29. No.10. Pp. 2255-2260.
- Roche, K.F. 1987. Growth potencial biology and taxonomy. Alemania.

- Roche, K.F. 1998. Growth potential of *Daphnia magna* Straus in the water of dairy waste stabilization ponds. Vol. 32No. 4. Pp. 1325-1328.
- Rosales, M.C. 2005. Evaluación de la calidad bacteriológica de los canales de Xochimilco y caracterización serológica de *Escherichia coli*. (Tesis profesional) Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM.
- Ruppert, E. E. y Barnes, D. R. 1996. Zoología de los invertebrados. Mc Graw-Hill interamericana. Sexta edición. México. Pp. 306-316.
- S.S.S, Sarma., Trujillo. H. H. y Nandini Sarma.2002. Population growth of herbivorous rotifers and their predator (*Asplanchna*) on urban wastewaters. México. Journal Of Environmental Management. Vol. 37.Pp.243-250.
- Sanders, R.W., Porter K.G., Benetts. J., Debiase. A.E. 1989. Sesonal pattern of bacterivory by flagellates ciliates rotifers, and cladoceras in a fresh water planktonic community.Limnology and oceanography. Vol. 34. No.4. Pp.673-687.
- Source, F. G. 1957.The Food of Some Freshwater Cyclopoid Copepods. Ecological Significance. Journal of Animal Ecology. Vol. 26. No. 2. Pp. 263-286.
- Silva, R. A. C. 2008. Evaluación comparativa de la capacidad depredadora de *Paramecium multimicronucleatum* K y *Rotaria rotatoria* sobre poblaciones de enterobacterias. (Tesis de maestria). Facultad de ciencias. UNAM.
- Thorp, J. P y Covich. A. P 1991. Ecology and classification of North American Freshwater invertebrates. Academic press, San Diego. Pp.911.
- Wetzel, R.C.1981. Limology. Omega. Barcelona. Pp. 679.

Velázquez, D. C. A .1992. Estudio preliminar para determinar la presencia de *Vibro cholerae* 01 en agua salubre y alimentos marinos frescos en la zona de Veracruz, Puerta Boca del Río–Mandinga. Instituto Tecnológico Pesquero. Lima. Pp. 33-35

Literatura citada de Internet.

www.agua.org.mx

www.esd.worldbank.org

www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/279/cap46.htm

www.planeta.com/ecotravel/mexico/ecologia/97/0897/agua2.html

www.semarnat.gob.mx,2007

www.CNA.2001

www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=742

<http://www.mblaquaculture.com/content/organisms/daphnids.php>

<http://aquagarden.iespana.es/articulodaphnia.htm>

<http://www.asturnatura.com/articulos/artropodos/ostracod.php>

www.aquasense.nl/NR/exeres/B591E180-C2F0-420A...