



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

“EFECTO DE DOS METALES PESADOS (CADMIO Y ZINC),
COMBINADOS Y SEPARADOS SOBRE EL CRECIMIENTO
POBLACIONAL DE *Brachionus havanaensis* (Rotifera)”.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A :
MARISSA FERNANDA DEL CARMEN JUÁREZ FRANCO

DIRECTOR DE TESIS: Dr. S. S. S. SARMA



LOS REYES IZTACALA, ESTADO DE MEXICO.

2005



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 mi madre Lucina Franco
Por haber sido un ejemplo de fuerza
y superación, gracias por tu
confianza, por tu apoyo y por
sacarnos adelante.

A mi abuela Tomy por haberme
brindado, los cuidados y los valores
que me ayudan a ser mejor ser
humano

A mis hermanos Ana Paola y
Horacio por ser mis compañeros
durante todos estos años

A Mario Alberto Rodríguez por su
apoyo, consejos y cariño durante
todo este tiempo.

A mi sobrino Fernando por alegrar
nuestra vida

Agradecimientos

Doy gracias a Dios por poner en mi camino a muchas personas que sin su apoyo nunca hubiera podido llegar hasta aquí, para ustedes, aunque no las mencione a todas, mi cariño y mi mayor gratitud.

A Julio Cesar Montero por estar conmigo en los momentos más difíciles, sin ti esto no hubiera sido posible, mil gracias.

A Erika y John Meyer por su amistad y apoyo para continuar mi carrera.

A mis amigos:

La Banda: Víctor Vega, Omar Rodríguez, Ricardo Sánchez e Isabel, por su amistad, sus porras y su apoyo.

A Guadalupe González, Martín Vázquez, Marco Rodríguez, Alejandro Juárez, Ana Minor, Mari, Laura y a todos mis compañeros y maestros con quienes compartí una época muy importante y una de las mejores experiencias de mi vida.

Quiero dar gracias especiales al Dr S.S.S. Sarma por su ayuda, enseñanzas y paciencia durante la elaboración de este trabajo.

A mis sinodales por sus consejos y tiempo dedicado durante la revisión de este trabajo a la Dr Nandini Sarma, Dr. Sergio Chazaro, Dr. Pedro Ramírez y especialmente al M en C. José Luis Gama por sus consejos y compañía durante la fase experimental.

También agradezco a mis compañeros de zoología acuática, Lucia Pavón, Iris, Carmen, Sara y Alejandro por sus consejos y amistad que hicieron más ligero el trabajo de laboratorio.

Indice

Resumen	1
Introducción	2
Antecedentes	10
Justificación	12
Hipótesis	13
Objetivos	13
Material y Métodos	14
Toxicidad Aguda	14
Toxicidad Crónica	15
Resultados	17
Efectos del Cadmio	19
Efectos del Zinc	24
Efectos de las Mezclas	29
Discusión	35
Conclusiones	47
Referencias citadas	49

Resumen

El incremento de metales pesados que llegan a los cuerpos de agua afectan a las diferentes formas de vida presentes en ellos, por lo que es importante evaluar el impacto que se provoca en estos organismos mediante pruebas de bioensayo que son cada vez más necesarias. Este trabajo utiliza al rotífero *Brachionus havanaensis* como modelo bioindicador para dichas pruebas, se realizaron ensayos de crecimiento poblacional con esta especie en un medio contaminado con metales pesados uno con Cadmio (Cd), otro con Zinc (Zn) y con las mezclas de ambos metales.

Se obtuvo 0.42 mg l^{-1} para Cd de CL_{50} y para Zn de 2.3 mg l^{-1} así como los parámetros de: crecimiento poblacional, día de mayor abundancia, la abundancia máxima y la tasa de incremento poblacional (r) para cada tratamiento. La abundancia máxima de *B. havanaensis* en el testigo fue alrededor de 400 ind. ml^{-1} mientras bajo diferentes concentraciones de los tóxicos esta cantidad disminuyó hasta 4 ind ml^{-1} . El incremento de Zn y Cd en el medio reduce la r . Por ejemplo cuando aumenta la concentración desde 0.07 mg l^{-1} a 0.14 mg l^{-1} de Zn, la tasa decreció en un 45%, lo mismo ocurre con las mezclas de ambos metales pesados. Además de presentar un efecto antagónico entre ellos pues se observó que el Cd disminuye el efecto tóxico del Zn.

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 los límites de descarga máximos permisibles para metales pesados son para cadmio entre 0.1 y 0.2 mg l^{-1} y para zinc entre 10 y 20 mg l^{-1} sin embargo como se muestra en esta investigación aunque los límites para cadmio son adecuados pues en dichas concentraciones se presenta crecimiento poblacional, en el caso de zinc las concentraciones propuestas son muy elevadas pues la especie *B. havanaensis* no presenta crecimiento poblacional a partir de concentraciones de 0.575 mg l^{-1} . Este estudio demostró que, *Brachionus havanaensis* como organismo de bioensayo para evaluar los metales pesados en cuerpos de agua dulce, es una buena alternativa como organismo indicador pues mostró gran sensibilidad a los tóxicos.

Introducción

El incremento de la industrialización, la urbanización, la deforestación y el crecimiento de la población demanda cada vez una mayor cantidad de productos tanto de la industria como de la agricultura, éstos son algunos de los factores responsables de la descarga de sustancias tóxicas en el suelo, el aire y en los cuerpos de agua tanto continentales como marinos, generando un grave problema de contaminación en el mundo entero y México no es la excepción (Sarma, 1996). Las sustancias tóxicas se presentan en diversas formas entre las que se pueden destacar a los metales pesados denominados así por ser elementos cuya densidad es mayor a 5g ml^{-1} que son en general todos los metales y metaloides con excepción de los alcalinos y los metales alcalino térreos. En las últimas décadas se ha incrementado la contaminación de la atmósfera, los ríos, los océanos y los suelos por metales pesados, como consecuencia de la actividad industrial y la explotación minera (Cervantes *et al.*, 1999).

Desde el punto de vista biológico los metales pueden dividirse en los siguientes cuatro grupos

- 1.- metales esenciales para los procesos biológicos como el cobre, zinc, cromo, manganeso y cobalto. Los cuales se conocen como microelementos
- 2.- metales probablemente insertos en los sistemas vivientes.- aluminio y zirconio.
- 3.- metales poco tóxicos para algunos procesos de la vida como el arsénico
- 4.- metales tóxicos.- cadmio, mercurio y plomo.

Desde el punto de vista de la contaminación ambiental, los metales pueden clasificarse dentro de tres tipos

- a) No –críticos: Na, K, Mg y Ca.
- b) Tóxicos pero muy raros, Ba, Ti y Zr.
- c) Tóxicos y fácilmente accesibles Hg, Ag, Pb y Cd. (Salomons *et al.*, 1995).

Para la mayoría de los organismos es extremadamente tóxica la exposición a altas concentraciones de metales pesados como el Cd, Hg, Cr, Ni y Pb. Los iones metálicos tóxicos suelen penetrar a las células a través de los mismos sistemas de captación que utilizan los iones metálicos fisiológicamente importantes como Ca, Mg, Cu y Zn. Dentro de la cadena alimentaria, los organismos fotosintéticos son las principales vías de acceso de los metales pesados hacia los animales y el ser humano. El incremento en los valores de los metales pesados en la biosfera, es el resultado de perturbaciones originadas por el hombre en el medio ambiente o por fenómenos geológicos. (Cervantes *et al.*, 1999)

La toxicidad letal de los metales varía conforme a los organismos y esta es comúnmente expresada como la concentración media letal (CL₅₀) la cual es la concentración en una solución necesaria para matar al 50% de la población de prueba en un periodo determinado de tiempo. La dosis letal 50 (DL₅₀) y la concentración letal 50 (CL₅₀) son los parámetros toxicológicos convencionales que se utilizan para evaluar la toxicidad de una molécula. En ecotoxicología estos parámetros pueden significar poco o nada sobre los riesgos a las poblaciones ya que los efectos subletales pueden ocasionar mayores impactos sobre los individuos de una población (INE, 2004).

Uno de los metales pesados que se han identificado como uno de los más dañinos es el cadmio (Cd) y las disoluciones de sus compuestos ya que son altamente tóxicos, con efectos acumulativos similares a los del envenenamiento por mercurio. El Cd es un elemento metálico blanco plateado que se puede moldear fácilmente. El número atómico del cadmio es 48; es uno de los elementos de transición del grupo 12 (o IIB) del sistema periódico, ocupa el lugar 65 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. Tiene un punto de fusión de 321 °C, un punto de ebullición de 765 °C y una densidad de 8,64 g/cm³; la masa atómica del Cd es 112,40 (Salomons *et al.*, 1995).

El Cd disminuye el punto de fusión de los metales con los que forma aleaciones; se usa con plomo, estaño y bismuto en la fabricación de extintores, alarmas de incendios y de fusibles eléctricos. También se utiliza una aleación de cadmio, plomo y zinc para soldar el hierro. Las sales de cadmio se usan en fotografía y en la fabricación de fuegos artificiales, caucho, pinturas fluorescentes, vidrio y porcelana. El Cd se ha utilizado como material de control o protección en las plantas de energía, debido a su capacidad para absorber neutrones de baja energía. El sulfuro de cadmio se utiliza en un tipo de pila (batería) fotovoltaica, y las pilas eléctricas de níquel-cadmio tienen habitualmente usos especializados. (Salomons *et al.*, 1995).

Existen otros metales que aunque en pequeñas cantidades son esenciales para los organismos en mayores concentraciones pueden ser nocivos como el Zinc (Zn) que es un elemento metálico blanco azulado que tiene muchas aplicaciones industriales. Es uno de los elementos de transición del sistema periódico; su número atómico es 30. Tiene un punto de fusión de 420 °C, un punto de ebullición de 907 °C y una densidad relativa de 7.14. Su masa atómica es 65.38. Ocupa el lugar 24 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. No existe libre en la naturaleza, sino que se encuentra asociado con otros minerales. Las menas utilizadas más comúnmente como fuente de Zn son la esmitsonita y la esfalerita.

El metal se usa principalmente como capa protectora o galvanizador para el hierro y el acero, y como componente de distintas aleaciones, especialmente del latón. También se utiliza en las placas de las pilas (baterías) eléctricas secas, y en las fundiciones a troquel. El óxido de zinc, conocido como zinc blanco, se usa como pigmento en pintura. También se utiliza como rellenedor en llantas de goma y como pomada antiséptica en medicina. El cloruro de zinc se usa para preservar la madera y como fluido soldador. El sulfuro de zinc es útil en aplicaciones relacionadas con la electroluminescencia, la fotoconductividad, la semiconductividad y otros usos electrónicos; se utiliza en los tubos de las pantallas de televisión y en los recubrimientos fluorescentes (Salomons *et al.*, 1995).

En México se han realizado pocos estudios dirigidos a evaluar la toxicidad de metales, así como para conocer las concentraciones presentes en los cuerpos de agua. (Cervantes, *et al.*, 1999). Sin embargo existe un interés creciente por el desarrollo de un procedimiento estandarizado para la evaluación ecotoxicológica de las sustancias. Esto exige el desarrollo de una serie de pruebas biológicas (batería de bioensayos) para medir directamente los efectos tóxicos en los organismos y en los ecosistemas (INE, 2005)

Estos procedimientos han sido ampliamente utilizados desde hace varios años en otros países donde forman parte de su normatividad ambiental y su uso ha significado avances importantes para la protección del ambiente. Contar con estos procedimientos traería los mismos beneficios para México; sin embargo, estas pruebas no pueden aplicarse tal cual se hace en otros países, ya que es indispensable tomar en cuenta las características propias de nuestro país y la elección de las especies útiles de acuerdo a su representatividad ecológica (INE, 2005),

El actual uso del cladóceros *Daphnia magna* como organismo de prueba para ensayos de toxicidad aguda aunque es aceptada por la comunidad científica internacional, esta especie no es originaria de México. Es una especie introducida y por lo tanto no se encuentra fácilmente en todos los cuerpos de agua que reciben desechos industriales (Sarma, 1996). Aunque en la mayoría de pruebas toxicológicas se ha empleado esta especie, también se han utilizado otros grupos como los rotíferos aunque en una considerablemente menor medida siendo *Brachionus calyciflorus* la especie más utilizada según la lista del Pesticide Action Network seguida de *B. plicatilis* (PAN,2005)

Sin embargo, los rotíferos son buenos organismos de prueba para bioensayos partiendo de una serie de características que los hacen un buen bioindicador las cuales se citan a continuación:

Para investigación básica

- Amplia distribución: Lo que le da una mayor disponibilidad para su colecta
- Alta diversidad: Que permite conocer la evolución en este grupo
- Cuerpo transparente: Esta característica permite entender la estructura anatómica y detectar alteraciones causadas al organismo
- Alto consumo y asimilación eficiente: Con lo que se pueden conocer sus estrategias de alimentación
- Rápida tasa metabólica: Lo que permite una rápida rotación de nutrientes
- Por el tamaño de su cuerpo y de su huevo pueden ser fácilmente manipulados: para conocer su plasticidad fenotípica.

Para investigación en el área de contaminación acuática:

- Indicadores sensibles de cambios en el ambiente: Por lo que se sugiere su uso como bioindicador
- Responde rápidamente a cambios en el ambiente: Por ello pueden ser estudiadas las variables en su historia de vida
- Capaces de crecer en aguas residuales: Pueden utilizar los residuos orgánicos y así reducir la contaminación orgánica

Los rotíferos son animales dulceacuícolas muy comunes. Aunque existen especies marinas y varias de ellas viven en los musgos, la mayor parte habita aguas dulces. Se han descrito más de 2000 especies (Koste, 1978) y casi todas tienen muy amplia distribución. La mayor parte de los rotíferos miden de 100 μm a 1000 μm de largo. Se trata de organismos solitarios libres nadadores, aunque algunas formas son sésiles, coloniales y existen algunas más que son epizóicas ó parásitas. El cuerpo por lo general es transparente,

aunque algunos rotíferos son verdes, anaranjados, rojos o color marrón debido a la coloración de su aparato digestivo (Nogrady *et al.*, 1993).

El cuerpo largo o saquiforme de estos organismos, relativamente cilíndrico, se divide en una corta región anterior, un grueso tronco que integra la mayor parte del cuerpo, y un pie terminal. El extremo anterior ancho o angosto forma la región cefálica y ostenta un órgano ciliado denominado corona, característico de todos los miembros del Phylum. El tronco representa la mayor parte el cuerpo. La cutícula suele estar engrosada y forma una cubierta conspicua llamada lórica. Esta última puede estar dividida en varias placas bien definidas o en secciones con forma de anillo, y comúnmente está ornamentada con rebordes, espinas o apéndices articulados. Las espinas pueden ser largas y en algunos rotíferos son móviles (Barnes, 1989). La porción terminal del cuerpo, o pie, es mucho más angosta que la región del tronco. El extremo del pie suele tener de una a cuatro protuberancias llamadas dedos. En los rotíferos reptantes y sésiles el pie sirve como órgano de fijación (Ville *et al.*, 1987).

La boca de los rotíferos es ventral y suele estar rodeada por parte de la corona. La boca puede continuar directamente con el mástax o bien hay un tubo bucal ciliado entre ambas estructuras. El mástax es característico de todos los rotíferos y su estructura es una peculiaridad distintiva del phylum (Barnes, 1989). Dicha estructura puede ser oval o larga y bien musculada. Se compone de siete piezas cuticularizadas, un fulcrum, dos rami, dos uncis, y dos manubrio. El mástax sirve para la captura y trituración del alimento y, por consiguiente, su estructura varía según el tipo de comportamiento alimenticio del organismo (Gardiner, 1978).

Es indudable que el gran éxito ecológico de los rotíferos está correlacionado en buena medida con sus adaptaciones reproductivas. Casi todos los grupos tienen partenogénesis y en la mayor parte de las especies sólo se observan machos en determinadas épocas. Esto significa que la mayor parte de las poblaciones de rotíferos son hembras. (Barnes, 1989).

En los monogonontes se producen varios tipos de huevos, uno de esos tipos, llamado huevo amíctico, tiene cascarón delgado, no puede ser fecundado y por partenogénesis produce una hembra amíctica. Durante la maduración no hay meiosis típica y los huevos son diploides. Un segundo tipo, llamado huevo míctico también tiene cascarón delgado pero es haploide. Si no hay fecundación estos huevos producen machos por partenogénesis, pero si son fecundados secretan cascarones gruesos y resistentes. Los huevos fecundados se llaman latentes y, a diferencia de los mícticos y amícticos no fecundados que eclosionan en pocos días, soportan deshidratación y otras condiciones adversas y no eclosionan por varios meses o incluso años. Los huevos latentes dan origen a hembras (Barnes, 1989).

El Phylum esta dividido en tres clases: *Seisonidea*, *Bdelloidea* y *Monogononta*, esta última son rotíferos con un ovario (del griego monos = uno y gonía = reproducción). Mástax nunca ramado; machos más o menos reducidos estructuralmente; nadadores o sésiles (Gardiner, 1978).

La clase Monogononta se divide a su vez en tres órdenes *Flosculariaceae*, *Collothecaceae* y *Ploima*, esta última se caracteriza por ser buenos nadadores. Cuerpo a menudo corto y en ocasiones en forma de saco. Este orden contiene a la mayor parte de los rotíferos (Gardiner, 1978; Barnes, 1989).

Familia Brachionidae: Es de gran importancia en el plancton. Los brachionidos son especialmente frecuentes y muchas veces abundantes en las aguas dulces y salobres mexicanas. Presentan mástax maleado. Se encuentra formada por 7 géneros que son *Anuraeopsis*, *Brachionus*, *Kellicottia*, *Keratella*, *Notholca*, *Paranuraeopsis* y *Platyias* (Koste, 1978).



Figura 1.- Hembra de *Brachionus havanaensis* adulto. Línea de escala indica 100 μm

B. havanaensis: Rosselet. Mide 135 – 390 micrómetros de longitud, Planctónico, es muy variable su intervalo de talla, tiene una marcada variación en la longitud de las espinas occipitales y posteriores, la espina derecha siempre es más larga que la izquierda, algunas veces ligeramente, otras más acentuada. Koste (1978) opina que están presentes en aguas alcalinas y eutróficas, es una de las especies de amplia distribución en la República Mexicana siendo reportada en varios estudios que sobre diversidad se han hecho en nuestro país (Serranía Soto *et al.*, 2003, Flores Burgos *et al.*, 2003). Es característica de las regiones neártica y neotropical, y típica del continente americano (Flores Burgos, 1997).

Antecedentes

Coullar *et al.*, (1988) (citado por Snell y Janssen, 1995), evaluó la toxicidad aguda relativa de seis metales utilizando como organismo de prueba a *Brachionus calyciflorus*. Obtuvo que el Hg, Cu, y Cd tienen un grado de toxicidad mayor que el Zn, Fe y Mn. Reporto para el Cd una CL₅₀ de 0.65 mg l⁻¹.

Snell y Janssen (1995) compilaron datos a nivel mundial sobre ecotoxicología en rotíferos. Reportaron para *Brachionus rubens*. para el Cd una CL₅₀ de 0.81 mg l⁻¹ Concluyeron que la especie dulceacuícola de estudio *B. rubens* fue más sensible que el rotífero marino *B. plicatilis* a todas las sustancias probadas.

Gama-Flores *et al.* (1999), evaluaron el crecimiento poblacional de *Brachionus calyciflorus* en presencia de diferentes concentraciones de paratión metílico y diferentes concentraciones de *Chlorella vulgaris*, determinaron la tasa de incremento poblacional.

Sarma *et al.* (2000) realizaron un estudio donde compararon la sensibilidad de *Brachionus calyciflorus* y *Brachionus patulus* a metales pesados (Cu, Cd y Hg) con niveles altos y bajos de alimento (*Chlorella vulgaris*); los resultados demostraron que la densidad de alimento y el tipo de metal pesado tiene una influencia significativa sobre los valores de la toxicidad letal media (CL₅₀).

Sarma *et al.* (2001) realizaron otro estudio donde analizaron el efecto combinado del mercurio (Hg) y la densidad de alimento (*Chlorella*) sobre la dinámica poblacional de *Brachionus patulus*. Concluyó que la densidad de la población y la r se afectaron significativamente por el nivel de alimento, concentración del mercurio y su interacción

Núñez Cruz (2002) evaluó el efecto de dos metales pesados (cadmio y mercurio) sobre el crecimiento poblacional de *Brachionus rubens*. Se obtuvo la concentración letal media (CL₅₀) de 0.84 mg l⁻¹ para el cadmio y de 0.034 mg l⁻¹ para el mercurio. Con base en los datos obtenidos concluyó que *B. rubens* fue más sensible al HgCl₂ que al CdCl₂, tanto cuando se adicionó al medio, como en el caso donde el alga fue previamente expuesta al metal.

Luna Andrade *et al.* (2002) analizaron el efecto del cobre y diferentes concentraciones de la microalga *Tetraselmis suecica* en el rotífero *Brachionus plicatilis* obteniendo densidades poblacionales de 75 ind ml⁻¹ a 25 ind ml⁻¹ concluyendo que este metal es muy tóxico para la especie pero entre mayor es la concentración de alimento la toxicidad del Cu disminuye.

Recientemente Gama-Flores *et al.* (2004) realizaron pruebas de toxicidad aguda y crónica para el rotífero *Brachionus angularis* con el tóxico paratión metílico. Obteniendo una CL₅₀ de 0.63 mg l⁻¹ y notaron que ésta se eleva en presencia de alimento.

En cuanto a la especie *B. havanaensis* Pavón Mesa (2004) realizó crecimiento poblacional de dicha especie bajo diferentes temperaturas y concentraciones de alimento. En sus experimentos notó que el crecimiento poblacional de la especie se afecta en temperaturas bajas (15°C) independientemente de la cantidad de alimento mientras que en las temperaturas altas (25°C) obtuvo densidades de hasta 800 ind ml⁻¹ con la mayor concentración de alimento.

Justificación

Existe una urgente necesidad de determinar el impacto que están ocasionando los contaminantes en el ambiente. La contaminación por emisiones, fugas, derrames y descargas, son ejemplos de las muchas actividades que requieren de procedimientos estandarizados para medir los impactos que ocasionan sobre los organismos y los ecosistemas. Actualmente en nuestro país dichas actividades se regulan únicamente por análisis fisicoquímicos, que no son capaces de medir los efectos biológicos. Por tal motivo, es importante complementar dichos análisis con bioensayos de toxicidad para determinar los efectos sobre los individuos, que puedan afectar a las poblaciones y los ecosistemas en general. Con la realización de ambos tipos de pruebas se contará con una visión más completa de los efectos adversos que se ocasionan sobre los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas y se podrán tomar medidas integrales para proteger el ambiente

Es importante puntualizar que la mayor parte de la información toxicológica acerca de los metales pesados se ha obtenido a partir de estudios que han utilizado un solo metal, cuando en la realidad los seres vivos están expuestos a mezclas de ellos. Así por ejemplo. La toxicidad de la mezcla tal vez difiera de la toxicidad de sus componentes. Por consiguiente, no debe perderse la perspectiva de una exposición a mezclas y su implicación toxicológica cuando se plantea la información individual de cada metal

Es por ello que en este trabajo se realizaron pruebas de bioensayo, se utilizó como modelo al rotífero *B. havanaensis* para que mediante ellas, conocer el impacto que dos metales pesados (cadmio y zinc) provocan sobre la población, tanto por separado como mezclados, con base en los datos obtenidos, se propone a este organismo como bioindicador para así aportar un granito de arena al conocimiento en la investigación ecotoxicológica y a la protección del medio ambiente.

Hipótesis

La magnitud de las respuestas poblacionales de *B. havanaensis* dependerá del tipo de interacción con cada tóxico por separado y en la mezcla de ambos

Objetivos

General

- ❖ Evaluar el efecto de dos metales pesados cadmio y zinc y sus mezclas sobre el crecimiento poblacional de *B. havanaensis*

Particulares

Para evaluación de toxicidad aguda

- ❖ Derivar concentración letal media de cadmio para el rotífero *B. havanaensis*
- ❖ Derivar concentración letal media de zinc para el rotífero *B. havanaensis*

Para evaluación de toxicidad crónica

- ❖ Evaluar el efecto del cadmio sobre el crecimiento poblacional de *B. havanaensis*
- ❖ Evaluar el efecto del zinc sobre el crecimiento de la población de *B. havanaensis*
- ❖ Evaluar el efecto de cadmio y zinc combinadas sobre el crecimiento población de *B. havanaensis*
- ❖ Cuantificar el efecto del cadmio, del zinc y sus mezclas sobre la abundancia máxima de *B. havanaensis*
- ❖ Derivar la tasa de crecimiento poblacional de *B. havanaensis* bajo diferentes concentraciones de cadmio, zinc y sus mezclas

Material y Métodos

Inicialmente se facilitó por parte del laboratorio de Zoología Acuática una cepa de *B. havanaensis* la cual fue aislada del canal principal del lago de Xochimilco y se estableció una población clonal a partir de una sola hembra y mantenida con una dieta exclusiva del alga verde *Chlorella vulgaris* (cepa certificada CL-V-3 CICESE, Ensenada México) ésta fue cultivada utilizando el medio basal Bold (Borowitzka, 1988). Tanto para la alimentación regular de la población como para los experimentos se empleó *C. vulgaris* cosechada durante la fase log, centrifugada a 2000 rpm durante 5 minutos y resuspendida en agua destilada para ser contada por medio de un hemocímetro o cámara de Neubauer para su utilización durante la fase experimental. El medio EPA para el cultivo del rotífero se preparó con la siguiente fórmula estandarizada para 20 litros: disolviendo 1.9 g de NaHCO_3 , 1.2 g CaSO_4 , 1.2 g MgSO_4 , 0.004 g. KCl (Weber, 1993), la población se mantuvo a temperatura ambiente

Toxicidad aguda

La toxicidad aguda medida mediante la Concentración Letal media (CL_{50} – 24 hrs. sin alimento) para cada metal, se derivó a partir de dos pasos a) un intervalo amplio de las concentraciones a escala logarítmica y b) una vez reducido a un intervalo pequeño se realizaron varios sub-niveles dentro de este intervalo para determinarla con mayor precisión, dichas concentraciones fueron para el cadmio 0.8 mg l^{-1} , 0.4 mg l^{-1} , 0.2 mg l^{-1} , 0.1 mg l^{-1} de CdCl_2 y para el Zinc 3.0 mg l^{-1} , 1.5 mg l^{-1} , 0.75 mg l^{-1} , 0.38 mg l^{-1} de ZnCl_2 . Estas se pusieron en vasos transparentes y se aforaron con medio EPA hasta un volumen de 20 ml por vaso, se hicieron tres repeticiones de cada una, además de un grupo testigo, en cada vaso se pusieron 20 individuos adultos sin huevo, se mantuvieron a temperatura ambiente y 24 horas después se revisaron, se contaron los individuos de cada vaso y se sacó el promedio entre las tres repeticiones de cada concentración. Una vez obtenidos los datos se analizaron con el método de Probit para determinar la CL_{50} del metal.

Toxicidad crónica o subletal

A partir de la Concentración letal media obtenida para cada metal, se realizaron cuatro concentraciones subletales una al 100% de la Cl_{50} , otra al 50%, otra al 25% y por último una al 12.5% que fueron empleadas para los experimentos de toxicidad crónica.

Para el caso del zinc en los tratamientos con concentraciones del 100%, 50% de la Cl_{50} se tubo una mortalidad del 100% de la población dentro de los primeros tres días por lo que se decidió poner dos tratamientos con concentraciones más bajas es decir 6.25% y 3.12% de la Cl_{50} donde si se presento crecimiento poblacional.

Para los tratamientos con las mezclas de los tóxicos se tomaron las tres concentraciones más bajas con que se trabajó cada metal por separado y en las cuales se obtuvo un crecimiento poblacional, así se determinaron tres tratamientos el primero con la concentración más baja de los tratamientos con cadmio junto con la más baja de los tratamientos con zinc, el segundo con las siguientes dos concentraciones y el tercero con la concentración más alta elegida para cada toxico

Cada concentración (100% de la CL_{50} , 50%, 25% y 12.5%) de cada metal pesado así como de las mezclas de ambos , fueron aforadas en medio EPA hasta un volumen de 25 ml y se pusieron en vasos transparentes, a cada vaso se le colocaron 25 individuos de diversas edades para manejar una densidad inicial de 1 ind ml^{-1} , la densidad de alimento para todos los tratamientos se estableció en 1×10^6 de células de *Chlorella vulgaris* se hicieron tres repeticiones de cada una de las concentraciones así como para el grupo testigo. Una vez iniciado el experimento diariamente se cuantificó la densidad de la población de cada vaso por conteo total o por alícuota y transfiriendo la población a un nuevo recipiente con el tratamiento y el alimento indicados, el experimento terminó cuando la mayoría de las poblaciones de las replicas mostró una tendencia de decremento lo cual ocurrió entre dos y tres semanas.

Con los datos colectados se derivaron las siguientes variables: abundancia máxima, día de abundancia máxima y la tasa de crecimiento poblacional para cada tratamiento, para calcular esta tasa, se usó la siguiente fórmula (Krebs, 1985):

$$r = \frac{\ln N_t - \ln N_0}{t}$$

Donde

r = Tasa de crecimiento

N_0 = Número de individuos iniciales

N_t = Número de individuos de la población después del tiempo t

t = Tiempo en días

Para el análisis de los datos estadísticamente se utilizó el método de análisis de varianza de un factor y el método de Tukey.

Para dichos análisis se utilizó el programa Estadística versión 8 y para graficar los datos se utilizó el programa de gráfica Sigma Plot versión 8 (U.S.A).

Resultados

La concentración letal media (CL_{50}) obtenida para *B. havanaensis* con el cadmio fue de 0.419 mg l^{-1} (Fig.2) y con zinc fue de 2.27 mg l^{-1} (Fig. 3) como se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Concentración letal media (CL_{50}) con Cd y Zn para *B. havanaensis* (sin alimento). Bioensayo a 24h. Concentraciones nominales.

Metal (mg l^{-1})	Promedio \pm error estandar
CdCl_2	0.419 ± 0.008
ZnCl_2	2.27 ± 0.404

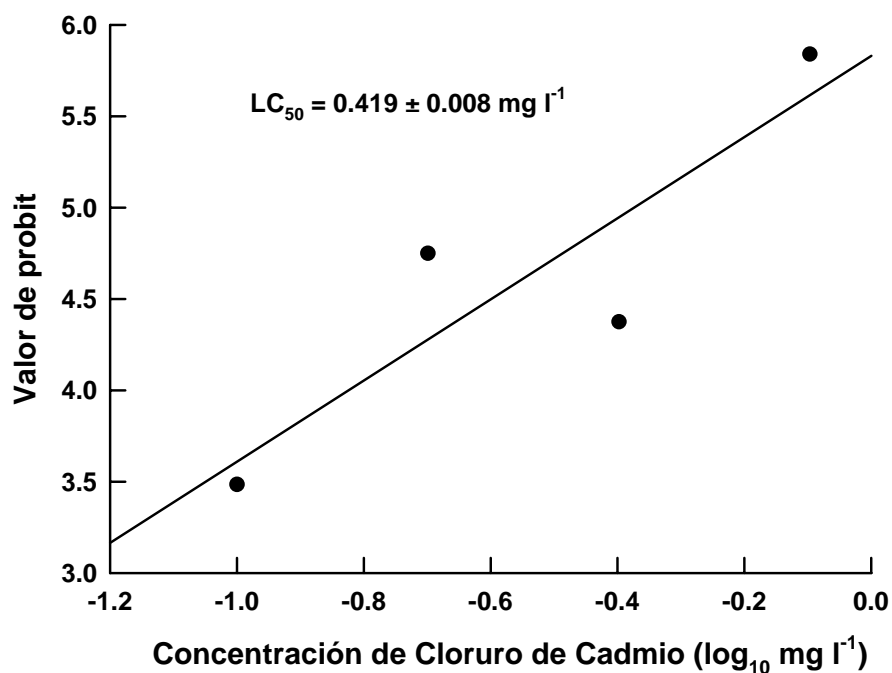


Figura 2.- Concentración Letal Media de Cloruro de Cadmio para *B. havanaensis*

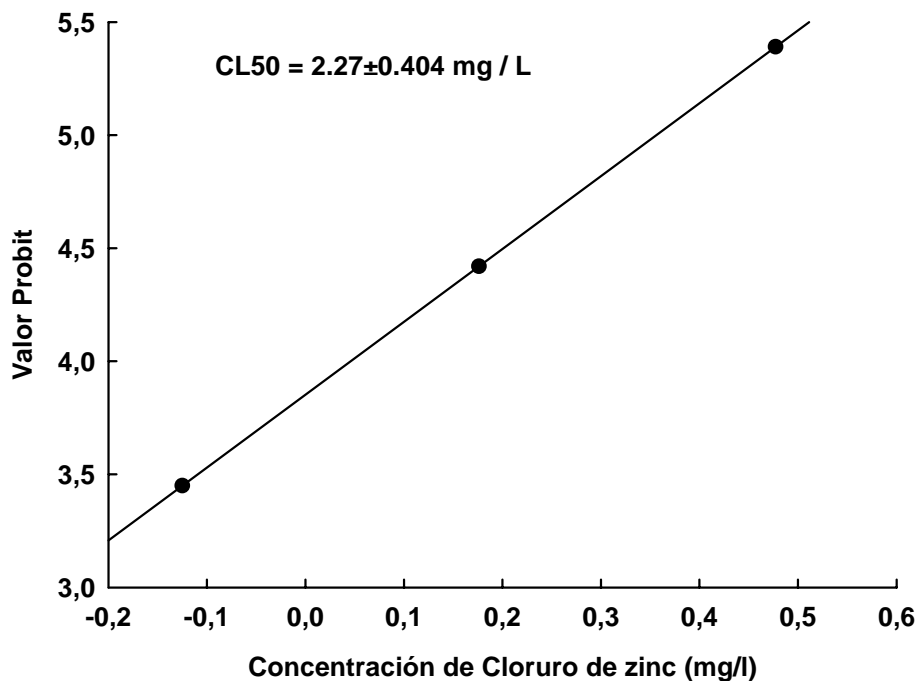


Figura 3.- Concentración Letal media de Cloruro de Zinc para *B. havanaensis*

Partiendo del dato obtenido para la concentración letal media se derivaron cuatro concentraciones que fueron usadas para los tratamientos de intoxicación crónica que fueron de CdCl_2 (mg l^{-1}) 0.42, 0.21, 0.105, 0.525. y para ZnCl_2 (mg l^{-1}) 2.3, 1.15, 0.575, 0.287, sin embargo en las dos primeras concentraciones de este tóxico la población murió en los primeros tres días del experimento por lo que se determinaron otras más bajas que fueron 0.14, 0.07 para poder continuar con el experimento con concentraciones subletales.

EFFECTO DEL CADMIO

CRECIMIENTO POBLACIONAL

Durante el experimento se observó que el crecimiento poblacional se inició en las diferentes concentraciones alrededor del día 10 presentándose un crecimiento exponencial excepto en la concentración mas alta (0.42 mg l^{-1}) donde esta fase

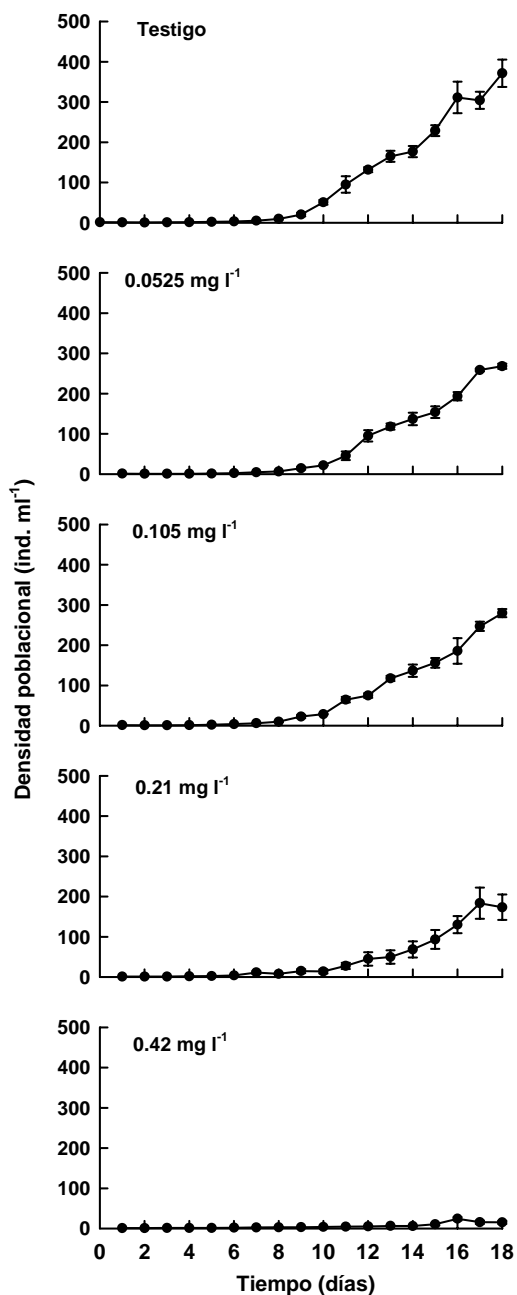


Figura 4.- Crecimiento poblacional de los tratamientos con cadmio (CdCl_2)

nunca ocurrió pues su crecimiento poblacional fue muy lento (Fig. 4). En las dos concentraciones más bajas, aunque obtuvieron picos diferentes, las diferencias entre las tendencias de crecimiento fueron estadísticamente no significativas ($p > 0.05$, ANOVA, tabla 2), mientras que con respecto al testigo es a partir de la concentración 0.21 mg l^{-1} que se presentan diferencias significativas y se nota un menor crecimiento poblacional (Prueba de Tukey, Fig. 6).

Tabla 2. Análisis de Varianza del crecimiento poblacional entre la concentración $0.0525 \text{ mg l}^{-1} \text{ CdCl}_2$ y $0.105 \text{ mg l}^{-1} \text{ CdCl}_2$

Tratamiento	df	ss	ms	F
Entre Grupos	1	1872.688	1872.69	0.80ns
Dentro del Grupo	4	9405.313	2351.33	

df= grados de libertad, ss = suma de cuadrados, ms= Promedio de suma de cuadrados y F= valor de Fischer. Valores de F: ns (no significativo) $= p > 0.05$, (*) $= p < 0.05$, (**) $= p < 0.01$, (***) $= p < 0.001$

CADMIO, DIA ABUNDANCIA MAXIMA

En general el día de abundancia máxima se encontró entre el día 15 y 18 del experimento encontrando que el grupo testigo y la población en el tratamiento con las concentraciones más bajas tardaron más en llegar a su máxima abundancia que en las concentraciones más altas siendo 0.42 mg l^{-1} la que más pronto llegó al tope en 15 días (Fig. 5). Estadísticamente se presentan diferencias significativas a partir de la concentración 0.21 mg l^{-1} (Prueba de Tukey, Fig. 4)

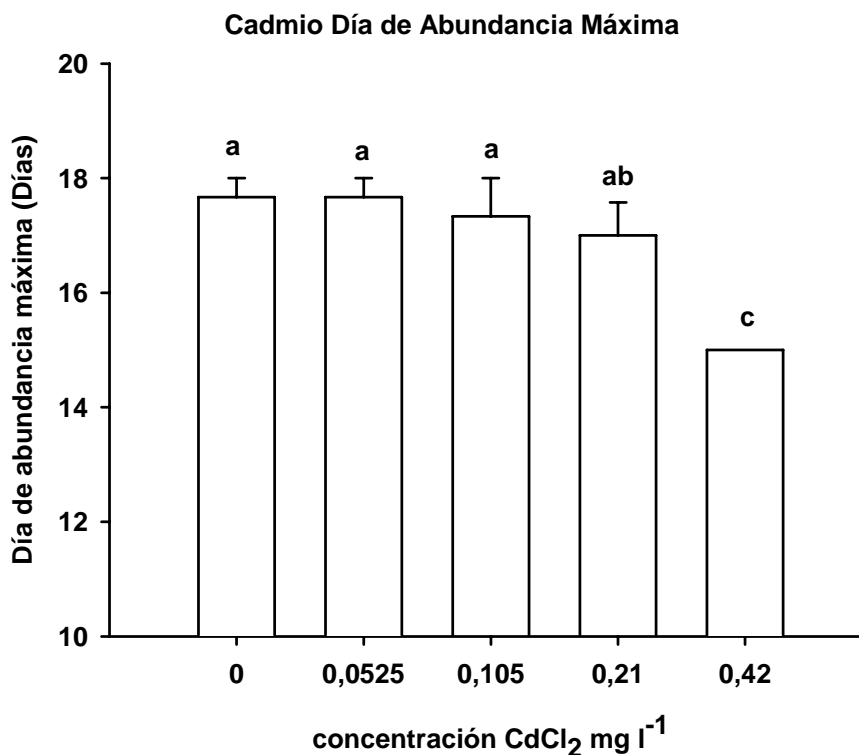


Figura 5.- Día de abundancia máxima de *B. havanaensis* durante el tratamiento con cadmio. Las barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$).

ABUNDANCIA MAXIMA

Para la abundancia máxima encontramos en el grupo testigo un máximo de aproximadamente 400 individuos ml⁻¹ y esta decreció conforme la concentración del tóxico fue en aumento hasta un máximo de 25 individuos ml⁻¹ en la más alta (Fig. 6). En las concentraciones más bajas se obtuvieron las mayores abundancias poblacionales y estadísticamente se presentan diferencias significativas solo con las más altas (Prueba de Tukey, Fig. 6).

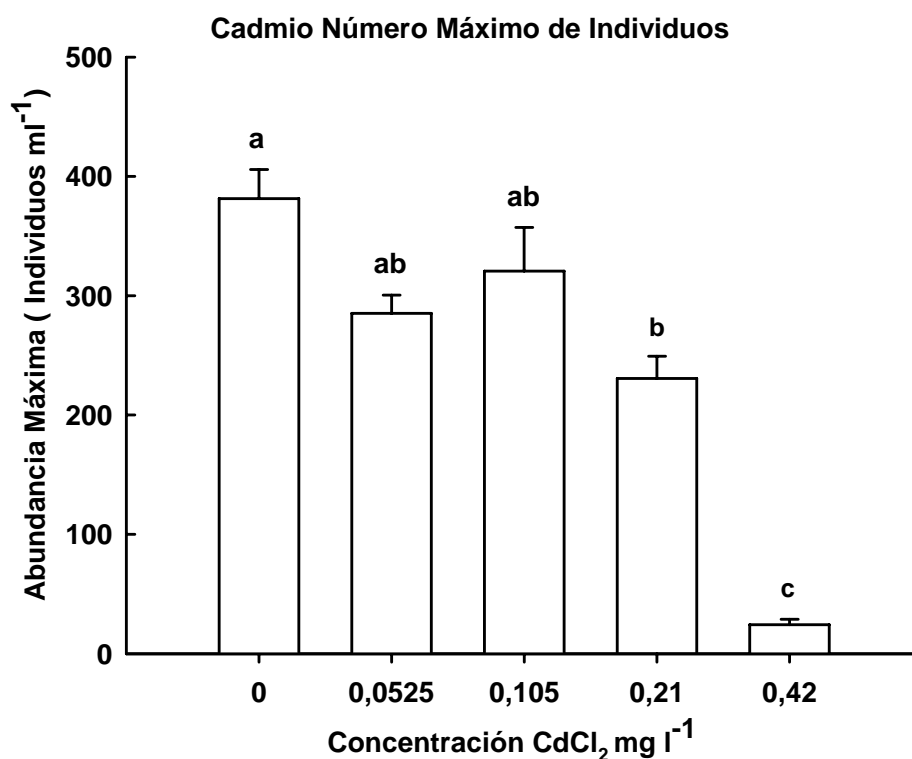


Figura 6.- Abundancia máxima de *B. havanaensis* durante el tratamiento con cadmio (CdCl₂). Las barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$).

Podemos decir, a partir de una análisis de varianza de un factor, que existen diferencias significativas entre los tratamientos tanto para el día de abundancia máxima como para el numero máximo de individuos siendo este ultimo donde se encuentran diferencias mayores ($p < 0.001$, ANOVA, tabla 3)

Tabla 3. Análisis de varianza para los tratamientos con cadmio

Parámetro	Tratamiento	df	ss	ms	F
Día de abundancia Máxima	entre grupos	4	14.933	3.73	6.22*
	dentro del grupo	10	6.000	0.60	
Abundancia máxima	entre grupos	4	224289.625	56072.41	36.87***
	dentro del grupo	10	15208.625	1520.86	

Ver descripción de valores en tabla 2

TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL

Para la tasa de crecimiento poblacional encontramos una relación inversamente proporcional en la que mientras más alta es la concentración del tóxico, menor es la tasa de crecimiento y viceversa, (Fig. 7) una vez realizado el análisis de ANOVA encontramos que estadísticamente se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.01$, ANOVA, tabla 4) particularmente entre las dos concentraciones más altas (Prueba de Tukey, Fig. 7)

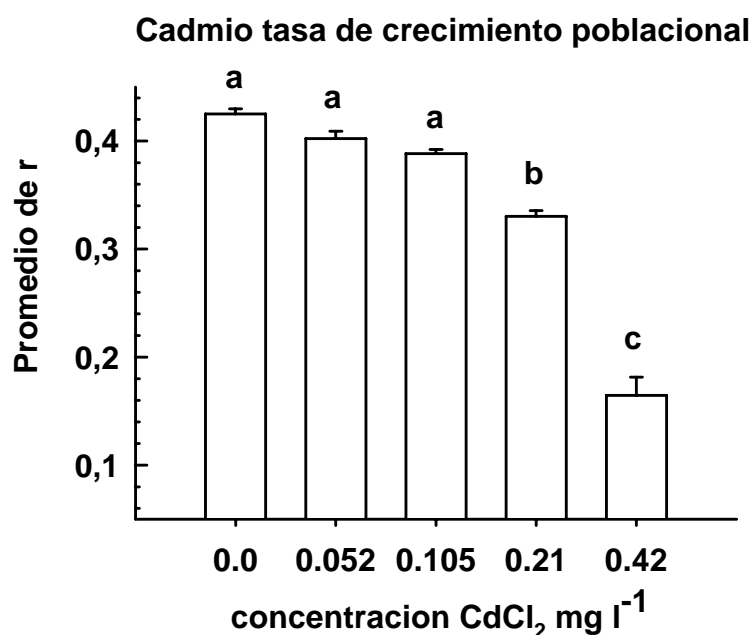


Figura 7.- Tasa de crecimiento poblacional para *B. havanaensis* durante el tratamiento con cadmio (CdCl₂). Las barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$).

Tabla 4.-Análisis de varianza para la Tasa de crecimiento poblacional con cadmio

Parámetro	Tratamiento.	df	ss	ms	F
tasa de crecimiento poblacional	entre grupos	4	0.133	0.03	140.8***
	dentro del grupo	10	0.002	0.00	

Ver descripción de valores en tabla 2

EFECTO DEL ZINC

CRECIMIENTO POBLACIONAL

Durante el desarrollo de este experimento se notó que, a diferencia del cadmio, la fase de crecimiento exponencial de la población se inició más pronto entre los días 6 y 8 en los tratamientos con concentraciones bajas (0.07 mg l^{-1} y 0.14 mg l^{-1}) mientras que, en el tratamiento de 0.28 mg l^{-1} el crecimiento fue muy lento y no presentó esta fase; por último en la concentración mayor no se presentó ningún tipo de crecimiento por lo contrario la población pereció durante los primeros ocho días (Fig. 8) En este caso la tendencia de crecimiento fue muy diferente entre los cuatro tratamientos pues mientras que en la concentración más baja 0.07 mg l^{-1} se obtuvo una población significativamente mayor que en el testigo ($p < 0.05$, ANOVA, tabla 5), en las siguientes tratamientos el crecimiento de la población fue muy escaso o nulo.

Tabla 5.- Análisis de varianza entre el testigo y el tratamiento con $0.07 \text{ mg l}^{-1} \text{ ZnCl}_2$

Tratamiento	df	ss	ms	F
Entre Grupos	1	12686.75	12686.75	13.62*
Dentro del Grupo	4	3725.37	931.34	

Ver descripción de valores en tabla 2

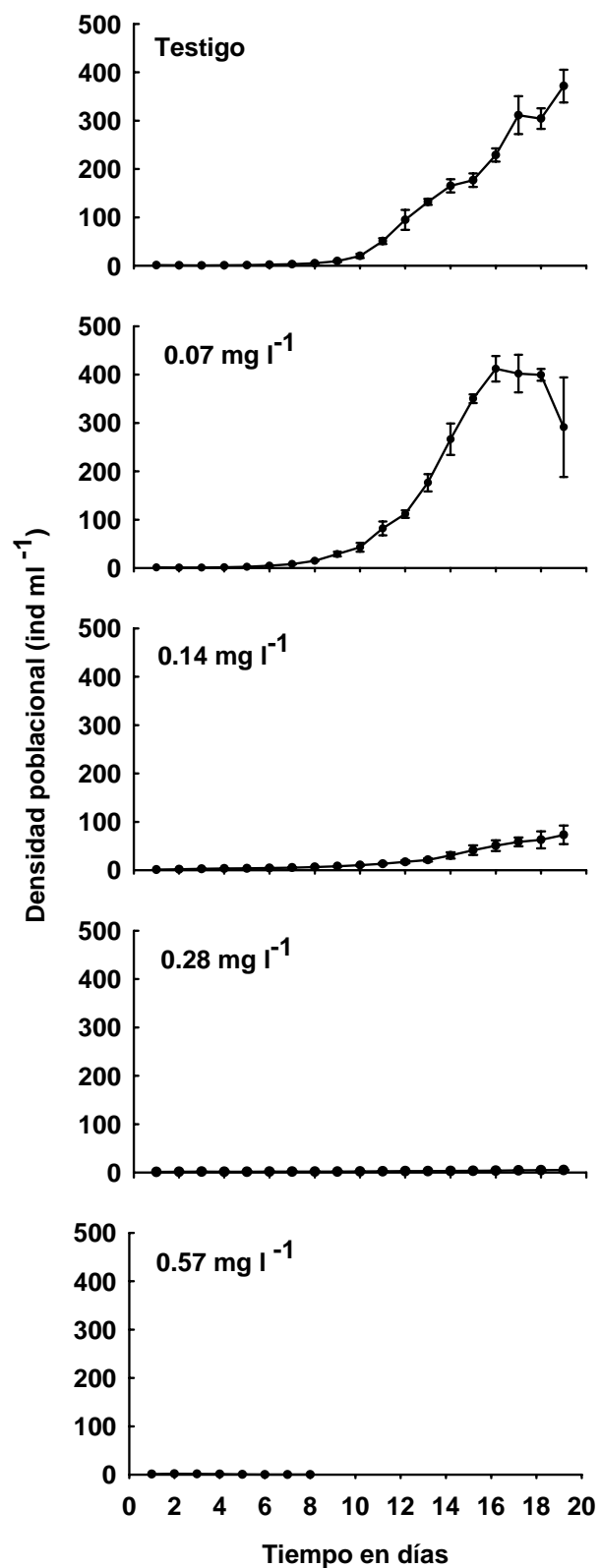


Figura 8.- Crecimiento poblacional de *B. havanaensis* durante los tratamientos con zinc (ZnCl_2)

DIA DE ABUNDANCIA MAXIMA

Aunque estadísticamente no se presentan diferencias significativas en el día de mayor abundancia entre los tratamientos con zinc (Prueba de Tukey, Fig. 9), se encontraron diferencias en el crecimiento con el respecto al cadmio pues fue en las concentraciones más bajas donde se presentó más pronto la abundancia máxima alrededor del día 16 mientras que en el resto se presentó hasta el día 18, por último en la más alta 0.575 mg l^{-1} no se pudo obtener este dato pues la población se terminó en los primeros ocho días (Fig. 9)

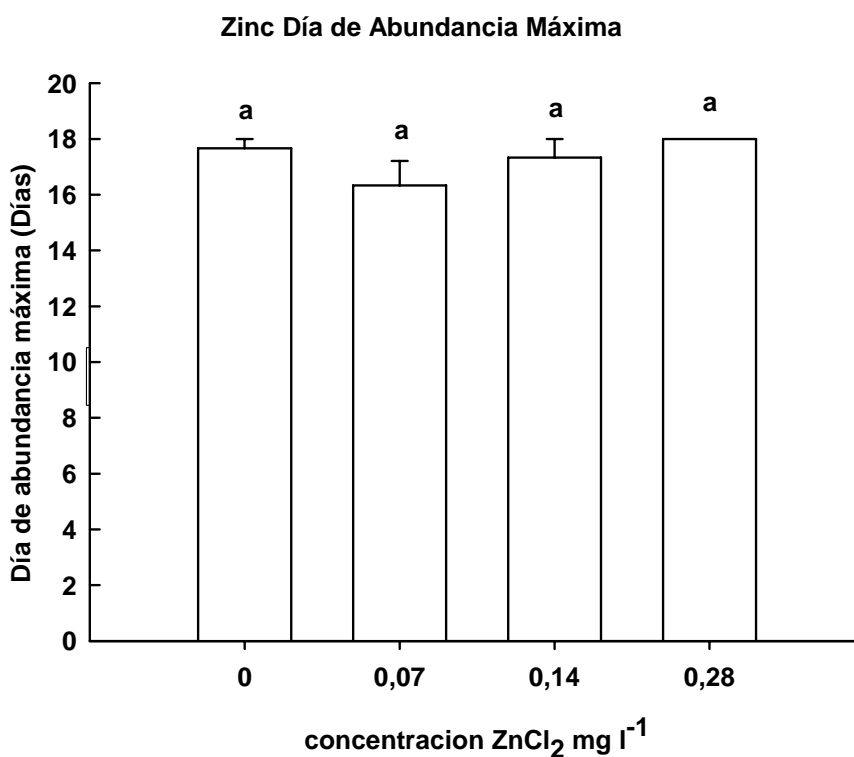


Figura 9.- Día de abundancia máxima de *B. havanaensis* durante el tratamiento con zinc (ZnCl_2). Las barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$).

ABUNDANCIA MAXIMA

La abundancia máxima de *B. havanaensis* bajo diferentes concentraciones de zinc varió entre 473 ind ml⁻¹ en la concentración más baja (0.07 mg l⁻¹) y 4.47 ind ml⁻¹ en la concertación de 0.28 mg l⁻¹ (Fig.10), en general se notó que un incremento en la concentración de zinc causa un decremento de la abundancia máxima, estadísticamente el zinc afecta significativamente la abundancia máxima del rotífero ($p < 0.001$, ANOVA, tabla 6) presentando diferencias significativas entre los tratamientos excepto entre las concentraciones de 0.14 mg l⁻¹ y 0.28 mg l⁻¹ (Prueba de Tukey, Fig. 10),

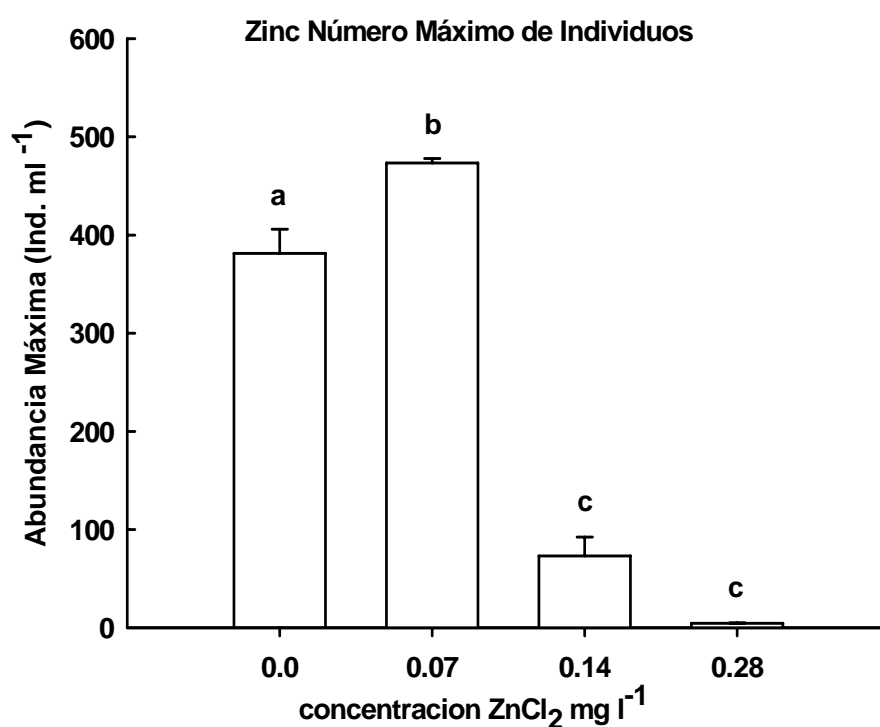


Figura 10.- Abundancia máxima de las poblaciones de *B. havanaensis* durante los tratamientos con zinc (ZnCl₂). Las barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$).

Tabla 6.- Resultados de análisis de varianza para el tratamiento con zinc

Parámetro	Tratam.	df	ss	ms	F
Día de abundancia Máxima	entre grupos	3	4.667	1.56	1.56 ^{ns}
	dentro del grupo	8	8.000	1.00	
Máximo número de individuos	entre grupos	3	458517.8	152839.0	175.7 ^{***}
	dentro del grupo	8	6958.875	869.86	

Ver descripción de valores en tabla 2

TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL

La tendencia del crecimiento poblacional también se reflejó en la tasa de crecimiento poblacional donde el incremento de zinc en el medio reduce la r , por ejemplo cuando aumenta la concentración desde 0.07 mg l^{-1} a 0.14 mg l^{-1} la tasa decreció en un 45% (Fig.11). El resultado del análisis de varianza indicó que el zinc tiene un efecto significativo sobre la tasa de crecimiento poblacional ($p < 0.001$ ANOVA, tabla 7), aunque entre el testigo y la concentración más baja no hay diferencias significativas (Prueba de Tukey, Fig. 11).

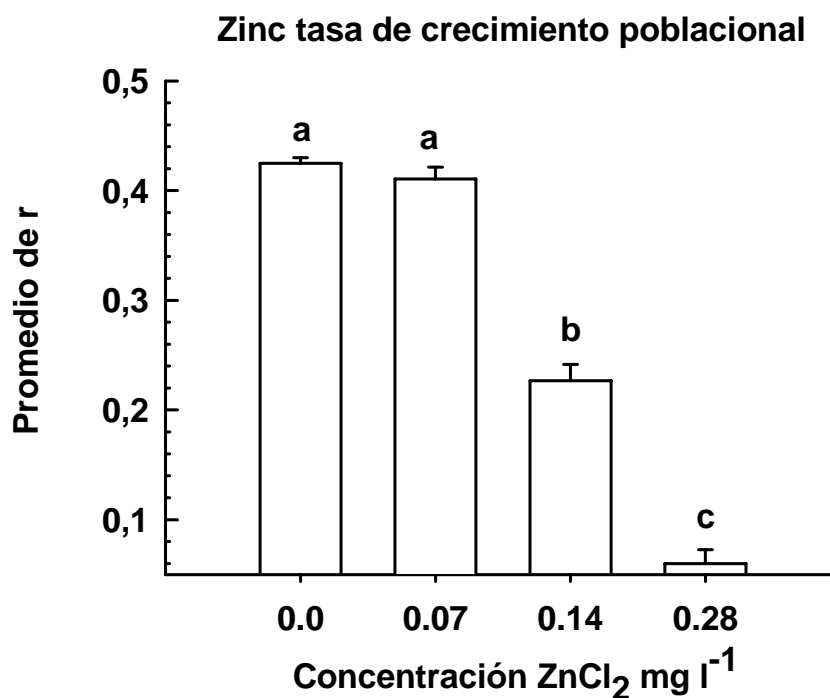


Figura 11.- Tasa de crecimiento poblacional (r) para *B. havanaensis* durante los tratamientos con zinc (ZnCl_2). Las barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$).

Tabla 7.- Resultados de ANOVA para la tasa de crecimiento poblacional con zinc

Parámetro	Tratamiento	df	ss	ms	F
tasa de crecimiento poblacional	entre grupos	3	0.268	0.09	227.5***
	dentro del grupo	8	0.003	0.00	

Ver descripción de valores en tabla 2

EFFECTO DE LAS MEZCLAS

CRECIMIENTO POBLACIONAL

En los tratamientos con mezclas la fase de crecimiento exponencial inició el día 6 para las concentraciones más bajas. En las concentraciones más altas 0.28 mg l^{-1} de Zn – 0.21 mg l^{-1} de Cd la población presentó un crecimiento prácticamente nulo desde el principio hasta el final del experimento. En general se nota un efecto antagónico entre los metales pues la población presenta un crecimiento mayor que el que presentó con los metales por separado a excepción de las concentraciones más altas donde se nota que en las mezclas en este nivel el cadmio aumenta su toxicidad para esta especie. (Fig. 12).

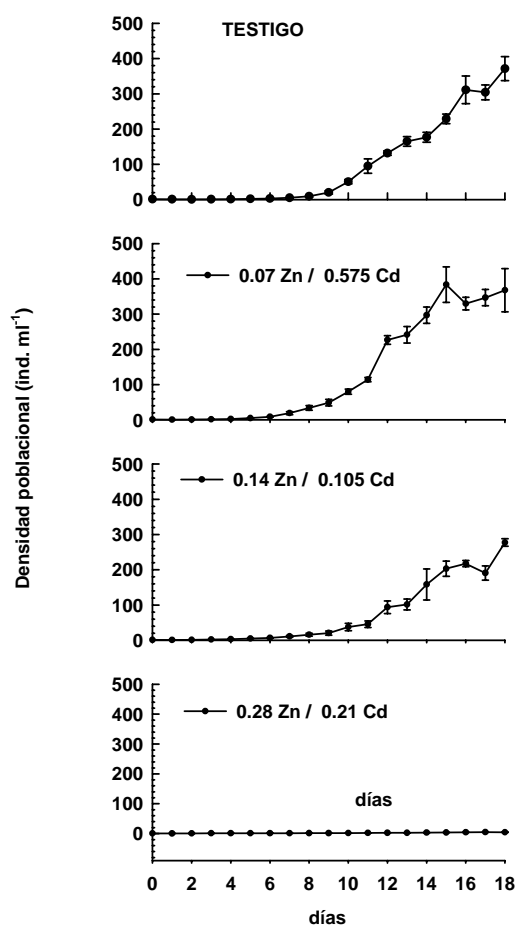


Figura 12.-Crecimiento poblacional de *B. havanaensis* durante el tratamiento con las mezclas de ambos metales pesados

MEZCLAS, DÍA DE ABUNDANCIA MÁXIMA

Estadísticamente el día de abundancia máxima no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Prueba de Tukey, Fig. 13). Con respecto al comportamiento con los metales por separado se presentó un comportamiento semejante al de zinc pues las mayores abundancias se presentaron más tarde que con el cadmio, siendo las concentraciones más bajas las primeras donde se observó la máxima abundancia alrededor del día 16, mientras que las intermedias y las más altas fueron hasta el día 18 y alrededor del día 17 respectivamente (Fig. 13).

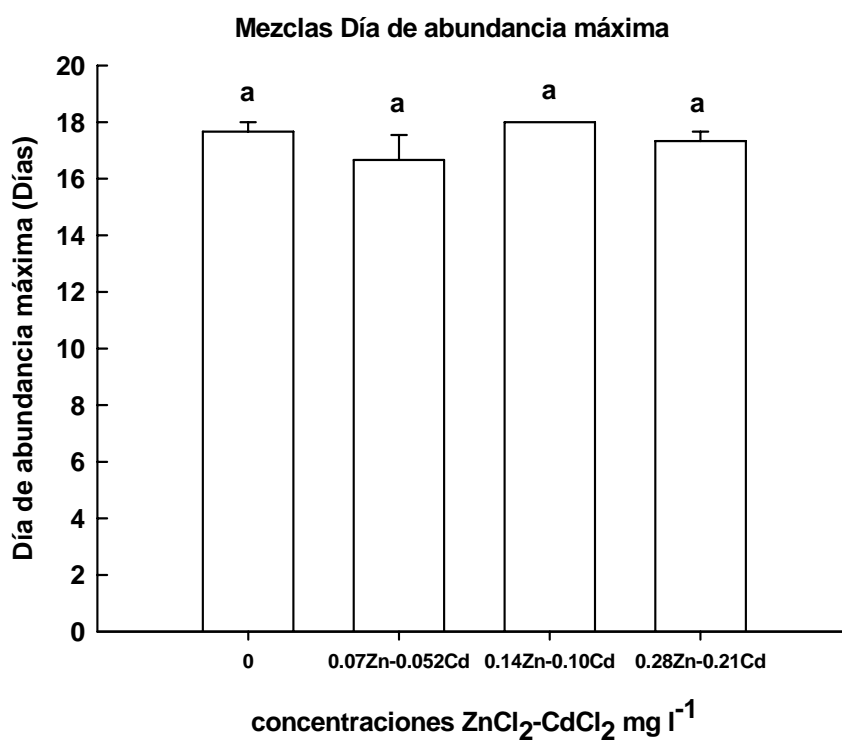


Figura 13.- Día de abundancia máxima durante los tratamientos con las mezclas de ambos metales pesados. Las barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$).

ABUNDANCIA MAXIMA

En este experimento se notó una diferencia importante entre los distintos tratamientos donde se apreció el efecto antagónico de los tóxicos ya que entre las concentraciones más bajas y el grupo testigo no se presentan diferencias significativas (Prueba de Tukey, Fig. 14). La mayor abundancia en las mezclas con las concentraciones más bajas fue de 454 ind. ml⁻¹. Sin embargo el aumento en las concentraciones de los tóxicos comienza a afectar el crecimiento poblacional del rotífero pues en las concentraciones intermedias la población disminuye casi en un 40%, aún así, el efecto del zinc se ve disminuido, pues se presentó una abundancia máxima de 277.2 ind ml⁻¹ mientras que, durante el tratamiento con zinc únicamente, la mayor abundancia fue de tan solo 73 ind ml⁻¹. También se puede observar que el cadmio en las concentraciones más altas es más tóxico que el zinc pues la mayor abundancia es muy similar a las del tratamiento con zinc y mucho menor que la presentada durante el tratamiento con cadmio (Fig. 14).

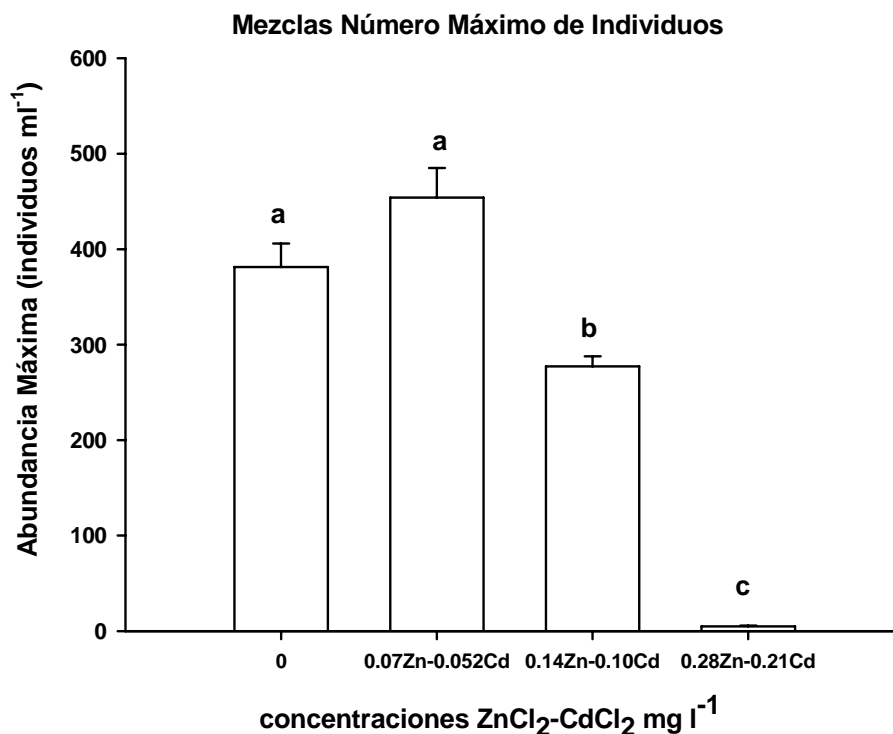


Figura 14.- Abundancia máxima durante los tratamientos con las mezclas de ambos metales pesados. Las barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$).

Tabla 8. Análisis de varianza entre diferentes niveles de las mezclas y su respectiva concentración del metal pesado por separado

Mezcla.07Zn - 0.0525 Cd vs 0.07Zn

Tratamiento	df	ss	ms	F
Entre Grupos	1	558.625	558.63	0.38ns
Dentro del Grupo	4	5946.750	1486.69	

Mezcla.07Zn - 0.0525 Cd vs 0.0525 Cd

Tratamiento	df	ss	ms	F
Entre Grupos	1	42672.625	42672.63	23.67**
Dentro del Grupo	4	7210.688	1802.67	

Mezcla 0.14Zn - 0.105Cd vs 0.105 Cd

Tratamiento	df	ss	ms	F
Entre Grupos	1	2834.000	2834.00	1.31ns
Dentro del Grupo	4	8676.938	2169.23	

Ver descripción de valores en tabla 2

Estadísticamente se encontraron diferencias significativas muy altas en las abundancias máximas de las poblaciones con las mezclas de los tóxicos ($p < 0.001$, ANOVA, tabla 9). Sin embargo para el día de abundancia máxima no se presentan diferencias significativas ($p > 0.05$, ANOVA, tabla 9).

Tabla 9. Resultados de análisis de varianza para el tratamiento con mezclas de los tóxicos

Parámetro	Tratam.	df	ss	ms	F
Día de abundancia Máxima	entre grupos	3	2.917	0.97	1.30 ^{ns}
	dentro del grupo	8	6.000	0.75	
Máximo número de individuos	entre grupos	3	348691.9	116230.6	92.24***
	dentro del grupo	8	10080.5	1260.06	

Ver descripción de valores en tabla 2

TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL

La tasa de crecimiento poblacional de *B. havanaensis* varió entre 0.4 y 0.1 por día dependiendo de la concentración de ambos tóxicos (Fig.15). Estadísticamente no se presentan diferencias significativas entre las concentraciones menores y el testigo (Prueba de Tukey, Fig. 15) esa partir de las concentraciones intermedias donde se observaron diferencias tanto con respecto al grupo testigo como con los tratamientos de los tóxicos por separado ya que se observa un efecto de neutralización del zinc pues la tasa de crecimiento poblacional aumento cerca del 40%. Por otro lado en las concentraciones altas la r de del cadmio disminuye de 0.33 en los tratamientos con el metal por separado, a 0.10 en las mezclas, estadísticamente las concentraciones de estos metales pesados mezclados tienen una influencia significativa sobre r ($p < 0.001$, ANOVA, tabla 10).

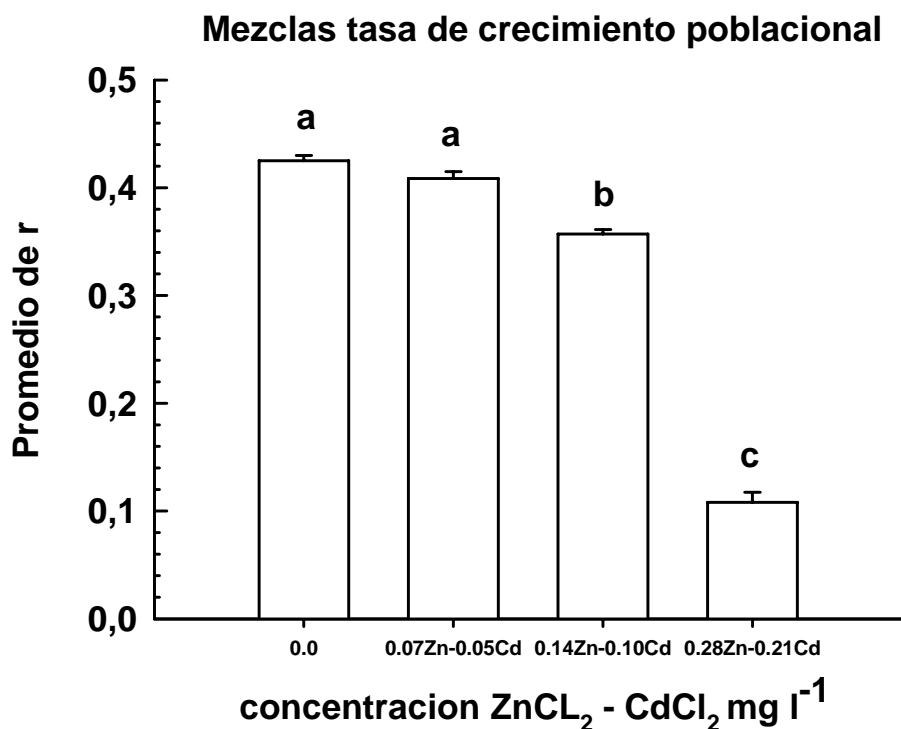


Figura 15.- Tasa de crecimiento poblacional para *B. havanaensis* durante los tratamientos con mezclas de ambos metales pesados. Las barras con letras iguales no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$).

Tabla 10.-Análisis de varianza para la Tasa de crecimiento poblacional con mezclas del tóxico

Parámetro	Tratamiento.	df	ss	ms	F
tasa de crecimiento poblacional	entre grupos	3	0.195	0.07	510.2***
	dentro del grupo	8	0.001	0.00	

Ver descripción de valores en tabla 2

Discusión

Recientemente se ha incrementado el interés por la búsqueda de organismos alternativos para *Daphnia magna* en las evaluaciones ecotoxicológicas, y entre las diferentes propuestas se encuentra el género de rotíferos *Brachionus*. Este género es principalmente tropical, por ello tienen una alta capacidad de tolerar temperaturas arriba de los 25°C. La EPA (*Environmental Protection Agency*, USA) de Estados Unidos incluyó a *Brachionus calyciflorus* como un organismo de bioensayo, sin embargo la sensibilidad de esta especie para una gama de tóxicos no es consistente por ejemplo en el caso de los metales como zinc, *B. calyciflorus* es más resistente que otros organismos como *D. magna* quien es más sensible. De ahí que la búsqueda de una especie que sirva como organismo de bioensayo universal es inútil, por ello es necesario buscar especies que puedan servir según los requerimientos de cada país. Entre las 40 especies de *Brachionus* conocidas *B. havanaensis* es una especie muy común en Centro y Norteamérica, particularmente en la República Mexicana además esta especie se encuentra tanto en invierno como en verano, *B. havanaensis* es una especie de tamaño intermedio (longitud sin espinas entre 100 y 150 micrómetros) tienen una alta tasa de crecimiento y alta densidad poblacional, esta especie responde a los cambios ambientales, la duración de vida de esta especie (entre 10 y 25 días) se encuentra dentro del ámbito conocido para varias especies de *Brachionus* (Sarma y Rao, 1990). Existen pocos trabajos de toxicidad con esta especie es por ello que en este trabajo se probó el efecto de metales pesados sobre su crecimiento poblacional

Para la evaluación del efecto de metales pesados sobre organismos zooplanctónicos se han usado frecuentemente dos tipos de métodos: la evaluación de toxicidad aguda y la de toxicidad crónica. Normalmente para cualquier evaluación ecotoxicológica se emplea el método de toxicidad aguda, sin embargo basándose en este tipo de datos, no se puede garantizar la protección de las especies zooplanctónicas en cuerpos de agua que reciben descargas industriales, puesto que según el tipo de contaminante se aplica un factor de seguridad que puede variar entre los siguientes tres factores: la concentración letal media del tóxico para la especie estudiada multiplicada por 0.1, 0.01 ó 0.001 (Gama Flores *et al.*, 2004). Y así obtener la concentración de seguridad (concentración a la cual no se produce ningún efecto visible sobre los organismos).

Normalmente cuando una sustancia toxica produce efectos carcinogénicos o persiste en el ambiente por largo tiempo el factor de seguridad que se utiliza es 0.001 de CL_{50} . (Weber, 1993) .

Los metales pesados son aquellos que, en concentraciones por arriba de determinados límites, pueden producir efectos negativos sobre la salud humana, flora y fauna. En lo que corresponde a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 sólo considera los siguientes elementos: arsénico, cadmio, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc. En el proceso de extracción del cadmio y del zinc estos se presentan como contaminantes en las aguas de deshecho de esta industria, esta agua contiene ambos metales pesados los cuales pueden afectar la vida acuática tanto por separado como mezclados. En general el cadmio es más toxico que el zinc como ha sido reportado en otros trabajos, con base en la CL_{50} de este trabajo *B. havanaensis* puede tolerar 5 veces más la concentración de zinc que la de cadmio. Cuando dos o más metales pesados están en el ambiente la interacción entre ellos puede variar dependiendo del tipo de metal y su concentración, cadmio normalmente reemplaza al zinc en algunas enzimas de los organismos sin embargo cuando hay un incremento en la disponibilidad del zinc el efecto del cadmio puede ser disminuido o precipitado en el ambiente de esta manera las especies planctónicas se ven menos afectadas que las bentónicas (Sarma *et al.*, 2001d) ; *B. havanaensis* es una especie típica planctónica por lo que normalmente se afecta cuando las concentraciones de metales pesados están en la columna de agua.

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 que establece los limites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales los limites máximos permisibles para metales pesados son para cadmio entre 0.1 y 0.2 $mg\ l^{-1}$ y para zinc entre 10 y 20 $mg\ l^{-1}$. Sin embargo como se muestra en esta investigación aunque los limites para cadmio son adecuados pues en dichas concentraciones se presenta crecimiento poblacional, en el caso de zinc las concentraciones propuestas son muy elevadas pues la especie *B. havanaensis* no

presenta crecimiento poblacional a partir de concentraciones de 0.575 mg l^{-1} presentando una CL_{50} de 2.3 mg l^{-1} .

Como se muestra en los resultados podemos observar que el tóxico si tiene efecto sobre el crecimiento poblacional de *B. havanaensis* por lo que la especie es un buen organismo indicador al mostrar una gran sensibilidad a los cambios ambientales. Una concentración de cadmio tan baja como 0.42 mg l^{-1} causa una mortandad del 50% de la población de *B. patulus* y 0.55 mg l^{-1} causa el mismo efecto para *B. calyciflorus* (Sarma *et al.* 2000) mientras que para *B. rubens* es de 0.84 mg l^{-1} (Núñez Cruz, 2002) comparado con estas tres especies de *Brachionus*, *B. havanaensis* es tan sensible como *B. patulus*. En lo que respecta al cadmio, en el caso del zinc no se reportan trabajos con rotíferos.

Durante el experimento de toxicidad aguda para determinar la concentración letal media del cadmio, el cual se realizó sin alimento, y en el que se obtuvo que 0.42 mg l^{-1} es la concentración donde el 50% de los individuos murieron, durante el experimento crónico en el que se agregó alimento notamos que, si bien no hubo un crecimiento poblacional importante, la mortandad se redujo bajo la misma concentración. Esto se debió a la presencia del alga *Chlorella* que es un alimento vivo que también absorbe y adsorbe metales pesados del ambiente algunos de ellos para su metabolismo y algunos pueden ser destoxificados (Gotsis,1982) por lo que su presencia redujo el efecto tóxico del Cd durante la fase experimental de toxicidad crónica. (Sarma *et al.* 2000; Sarma *et al.* 2001; Luna Andrade *et al.* 2002 y Gama-Flores *et al.* 2004)

Con base en varios trabajos, los ecotoxicólogos consideran que la concentración de seguridad derivada a través de la evaluación de toxicidad aguda no es confiable, por lo que recomiendan generar datos sobre los efectos de una exposición crónica a tóxicos (Sarma, 2000). Para la evaluación de los efectos crónicos de cualquier toxina sobre organismos zooplanctónicos se puede estudiar por crecimiento poblacional o por tabla de vida demográfica. En el método de tabla de vida demográfica, neonatos de cierta

edad conocida son usados para derivar datos como supervivencia y la reproducción en la manera "edad específica", sin embargo usando este método no podemos derivar otras variables importantes como la abundancia máxima y el día de abundancia máxima.

Los estudios de dinámica poblacional permiten evaluar los pequeños efectos causados por las toxinas, por ejemplo un cambio en la tasa de reproducción o la supervivencia de unos individuos de la población, que no pueden ser detectados fácilmente cuando consideramos un tamaño de población pequeño; pero cuando consideramos poblaciones grandes mayores de 200 ind. ml⁻¹ los pequeños cambios en la fecundidad o en la mortandad de la población pueden ser magnificados, de esta manera se facilita su evaluación como en una lupa, además los posibles errores durante los conteos, si se presentan, pueden ser minimizados cuando se consideran altas densidades poblacionales, de esta manera los estudios de crecimiento poblacional son mas sensibles y cuantitativos que otros, como por ejemplo; la tasa de ingesta ó la tasa de natación. Los métodos como la tabla de vida demográfica o morfometría no permiten cuantificar el efecto de la adaptación de una población continuamente expuesta a cierta cantidad de tóxico sin embargo, en estudio de dinámica poblacional se puede ver claramente como individuos de diferentes edades o generaciones y por tanto diferentes periodos de exposición al toxico viven juntos, de esta manera puede ser evaluada la resistencia de la población a cierta toxina (Nogrady et al., 1993).

Del crecimiento poblacional se obtienen dos variables importantes: la abundancia máxima y la tasa de crecimiento poblacional. Normalmente cuando los recursos alimenticios están limitados la población de zooplancton alcanza un crecimiento hasta cierto nivel o cierta densidad la cual se denomina densidad máxima. Sin embargo, bajo condiciones de estrés la población no necesariamente alcanza ese mismo pico aunque existan los recursos, de esta manera la abundancia máxima es una variable sensible a los cambios en el medio; la abundancia o densidad máxima y el tiempo que se toma la población para alcanzarla se utilizan para derivar otra variable importante,

la tasa de crecimiento poblacional (r), normalmente en ausencia de estrés ciertas especies de *Brachionus* alcanzan su pico de abundancia en un tiempo que puede variar entre dos y tres semanas, la presencia del algún tipo de toxico extiende la fase inicial por una semana mas, de esta manera aunque el valor del pico sea muy semejante al del testigo el tiempo tomado para alcanzarlo es diferente lo cual disminuye el valor de r , o bien puede ocurrir que una población aunque este bajo condiciones de estrés, puede alcanzar el valor pico en menor tiempo que en un grupo testigo pero alcanza una densidad menor que en este. Por lo tanto la abundancia máxima como la tasa de crecimiento poblacional (r), son consideradas frecuentemente como variables sensibles (Kammenga y Laskowski, 2000).

Independientemente de la especie, *Brachionus* demuestra una tendencia de curva de crecimiento típica para la mayoría del zooplancton en donde se presentan tres fases la primera es una fase inicial que dura alrededor de una semana, la segunda, una fase exponencial que dura entre una y dos semanas y finalmente una fase estacionaria o fase de decremento. La presencia de toxinas afectan este patrón de crecimiento por ejemplo, bajo una alta concentración del toxico no aparece la fase exponencial y por el contrario la población puede decrecer desde el principio del experimento.

Cuando se inició el crecimiento poblacional de *B. havanaensis* con una concentración de zinc del 25% de la CL_{50} la población del rotífero no sobrevivió más que ocho días, por esta razón el crecimiento poblacional empezó con 14.5% de la CL_{50} en donde aunque no hay mortandad durante el periodo experimental la población se mantuvo alrededor de 2 ind. ml^{-1} pero con el decremento en las concentraciones del zinc la población comenzó a crecer, a la concentración de 0.07 $mg\ l^{-1}$ la abundancia máxima de *B. havanaensis* fue significativamente mayor que el testigo el factor responsable para esta tendencia puede ser el efecto denominado hormesis (Calabrese y Baldwin, 2003) dicho efecto se produce en algunas sustancias toxicas donde después de cierta concentración pueden ser mortales para los organismos pero cuando se aplican dentro de ciertas concentraciones bajas, por el contrario, favorecen la reproducción de

los organismos incluso de una manera mayor que la que se presenta normalmente sin estar expuesta la especie a ningún toxico esto generalmente ocurre cuando un metal pesado es necesario para su vida pero cuando el metal no es esencial para la vida como cadmio o mercurio la hormesis no es tan frecuente.

Se pudo observar durante los tratamientos con las mezclas, que se presentó un efecto antagónico entre el cadmio y el zinc, en las concentraciones más bajas, el crecimiento poblacional fue alto similar al presentado por el testigo tal vez favorecido por el efecto de hormesis del zinc pero atenuado por la presencia del cadmio, el cual presentó una densidad poblacional 25% mayor que la de los tratamientos con la misma concentración de cadmio por separado. Es importante mencionar que la presencia del alga *Chlorella vulgaris* que fue añadida como alimento durante los experimentos también juega un papel importante en la respuesta de *B. havanaensis* a la mezcla de metales pesados ya que probablemente la capacidad de biosorción del alga influye en la forma en que dichos metales llegan a los rotíferos dependiendo de la concentración del toxico en el ambiente.

Como se mencionó *Chlorella* tiene la capacidad de adsorber y absorber el cadmio y detoxificarlo (Gotsis,1982) pero dicho proceso se presento en menor magnitud en las mezclas que en el tratamiento con cadmio debido tal vez a la presencia del zinc que también es absorbido por el alga presentándose una competencia entre ambos metales y disminuyendo la cantidad de cadmio que el alga absorbe y es capaz de metabolizar permaneciendo una mayor cantidad de este toxico en el ambiente además de que, durante dicho proceso, el alga sufre daño en su estructura disminuyendo la calidad del alimento para la población del rotífero, dicho efecto se puede apreciar en las mezclas.

En las concentraciones intermedias se observa un efecto de neutralización del efecto toxico del zinc tal vez producido por la presencia del cadmio pues la densidad poblacional y la r aumentan significativamente con respecto a las obtenidas con los tratamientos con zinc, mientras que con respecto al cadmio estos parámetros

disminuyen ligeramente. El efecto tóxico del cadmio aumenta conforme aumenta la concentración pues es en las más altas en donde se puede apreciar una disminución importante de la densidad poblacional y de la r con respecto a la que se presentó con el tratamiento del cadmio por separado.

Bajo condiciones naturales normalmente la densidad máxima de rotíferos puede ser alrededor de 10 ind. ml^{-1} y en casos extremos hasta 50 ind. ml^{-1} , pero bajo condiciones de cultivo las densidades máximas de rotíferos principalmente del grupo de *Brachionus* pueden ser mucho mayores, por ejemplo Pavón y colegas (2001) reportaron más de 1000 ind. ml^{-1} para *B. patulus*, normalmente especies pequeñas como *B. havanaensis*, *B. angularis* y *B. patulus* tienen abundancias mayores que especies grandes como *B. calyciflorus*. La tabla 11 muestra la información sobre abundancias máximas reportadas en la literatura, independientemente del tipo de alimento la cantidad de este y la temperatura, las especies de brachionidos tienen en promedio una abundancia máxima mayor de 50 ind ml^{-1} lo cual indica que en la naturaleza las especies de *Brachionus* siempre están limitadas por el alimento entre otros factores.

En el presente trabajo la abundancia máxima en el testigo fue aprox. de 400 ind. ml^{-1} , *B. havanaensis*, previamente fue cultivado por Pavón–Mesa *et al.* (2004) usando tres niveles de temperatura 15°C, 20°C y 25°C y tres niveles de alimento 0.5, 1.0 y 2.0 $\times 10^6$ células de *Chlorella vulgaris* reportando alrededor de 25°C una densidad máxima de 180 a 650 ind ml^{-1} , a la concentración de alimento de 1.0×10^6 células de *Chlorella* reportaron una abundancia máxima de 560 ind ml^{-1} lo cual es muy semejante que lo encontrado en este trabajo con el grupo testigo, sin embargo bajo condiciones de toxicidad la abundancia máxima en general disminuyó significativamente con excepción de la concentración más baja de zinc y de las mezclas, en las cuales se presentó estimulación u hormesis.

Tabla 11.- Abundancia Máximas reportadas en la litera para genero *Brachionus*

Especie	ind. ml ⁻¹	Alimento	densidad alimento	Condiciones	Autor
<i>B. calyciflorus</i>	100	<i>Chlorella</i>	1X10 ⁶	25°C, pH7.5	Sarma <i>et al.</i> , 2003
	75 20	<i>Chlorella</i> <i>Scenedesmus</i>	1X10 ⁶ 0.546X10 ⁶		Flores-Burgos 2003
	20 35 80	<i>Chlorella</i>	0.5X10 ⁶ 1X10 ⁶ 4.5X10 ⁶		Peredo-Alvarez 2003
	17	<i>Chlorella</i>	0.5X10 ⁶		Sarma <i>et al.</i> , 1997
	23 50 56	<i>Chlorella</i>	1X10 ⁶ 2.0X10 ⁶ 4X10 ⁶		Sarma <i>et al.</i> , 1997
	79		2.0X10 ⁶	25°C	S. Nandini 1998
	97 118 110 36 42 83		1X10 ⁶ 2.0X10 ⁶ 4X10 ⁶ 1X10 ⁶ 2.0X10 ⁶ 4X10 ⁶	25°C 25°C 25°C 30°C	Sarma <i>et al.</i> , 1998
	31 81		1X10 ⁶ 3X10 ⁶		Sarma <i>et al.</i> , 1999
	7.5 16 95	<i>Dictyopshaerium chliorelloides</i>	2.0X10 ⁶ 4X10 ⁶ 8X10 ⁶		Sarma <i>et al.</i> , 1999
	11 16 40 85	<i>Chlorella</i>	0.75 X10 ⁶ 1.5 X10 ⁶ 3 X10 ⁶ 6 X10 ⁶	27°C	Gama-Flores 1999
	55 65 471		0.5X10 ⁶ 1.5X10 ⁶ 4.5X10 ⁶	22°C, pH7.3	Lucia- Pavón 2001
	77 102		1 X10 ⁶ 3 X10 ⁶	23°C	Sarma <i>et al.</i> , 2001
<i>B patulus</i>	130 285		1.5 X10 ⁶ 3 X10 ⁶	27°C 27°C	Rao 1990
	150 350 550 100 150 225		1X10 ⁶ 2.0X10 ⁶ 4X10 ⁶ 1X10 ⁶ 2.0X10 ⁶ 4X10 ⁶	25°C 35°C	Sarma 1990
	200			25°C, pH7.5	Sarma <i>et al.</i> , 2003
	115 50	<i>Chlorella</i> <i>Scenedesmus</i>	1X10 ⁶ 0.546X10 ⁶		Flores-Burgos 2003

	160 310 385	<i>Chlorella</i>	0.5X10 ⁶ 1X10 ⁶ 4.5X10 ⁶		Peredo-Alvarez 2003
	130 306		1X10 ⁶ 3X10 ⁶		Sarma <i>et al.</i> , 1999
	120 450		0.5X10 ⁶ 1.5X10 ⁶		Sarma <i>et al.</i> , 2001
	245 510 1150		0.5X10 ⁶ 1.5X10 ⁶ 4.5X10 ⁶	22°C, pH7.3	Lucia- Pavón 2001
	106 290		1 X10 ⁶ 3 X10 ⁶	23°C	Sarma <i>et al.</i> , 2001
	240 340 550 800		0.75 X10 ⁶ 1.5 X10 ⁶ 3 X10 ⁶ 6 X10 ⁶	25°C, pH7.2	Sarma <i>et al.</i> , 2001
	300 495		0.5X10 ⁶ 1.5X10 ⁶	23°C, pH7.5	Sarma <i>et al.</i> , 2001
	170 180 290		0.75 X10 ⁶ 1.5 X10 ⁶ 3 X10 ⁶		Nandini, Sarma 2002
<i>B rubens</i>	95	<i>Chlorella</i>		25°C, pH7.5	Sarma <i>et al.</i> , 2003
<i>B macracanthus</i>	30	<i>Chlorella</i>	1X10 ⁶		Enriquez-Garcia 2003
	75 90 120 190 420		0.25 X10 ⁶ 0.5 X10 ⁶ 1 X10 ⁶ 2 X10 ⁶ 4 X10 ⁶	25°C	Sarma, Nandini 2002
<i>B angularis</i>	140 200	<i>Chlorella</i>	0. 75 X10 ⁶ 1.5 X10 ⁶		Gama-Flores 2004
<i>B.variabilis</i>	5 8.4 4.8 2.3 1.9		0.25 X10 ⁶ 0.5 X10 ⁶ 1 X10 ⁶ 2 X10 ⁶ 4 X10 ⁶	25°C, pH7.5	Sarma, Nandini 2001
<i>B. plicatilis</i>	75 190 250	<i>Tetraselmis suecica</i>	0.5 X10 ⁶ 1 X10 ⁶ 2 X10 ⁶		Luna- Andrade 2002
<i>B. havanaensis</i>	2 180 170 4.3 270 300 6 560 650		0.5 X10 ⁶ 1 X10 ⁶ 2 X10 ⁶ 0.5 X10 ⁶ 1 X10 ⁶ 2 X10 ⁶ 0.5 X10 ⁶ 1 X10 ⁶ 2 X10 ⁶	15°C 20°C 25°C	Pavón- Meza 2004

La tasa de crecimiento poblacional puede ser derivada usando tanto el método de tabla de vida demográfica o el de crecimiento poblacional, generalmente la r de estudios demográficos es mayor que la derivada de estudios de crecimiento poblacional debido a la ausencia de competencia intraespecífica en el primero y la presencia de ésta en el segundo, sin embargo independientemente del modo de derivar la r la tasa de crecimiento poblacional de *Brachionus* varía entre 0.1 y 2.5 la tabla 12 muestra información reportada en la literatura sobre la r en varias especies del género *Brachionus*, la r de *B. patulus* varió entre 0.2 y 0.6 mientras que *B. havanaensis* varió entre 0.02 y 0.3 por día, en este trabajo la r más alta fue 0.42 presentada en el testigo lo cual es cercano a lo reportado en la literatura para varias especies de *Brachionus* cuando *B. havanaensis* estuvo expuesto a los metales pesados la r fue afectada negativamente, varios estudios han reportado que la r es más sensible a los contaminantes por ejemplo Gama-Flores y colegas (2003) cultivaron el rotífero *B. angularis* usando *Chlorella* como alimento bajo diferentes concentraciones del pesticida paration metílico la r decreció con el incremento de la concentración del plaguicida en el ambiente. En este trabajo también se puede apreciar que con el incremento de la concentración de zinc o cadmio hubo un decremento en la r de *B. havanaensis* lo cual indica la sensibilidad de esta variable a los contaminantes ambientales.

Tabla 12.- Tasa de crecimiento poblacional (r) para el género *Brachionus* reportada en literatura reciente.

<i>Especie</i>	ind ml ⁻¹	<i>Alimento</i>	Densidad alimento	condiciones	Autor
<i>B. patulus</i>	0.22 0.26 0.3 0.35	<i>Chlorella Vulgaris</i>	0.75 X10 ⁶ 1.5 X10 ⁶ 3 X10 ⁶ 6 X10 ⁶	25C pH 7.2	Sarma <i>et al.</i> , 2001
	0.46 0.55		0.5 X10 ⁶ 1.5 X10 ⁶	23 pH 7.5	Sarma <i>et al.</i> , 2001
	0.28 0.52 0.59		0.75 X10 ⁶ 1.5 X10 ⁶ 3 X10 ⁶		Nandini, Sarma 2002

	0.3			25°C, pH7.5	Sarma <i>et al.</i> , 2003
	0.23	<i>Chlorella</i>	1X10 ⁶		Flores-Burgos 2003
	0.22	<i>Scenedesmus</i>	0.546X10 ⁶		
	0.24	<i>Chlorella</i>	0.5X10 ⁶		Peredo-Alvarez 2003
	0.31 0.37		1X10 ⁶ 4.5X10 ⁶		
<i>B. variabilis</i>	0.16		0.25 X10 ⁶	25, pH 7.5	Sarma, Nandini 2001
	0.18		0.5 X10 ⁶		
<i>B. macracanthus</i>	0.41		0.25 X10 ⁶	25 C	Sarma, Nandini 2002
	0.52 0.45 0.48 0.43		0.5 X10 ⁶ 1 X10 ⁶ 2 X10 ⁶ 4 X10 ⁶		
	0.21	<i>Chlorella</i>	1X10 ⁶		Enriquez-Garcia 2003
<i>B. plicatilis</i>	0.25	<i>Tetraselmis suecica</i>	0.5 X10 ⁶		Luna- Andrade <i>et al.</i> , 2002
	0.48 0.62		1 X10 ⁶ 2 X10 ⁶		
<i>B calyciflorus</i>	0.25	<i>Chlorella vulgaris</i>		25°C,pH7.5	Sarma <i>et al.</i> , 2003
	0.49		1X10 ⁶		Flores-Burgos 2003
	0.18	<i>Scenedesmus</i>	0.546X10 ⁶		
	0.11	<i>Chlorella</i>	0.5X10 ⁶		Peredo-Alvarez 2003
	0.29 0.44		1X10 ⁶ 4.5X10 ⁶		
<i>B. rubens</i>	0.39			25°C,pH7.5	Sarma <i>et al.</i> , 2003
<i>B angularis</i>	0.20 0.36	<i>Chlorella</i>	0.75 X10 ⁶ 1.5 X10 ⁶		Gama-Flores 2004
<i>B. havanaensis</i>	0.02 0.09 0.11 0.19 0.22 0.25 0.21 0.25 0.28		0.5 X10 ⁶ 1 X10 ⁶ 2 X10 ⁶ 0.5 X10 ⁶ 1 X10 ⁶ 2 X10 ⁶ 0.5 X10 ⁶ 1 X10 ⁶ 2 X10 ⁶	15°C 20°C 25°C	Pavón- Meza 2004

La concertación efectiva media (CE_{50}) es análoga a la concentración letal media sin embargo en CE_{50} generalmente tomamos variables como la cantidad de alimento consumido, tasa de natación, tasa de reproducción y tasa metabólica entre otros pero no la mortalidad, la mortandad media se expresa generalmente como concentración letal media (CL_{50}). La concentración efectiva media (EC_{50}) puede ser definida como la concentración de cierta toxina a la cual disminuye una variable biológica al 50% del control; basándose en esto podemos derivar la EC_{50} para la tasa de crecimiento poblacional, los datos de esta variable se presentan en la tabla 13.

Tabla 13.- Concentración Efectiva Media (EC_{50}) basada en la tasa de crecimiento poblacional (r)

Metal	EC_{50}
Cadmio	0.363 mg l ⁻¹
Zinc	0.171 mg l ⁻¹

Conclusiones

El resultado de este estudio indicó que ambos metales tanto Cadmio como Zinc son tóxicos para la especie de rotífero *B. havanaensis* mostrando diferente sensibilidad hacia cada uno de ellos.

Las concentraciones letales medias indican que una concentración de cadmio tan baja como 0.42 mg l^{-1} y 2.3 mg l^{-1} de zinc causan una mortandad de 50% de la población, el provocar un decremento de la población, a largo plazo, causa cambios en la cadena trófica.

El zinc en bajas concentración provoca una estimulación de la reproducción por el fenómeno de hormesis pero en altas concentraciones causa una disminución de la población lo que indica que para disponer el desecho de este metal hay que tomar en cuenta no solo la cantidad sino también la frecuencia de las descargas.

El Cadmio por otro lado independientemente de la concentración causa una disminución del crecimiento poblacional de *B. havanaensis* lo que indica que este metal siempre es toxico.

Cuando se aplica la mezcla de ambos metales pesados el patrón de crecimiento poblacional de *B. havanaensis* fue distinto al testigo y a los crecimientos de cada metal por separado. Esta observación sugiere que las extrapolaciones que se basan en los experimentos por separado para metales pesados no arrojan necesariamente los mismos resultados que cuando están mezclados, esto es lo que ocurre en la naturaleza

En el testigo se obtuvo una abundancia máxima de *B. havanaensis* de 400 ind ml^{-1} por lo cual podría ser utilizado como alimento para larvas de pez, sin embargo bajo condiciones de estrés, por exposición a un tóxico la abundancia máxima se redujo hasta una décima parte de ahí que pueda tener un impacto en el siguiente nivel de la

cadena trófica en su supervivencia y esto por último afecte la cosecha de peces en cuestiones de pesquería.

Basándose en la información sobre diferentes especies de rotíferos encontrada en la literatura y la experiencia en este trabajo *B. havanaensis* es fácil de cultivar en el laboratorio y además es fácil de encontrar en cuerpos de agua naturales dentro del país. Este rotífero mostró ser una especie sensible a cambios ambientales lo cual lo convierte en un organismo excelente para bioensayos en ecotoxicología, por lo que resulta una alternativa muy eficiente para la realización de este tipo de estudios.

Referencias

- Barnes R.D., 1989. Zoología de los Invertebrados, Ed Interamericana, Mexico, 5ta Edición
- Borowitzka, M. A., L. J. Borowitzka, 1988. Micro-algal biotechnology. Cambridge University Press, United Kingdom, 477 pp.
- Buikema AL Jr, Cairns J Jr, Sullivan GW 1974 Evaluation of *Philodina acuticornis* (Rotifera) as bioassay organism for heavy metals. Wat Resour Bull 10: 648-661.
- Calabrese, E.J., Baldwin, L.A. 2003. Inorganics and Hormesis. Critical Reviews in Toxicology 33:215–304.
- Cervantes C., Moreno – Sanchez, R., 1999. Contaminación Ambiental por Metales Pesados, A.G.T. Editor, México
- Dirección de Investigación sobre Sustancias Químicas y Riesgos Eco toxicológicos, Instituto Nacional de Ecología <http://www.ine.gob.mx /index.html>
- Enriquez G.C., Nandini S., Sarma S.S.S. 2003. Food Type Effects On The Population Growth Patterns Of Littoral Rotifers And Cladocerans. Acta Hydrochimica et Hydrobiologie 31(2): 120 - 135
- Flores-Burgos, J., Sarma S.S.S., Nandini, S., 2003. Estudio Preliminar sobre la Fauna de rotíferos de Xochimilco (México). En E. Stephan – Otto (ed.) El agua en la cuenca de México: Sus problemas Históricos y sus perspectivas de solución. Asociación Internacional de Investigadores de Xochimilco, A.C., Parque Ecológico de Xochimilco, UAM Xochimilco, México, pp 163 – 171
- Flores-Burgos J. 1997, Estudio de los rotíferos como indicadores de la calidad de agua, Tesis de licenciatura, Iztacala Edo. De México
- Flores–Burgos J., Sarma S.S.S., Nandini S. 2003. Population Growth of Zooplankton (Rotifers and Cladocerans) Fed *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus acutus* in Different Proportions. Acta Hydrochim. Hydrobiology 31(2003)3, 240 - 248
- Gama-Flores, J.L., Sarma, S.S.S. and Fernández-Araiza, M.A. 1999. Combined effects of *Chlorella* density and methyl parathion concentration on the population growth of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera). Bull. Environ. Contam. Toxicol. 62: 769-775.

- Gama – Flores J.L., Sarma S.S.S., Nandini S., 2004. Acute and Chronic Toxicity Of The Pesticide Methyl Parathion On The Rotifer *Brachionus angularis* (Rotifera) At Different Algal (*Chlorella vulgaris*) Food Densities. *Aquatic Ecology* 38: 27 - 36
- Gardiner M.S., 1978. *Biología de los Invertebrados*, Ed Omega, Barcelona 940p.p.
- Gotsis O 1982 Combined effects of selenium/mercury and selenium/copper on the cell population of the alga *Dunaliella minuta*. *Mar Biol* 71: 217-222
- Halbach, U. 1979. Introductory remarks. Strategies in population research. Exemplified by rotifer population dynamics. *Fortschr. Zool.* 25, 1-27.
- Halbach, U., M. Sievert., M. Westermayer & C. Wiessel, 1983. Population ecology of rotifers as a bioassay tool for ecotoxicological tests in aquatic environments. *Ecotoxicol. environ. Safety* 7: 484-513.
- Instituto Nacional de Ecología 2005. Documento no publicado, comunicación personal vía correo electrónico
- Kammenga, J., Laskowski, R. 2000. *Demography in ecotoxicology*. John Wiley & Sons, New York.
- Koste, W. 1978. *Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas. Ein Bestimmungswerk begründet von Max Voigt. Borntträger, Stuttgart. Vol. 1, Textband 673 p. Vol. 2, Tafelband 234 p*
- Krebs, C. J. 1985. *Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance*. Harper and Row, New York. 789 p.
- Luna-Andrade A, Aguilar-Duran R, Nandini S y Sarma SSS 2002 Combined effects of copper and microalgal (*Tetraselmis suecica*) concentrations on the population growth of *Brachionus plicatilis* Müller (Rotifera). *Water, Air and Soil Pollution* 141: 143-153.
- Nandini S., Sarma S.S.S., 2002. Competition Between The Rotifers *Brachionus patulus* And *Euchlanis dilatata*: Effects of Algal Food Level and Relative Initial Densities of Competing Species. *Russian Journal of Ecology* 33(4): 291 - 295
- Nogrady, T., R. L. Wallace, T. W. Snell. 1993. *Rotifera. Vol. 1. Biology, ecology and systematics*. SBP Academic Publishers, The Hague, 142 p.

NOM-001-ECOL-1996 Diario Oficial de la Federación 1996

Pesticide Action Network, 2005. PAN Pesticida Database Página Web
www.pesticideinfo.org/List_EcoChemSpecies.jsp?Taxa_Group=Zooplankton

Pavón E.L., Sarma S.S.S., Nandini S., 2001. Effect of Different Densities of Live And Dead (*Chlorella vulgaris*) On The Population Growth of Rotifers *Brachionus calyciflorus* And *Brachionus patulus* (Rotifera) Rev. Biol. Trop. 49(3-4): 895 – 902

Pavón E.L., Sarma S.S.S., Nandini S., 2004. Combined Effects of Food (*Chlorella vulgaris*) Concentration And Temperature of The Population Growth Of *Brachionus havanaensis* (Rotifera: *Brachionidae*). Journal of Freshwater Ecology 19(4): 521 - 530

Peredo – Alvarez V.M., Sarma S.S.S., Nandini S. 2003. Combined Effect Of Concentrations Of Algal Food (*Chlorella vulgaris*) And Salt (Sodium Chloride) On The Population Growth Of *Brachionus calyciflorus* And *Brachionus patulus* (Rotifera). Rev. Biol. Trop. 51(2): 399 – 408

Ramakrishna-Rao T., Sarma S.S.S. 1990 Interaction of *Chlorella* Density and DDT Concentration on the Population Dynamics of the Rotifer *Brachionus patulus* (Rotifera). Indian J. Environ. HLTH., 32: 157 – 160.

Rao C.A.P., Sarma S.S.S., 1982, Biological effects of heavy metals pollution, School Science vol.20 No. 4 p.p 18 – 21

Salomons W, Förstner U, Mader P (eds) 1995 Heavy metals. Problems and solutions. Springer-Verlag, Berlin

Sarma S.S.S., Ramakrishna-Rao T. 1990 Population Dynamics of *Brachionus patulus* Muller (Rotifera) in Relation to Food and Temperature. Proc. Indian Acad. Sci. (Anim. Sci.) 99(4): 335 - 343

Sarma S.S.S., 1996. Rotifer Ecotoxicology Laboratory Manual, UNAM Campus Iztacala

Sarma S.S.S., Fernández.-Araiza M.A., Amador-López R. J. 1997 Influence of Food Concentration and Inoculation Density on the Population Growth of *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotifera). Environment and Ecology 15(2):135 - 441

- Nandini S., Sarma S.S.S., Ramakrishna-Rao T. 1998. Effects of Co-existence on the Population Growth of Rotifers and Cladocerans, *Russian Journal of Aquatic Ecology*, 7:1 - 10
- Sarma, S. S. S., Nandini, S., and Araiza, M. A. F. 1998 Effect of methyl parathion-treated prey (*Brachionus calyciflorus*) on the population growth of the predator *Asplanchna sieboldi* (Rotifera). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 61, 135-142
- Sarma SSS, Arevalo S.R., Nandini S 1998. Influence of Food (*Chlorella vulgaris*) Concentration And Temperature On The Population Dynamics Of *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotifera) Isolated From a Subtropical Reservoir of Mexico. *Ciencia Ergo Sum* 5(1): 77 - 81
- Sarma SSS, Fiogbe E.D., Kestemont P. 1999. Population Growth Of *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotifera) In Relation To Algal (*Dictyosphaerium chlorelloides*) Density. *Advances In Fish And Wildlife Ecology And Biology* Vol. 2, pp: 83 – 93 Editor B.L. Kaul, Daya Publishing House, Dheli, India
- Sarma SSS, Fernández A.M., Nandini S 1999. Competition Between *Brachionus calyciflorus* Pallas And *Brachionus patulus* Muller (Rotifera) In Relation To Algal Food Concentration And Inicial Population Density. *Aquatic Ecology* 33: 339 - 345
- Sarma SSS, Ramírez-Pérez T, Nandini S 2000 Comparison of the sensitivity of *Brachionus calyciflorus* and *Brachionus patulus* (Rotifera) to selected heavy metals under low and high food (*Chlorella vulgaris*) levels. *Bull Environ Contam Toxicol* 64: 735-739
- Sarma SSS, Nandini S, Ramírez-Pérez T 2001a. Combined effects of mercury and algal food density on the population dynamics of *Brachionus patulus* (Rotifera). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 67(6): 841-847
- Sarma S.S.S., Ramirez P.T., Nandini S., Peñalosa C. I., 2001b. Combined Effect Of Food Concentration And The Herbicide 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid on The Population Dynamic of *Brachionus patulus* (Rotifera). *Ecotoxicology* 10, 91 – 99
- Sarma S.S.S., Larios J. P., Nandini S., 2001c. Effect of Three Food Types On The Population Growth Of *Brachionus Calyciflorus* and *Brachionus patulus* (Rotifera: *Brachionidae*). *Rev. Biol. Trop.* 49(1): 77 – 84

- Sarma SSS, Nandini S Gama-Flores JL & Fernandez-Araiza MA 2001d Population growth of *Euchlanis dilatata* (Rotifera): combined effects of methyl parathion and food (*Chlorella vulgaris*). Journal of Environmental Science and Health Part B- Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes. 36(1): 43-54
- Sarma, S. S. S., Nandini, S. and Gama-Flores, J. L. 2001e Effect of methyl parathion on the population growth of the rotifer *Brachionus patulus* (O. F. Müller) under different algal food (*Chlorella vulgaris*) densities. Ecotoxicol. Environ. Saf. 48, 190-195.
- Sarma S.S.S., Nandini S., 2001f. Life Table Demography And Population Growth Of *Brachionus variabilis* Hempel, 1896 In Relation to *Chlorella vulgaris* Densities. Hydrobiologia 446/447: 75 - 83
- .Sarma S.S.S., Nandini S., 2002. Comparative Life Table Demography and Population Growth of *Brachionus macracanthus* Daday, 1905 And *Platyias quadricornis* Ehrenberg, 1832 (Rotifera: *Brachionidae*) in Relation to Algal (*Chlorella vulgaris*) Food Density. Acta Hydrochimica et Hydrobiologie 30(2 – 3): 128 - 140
- Sarma S.S.S., Trujillo H.E, Nandini S. 2003. Population Growth of Herbivorous Rotifers and Their Predator (*Asplanchna*) on Urban Wastewaters , Aquatic Ecology 37:243 - 250
- Serrania-Soto C., Sarma S.S.S., 2003. Some Taxonomical Aspects of Rotifera of Central México, Scientae Naturae, 6: 53-61.
- Snell, T. W., C. R. Janssen, 1995. Rotifers in Ecotoxicology: a review. Hydrobiologia 313/314: 231-247.
- Ville C.A., Walter, W.F., Barnes, R.D., 1987, Zoología, 6ta edición, Ed Interamericana, México
- Weber, C. 1993. Methods of measuring the acute toxicity of effluents to freshwater and marine organisms. US Environment Protection Agency EPA/600/4-93/013, Washington DC.