

03096
3



Posgrado en
Ciencias del Mar
y Limnología

Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México



**Crecimiento de rotíferos y cladóceros (*Brachionus rubens*,
Brachionus rotundiformis, *Moina macrocopa* y *Ceriodaphnia*
dubia) en salinidad baja y su uso como alimento para las larvas
del charal (*Chirostoma riojai*.)**

T e s i s

que para obtener el grado académico de

Maestro en Ciencias

presenta

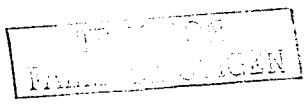
BIÓL. JESÚS MORALES VENTURA

Directora de tesis **DRA. NANDINI SARMA**

Comité tutorial

- DR. ALFONSO LUGO VÁZQUEZ.**
- DR. JAVIER CARMONA JIMÉNEZ.**
- DR. JORGE CIROS PÉREZ.**
- DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ.**

México D. F 2003





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 compañera Teresa, a quien le agradezco su cariño, apoyo y comprensión sin los cuales no habría sido posible cursar estos estudios y realizar este trabajo.

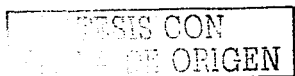
A mis compromisos en el camino de la vida, Rodrigo y David, por que parte del tiempo y atención invertida a este documento, fue de ellos.

In memoriam a mis raíces, mis padres Ricardo (†) e Irene (†) a quienes de todo corazón les agradezco sus dadas que me dieron en vida.

A mis hermanas Isabel y Victoria, a mis hermanos Rubén, Rodolfo, Raúl, Humberto, Porfirio, Bernardo y Daniel (†), y a sus familias.

A todos aquellos auxiliares del cuerpo, mente y espíritu: Victoria Morales, Sra. Chelito, Rosa Marta Quintero y Alberto del Prado. con quienes he andado el camino paralelo y convergente.

A mis compañeros de la carrera de biología.



Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en forma electrónica el contenido de mi trabajo académico.
NOMBRE: Jesús Morales
Veritum
FECHA: 21 - NOV - 03
FIRMA: [Signature]

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por estos estudios y tesis.

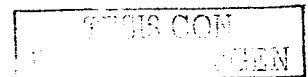
A la Dra. Nandini Sarma por haber aceptado dirigir mi trabajo de tesis, su paciencia y ánimos en la realización de este trabajo de tesis.

Al Dr. S. S. S. Sarma por valiosas sugerencias en la realización de este trabajo, así como las facilidades otorgadas en mi estancia en el Laboratorio de Zoología Acuática.

A Biol. Gerardo García García por su ayuda en el desarrollo de los experimentos.

A todos los compañeros del Laboratorio de Zoología Acuática: Fabiola, Luci, Cecilia, Mayeli, Tere, Juan, Victor, Ernesto, Rubén, Alejandro y los que sin querer olvide, por su compañerismo y ambiente agradable en el laboratorio.

A los integrantes de mi jurado: Dr. Alfonso Lugo Vázquez, Dr. Javier Carmona, Dr. Jorge Ciro Pérez y Dr. Luis Zambrano González, por su tiempo, valiosas observaciones e indicaciones así como su pa_ciencia y disposición en la revisión de este documento.



Al CONACYT por su apoyo Reg. No. 159074. Y al Proyecto Área Básica 41786 – Q.

Al Instituto Nacional de la Pesca, por su apoyo institucional para la realización de los estudios de maestría y la presente tesis.

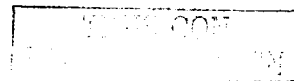
Al M. en C. Gerardo Figueroa Lucero y a la M. en C. Cecilia Hernández Rubio por la donación de las larvas de *Chirostoma riojai*, a través del proyecto CGPI – INP20020602.

Al personal del posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, como la Sra. Norma Suazo Pineda, por su apoyo y disponibilidad a auxiliar al alumnado en sus trámites.

A todos nosotros, los mexicanos quienes con sus recursos mantiene a la mayor parte de la investigación de este país y la educación pública, como lo es la Universidad Nacional Autónoma de México.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Rotíferos y cladóceros	1
1.2 Charales	1
1.3 Acuicultura	2
1.4 Comportamiento alimentario	2
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Rotíferos y cladóceros	4
2.1.1 Rotíferos	4
2.1.2 Cladóceros	6
2.2 Aterinópsidos: Charales	7
2.2.1 <i>Chirostoma riojai</i>	8
2.2.2 Larvicultivo de especies del género <i>Chirostoma</i>	8
2.3 Acuicultura	9
2.3.1 Zooplancton y acuicultura	9
2.3.2 Larvicultivo	11
2.4 Comportamiento alimentario	12
2.4.1 Respuesta funcional	12
2.4.2 Selectividad	13
2.4.3 Factor luz	14
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	16
3.1 Hipótesis	16
3.2 Objetivo general	16
3.2.1 Objetivos particulares	16
4. MATERIAL Y METODOS	17
4.1 Material biológico	17
4.2 Diseño experimental	18
4.2.1 Crecimiento poblacional	18
4.2.2 Comportamiento alimentario	20
4.2.2.1 Respuesta funcional	20
4.2.2.2 Selectividad	21



4.2.2.3 Crecimiento y supervivencia de larvas de <i>C. riojai</i>	23
5. RESULTADOS	26
5.1 Crecimiento poblacional de zooplanctones	27
5.1.1 Densidad máxima	31
5.1.2 Día de densidad máxima	32
5.1.3 Tasa de crecimiento poblacional	35
5.2 Comportamiento alimentario	37
5.2.1 Respuesta funcional	37
5.2.2 Selectividad	42
5.2.3 Crecimiento y supervivencia de larvas	49
6. DISCUSION	50
6.1 Crecimiento poblacional de zooplanctones	50
6.2 Comportamiento alimentario	51
6.2.1 Respuesta funcional	51
6.2.2 Selectividad	53
6.2.3 Crecimiento y supervivencia de larvas de <i>C. riojai</i>	54
7. CONCLUSIONES	56
8. BIBLIOGRAFÍA	57

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de las relaciones entre los organismos, como los peces y zooplancton, así como de estos con su medio, permite comprender el entramado de la naturaleza. Dicha información también puede emplearse en la solución de problemas causados por el hombre a las especies y/o en actividades económicas como la acuicultura.

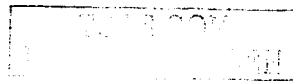
1.1 Rotíferos y cladóceros

Aproximadamente la mitad del total de la superficie mundial de los embalses epicontinentales tienen distintas concentraciones de sales (Margalef, 1983). En nuestro país, cuatro de los ocho lagos más grandes son salinos y es frecuente encontrar ríos, manantiales o pozos con aguas salinas; no obstante esta salinidad se encuentran formas de vida, por ejemplo rotíferos y peces como los charales (Alcocer, 1997).

Los rotíferos y cladóceros son grupos importantes del zooplancton de agua dulce, como eslabones son primordiales en la transmisión de la materia y energía a los niveles tróficos superiores de la cadena alimentaria. Son dulceacuícolas y de gran diversidad; por el contrario pocas especies han incursionado en ambientes salinos con éxito, en parte debido a su baja tolerancia a condiciones salinas (Dodson y Frey, 1991; Nogrady *et al.*, 1993). Si bien los rotíferos y cladóceros tienen escasa adaptación a las condiciones salinas (por ejemplo mortalidades altas y escaso crecimiento), algunas especies tienen un margen de tolerancia mayor lo que les permite enfrentar cambios circunstanciales de salinidad (Peredo-Alvarez *et al.*, 2002).

1.2 Charales

Los aterinópsidos conocidos popularmente como pescados blancos y charales son consumidos tradicionalmente en distintas regiones de México (Rosas, 1973). Desafortunadamente algunas especies del género *Chirostoma* se encuentran amenazadas o en peligro de extinción y sus pesquerías han disminuido drásticamente. El origen evolutivo de estos peces es el mar, en consecuencia algunas especies dulceacuícolas



tienen tolerancia a la salinidad, por lo que es posible un mejor crecimiento en agua salina que en agua dulce (Martínez-Palacios *et al.*, 2002).

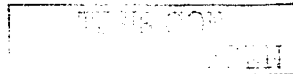
1.3 Acuicultura

La acuicultura puede rescatar a las poblaciones de peces nativos afectadas por las actividades antropogénicas. En México se tiene experiencia y conocimiento en el cultivo de especies exóticas, pero la información para el cultivo de especies nativas dulceacuícolas es escasa (Orbe *et al.* 1996), ya que muy poca investigación se ha realizado para el cultivo de las especies nativas económicamente importantes como es el caso de los pescados blancos (Zambrano y Macías-García, 2000).

En la piscicultura, los rotíferos y cladóceros son importantes por su valor nutrimental para el desarrollo de las etapas tempranas de los peces (Watanabe, 1988). Si bien se ha tratado de sustituir estos invertebrados con alimentos peletizados, falta investigación en diversos aspectos que permitan una sustitución completa de los alimentos vivos (Cahu y Zambonino, 2001), por lo que se cultivan algunas especies del zooplancton (conocido como alimento vivo, cultivos secundarios o de apoyo) para alimentar a las larvas. Por otro lado, los nauplios de *Artemia* sp. (organismos eurialinos) son un alimento vivo adecuado para las larvas de los peces; pero la escasa producción de los quistes en comparación a la demanda, será un problema para la acuicultura mundial en el corto plazo; por otra parte los nauplios viven poco en agua dulce (seis horas) y una vez muertas no son comidas por los peces, lo que reduce su disponibilidad para las larvas, además su descomposición provoca deterioro de la calidad del agua (Castellanos-Páez, *et al.* 1999).

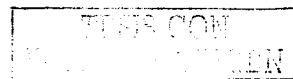
1.4 Comportamiento alimentario

La depredación es importante en el control y estabilización de las poblaciones (Colinvaux, 1997) ya que los consumidores afectan la distribución y abundancia de sus presas y a su vez las presas influyen a las poblaciones de los depredadores. El estudio de las relaciones presa-depredador son herramientas en el diseño de medidas de regulación de poblaciones silvestres (Begon *et al.*, 1995). Los estudios de respuesta funcional y de selectividad con el binomio zooplancton - larvas de peces pueden ser de utilidad para un uso eficiente del alimento vivo, supervivencias y crecimientos mayores de los peces en la piscicultura.



Así, con la acuicultura es posible desarrollar esquemas de conservación de la ictiofauna mexicana, como los peces blancos y charales, ya sea para repoblación o con fines de cultivo semi intensivo e intensivo comercial. Por otro lado, es conveniente explorar el uso de las especies zooplanctónicas con capacidad para sobrevivir en aguas salinas, para el cultivo masivo de alimento vivo, como alternativas a la *Artemia*. Cultivos que sean de alto rendimiento, bajo costo y buena calidad nutrimental (Castellanos-Páez, *et al.*, 1999), además de contribuir al conocimiento del uso del zooplancton dulceacuícola en la acuicultura (Sarma, 1991).

El presente documento es el resultado de investigar la posibilidad de emplear al zooplancton dulceacuícola (*Brachionus rubens*, *Moina macrocopa* y *Ceriodaphnia dubia*) y al rotífero eurihalino *Brachionus rotundiformis*, para alimentar larvas de charales (*Chirostoma rioja*) en condiciones de salinidad. Mediante la evaluación del crecimiento poblacional de estos rotíferos y cladóceros a diferentes concentraciones de NaCl, y el consumo de estos zooplanctontes dulceacuícolas por las larvas de los charales en ambientes salinos.



2. ANTECEDENTES

2.1 Rotíferos y cladóceros

Los lagos salinos representan el 0.007% del agua del planeta, mientras que los lagos de agua dulce constituyen el 0.006%. Una clasificación para este tipo de aguas es: oligohalina con 0.1 a 1 g Cl l⁻¹; mesohalina de 1 a 10 g Cl l⁻¹ y polihalina de 10 a 17 g Cl l⁻¹ (Alcocer, 1997). El gradiente de salinidad es el factor que más influye en la distribución de los seres vivos de las aguas salobres, el intervalo de salinidad ocupado por una especie depende de la eficiencia de sus mecanismos fisiológicos (Wetzel, 1981).

Habitualmente las especies zooplanctónicas dulceacuícolas no pueden vivir a salinidades mayores de 4 g l⁻¹ (Pennak, 1989). Sin embargo, el zooplancton que habita lagos salados como los rotíferos, cladóceros y copépodos tiene su origen en las aguas dulces y una vez adaptados al medio salino pueden tener una productividad elevada (Wetzel, 1981). Se conoce la fauna de los lagos salados de diversos continentes, muchos géneros del zooplancton se repiten, de los rotíferos característicos de este tipo de lagos son *Brachionus* y *Hexarthra*, y cladóceros como: *Moina*, *Macrothrix*, *Alona* y *Daphnia* (Alcocer, 1997).

El régimen de vida de rotíferos y cladóceros es muy parecido. La reproducción partenogenética explica la multiplicación rápida de los rotíferos y cladóceros, por ejemplo la población del rotífero *Brachionus calyciflorus* puede duplicarse en 24 horas en condiciones favorables (Sarma y Nandini, 2001), ambos grupos tienen periodos de vida cortos (de días a pocas semanas). La velocidad de nado promedio de los rotíferos se sitúa en 0.1 – 0.7 mm/s, cladóceros de 3.0 mm/s y copépodos de 80 mm/s (Dumont y Negrea, 2002). En cultivo, tanto rotíferos como cladóceros son alimentados con distintas especies de microalgas, por ejemplo de los géneros *Chlorella* y *Scenedesmus*.

2.1.1 Rotíferos

Los rotíferos son básicamente dulceacuícolas y pocas especies habitan en condiciones salinas, por lo que se les considera poco halotolerantes (Peredo-Alvarez *et al.*, 2002). Las



especies eurihalinas como *Brachionus rotundiformis* y *Brachionus plicatilis* viven en amplios intervalos de salinidad: esta es una variable importante para la población, por ejemplo poblaciones de *B. rotundiformis* pueden vivir en distintas combinaciones de temperatura y salinidad; así algunas cepas están adaptadas a temperaturas altas y salinidad baja y otras a temperaturas y salinidades altas (Serra *et al.*, 1998). Respuestas observadas en cepas de *B. plicatilis*, que a salinidades de 5 a 45 g l⁻¹ tienen alta tolerancia a la salinidad baja con tasas de producción alta (Mustahal *et al.*, 1991). Cambios rápidos en la salinidad y temperatura afectan la movilidad de *B. plicatilis*, cuando se reduce de 15 g l⁻¹ a 5 g l⁻¹ el movimiento disminuye al 50% (Oeie y Olsen, 1993). Este efecto se ha corroborado tanto en *B. plicatilis* como en *B. rotundiformis*, el primero más tolerante que el segundo a las bajas salinidades (Purser y Battaglione, 2000). Los niveles extremos de alimento, temperatura y salinidad afectan de manera diferencial la reproducción asexual y sexual de las hembras de los rotíferos (Miracle y Serra, 1989, Shell, 1986).

Un ejemplo de la presencia de rotíferos en embalses salinos en México son *B. rotundiformis* en Alchichica, Puebla, y *Hexarthra polyodonta* y *Brachionus inermis* en La Alberca y Rincón de Parangueo en el estado de Michoacán (Alcocer, 1997; Alcocer *et al.*, 2002). *H. polyodonta* y *B. inermis* presentan variaciones en sus proporciones, en La Alberca es de 99 y 1% respectivamente, porcentaje que se invierte en Rincón de Parangueo con 92% de *B. inermis* y 8% de *H. polyodonta* (Alcocer *et al.*, 2002). Las características de esos embalses que necesariamente afectan la distribución del zooplancton son: Alchichica tiene aguas con concentración de cloro mayor que la de carbonatos y sulfatos, con salinidad de 8.3 a 9 g l⁻¹ además de pH básico (8.6-9.2) y un apreciable contenido de sales disueltas (K25 desde 12 676 – 13 727 $\mu\text{S cm}^{-1}$) (Arredondo, 2002, Lugo *et al.*, 2002, Alcocer y Lugo, 2003).

Como un antecedente al presente trabajo Peredo-Alvarez (2002) experimentó con *Brachionus calyciflorus* y *Brachionus patulus*. Combinó distintas salinidades y densidades de alimento (*Chlorella vulgaris*), encontró que la tolerancia media a la presencia de NaCl fue de 3.8 y 2.1 g l⁻¹ y las poblaciones no crecieron a más de 3.0 y 2.0 g NaCl l⁻¹ para *B. calyciflorus* y *B. patulus* respectivamente. Por otro lado, Sarma *et al.* (2002) estudiaron el



efecto de diferentes concentraciones de cloruro de sodio en *B. rotundiformis* y *Hexarthra jenkiniae*, ambas especies mostraron su óptimo crecimiento poblacional en el intervalo de 6 a 9 g NaCl l⁻¹ y ninguno sobrevivió a 1 g NaCl l⁻¹. Esta información muestra que el crecimiento de los rotíferos dulceacuícolas es posible a cantidades cercanas a los 3 g NaCl l⁻¹ y que los zooplanctontes que toleran salinidades mayores, no crecen en agua libre de salinidad.

2.1.2 Cladóceros

Los cladóceros son los crustáceos del plancton que más se asemejan ecológicamente a los rotíferos por su tamaño pequeño, desarrollo rápido y en ciclos reproductivos, si bien la biomasa de los cladóceros suelen superar ampliamente a los rotíferos (Margalef, 1983). Son pocas las especies marinas, y si bien los cladóceros son esencialmente dulceacuícolas, tienen capacidad osmoreguladora, comparable a los teleósteos y crustáceos decápodos, lo que les permite vivir en un amplio intervalo de salinidades, desde levemente salinos como el agua destilada hasta 5 g l⁻¹ (Thorp y Covich, 1991. Zhao, 1991; Frey, 1993; Aladín y Potts, 1995), las especies con mayor tolerancia viven en aguas meso-salinas e hipo-salinas, aunque tienden a declinar al aumentar la salinidad (Zhao, 1991). A las especies *Moina hutchinsoni*, *Moina eugeniae*, *Moina mongolica* y *Moina minuta* se les puede encontrar en medios salinos (Goulden, 1968).

En 1999, Elías-Gutiérrez *et al.* informaron de 106 especies para México, pertenecientes a 33 géneros, de hábitos limnéticos (*Ceriodaphnia*) o de ambientes béticos los menos (*Macrothrix*) y otros tanto limnéticos como litorales (*Moina*). Generalmente los cladóceros tienen entre 3 y 6 estadios pre-adultos, como las especies pequeñas de *Bosmina* con 2 estadios y en las grandes como *Daphnia magna* con un número mayor a las indicadas (Margalef, 1983). Las especies de *Moina* pueden reproducirse a la edad de 4 a 7 días, con camadas de 4 a 22 crías por hembra, en intervalos de 1.5 a 2 días (Rottmann, 1992).

Tanto para rotíferos como para los cladóceros la salinidad tiene un efecto importante en el crecimiento de sus poblaciones, que en su momento son determinantes para que puedan

colonizar y supervivir en un medio salino. Una manera de evaluar el efecto de los factores abióticos en las poblaciones del zooplancton es con los parámetros de: densidad máxima y día de densidad máxima, así como la tasa de crecimiento poblacional ("r"), ésta última es muy sensitiva a los cambios en el ambiente. Idealmente la gráfica que describe el crecimiento poblacional de los rotíferos es de tipo exponencial, pero en la práctica para el calculo de "r" es necesario considerar varios valores y periodos a los largo de la curva de crecimiento (Sarma, 1996).

2.2 Aterinópsidos: Charales

Los pescados blancos y charales son especies importantes en la ictiología mexicana, sin embargo las actividades humanas han afectado a sus poblaciones y la existencia de distintas especies del género *Chirostoma*, por ejemplo *C. bartoni* y *C. promelas* se encuentran bajo el estatus de amenazadas e incluso *C. charari* y *C. compressum* en peligro de extinción (CONABIO, 1998; SEMARNAP, 1994). Además de que las capturas de estos aterinópsidos han disminuido drásticamente; de 1986 a 1994 la captura promedio fue de 7,855 toneladas, pero a partir de 1995 la producción disminuyó de tal manera que en 1998 la reducción fue de aproximadamente 80% respecto al promedio (SEMARNAP, 1999).

Los ancestros de los charales fueron marinos, lo que les permite cierta tolerancia a la salinidad, por ejemplo en lagos salinos encontramos aterinópsidos endémicos como: *Poblana alchichica* en Alchichica y *Poblana letholepis* en La Preciosa ambos en Puebla; *Chirostoma bartoni* en La Alberca en Guanajuato; y *Chirostoma jordani* en Cuitzeo Guanajuato y Michoacán (Alcocer, 1997; Arredondo, 2002; Chacon y Alvarado, 2002). Es de mencionar que en pruebas de laboratorio con larvas del pescado blanco (*Chirostoma estor*) mostró mejor supervivencia y crecimiento a 10 partes por mil de salinidad que en agua dulce, con la ventaja adicional de que disminuyen las enfermedades y mortalidad causadas por hongos (Ballinas *et al.* 2001, Comas *et al.*, 2001).

2.2.1 *Chirostoma riojai*

A *Chirostoma riojai* se le conoce con los nombres comunes de charal del alto Lerma y charal del valle de Toluca. Es endémico del valle de Toluca en el estado de México, su distribución principal es en la cabecera del río Lerma y en las lagunas de esta zona (Paulo-Maya, 2000; Méndez-Sánchez *et al.*, 2002). Sin embargo, el deterioro ambiental de las cuencas de los ríos Pánuco, Balsas y Lerma y asociado con la introducción de especies exóticas han desplazado a las especies nativas como *C. riojai*. En el pasado, el charal del valle de Toluca se encontraba en 15 localidades del Alto Lerma, actualmente solo en dos (Méndez-Sánchez y Díaz-Pardo, 1997), por lo que Alcántara-Soria y Soto-Galera (1997) estiman que *C. riojai* está en peligro de extinción.

La alimentación de *C. riojai*, al igual que otros charales y pescados blancos, es zooplanctófaga, a distintas tallas y temporadas del año consume diferentes tamaños de zooplancton, (Paulo-Maya, 2000). Méndez-Sánchez y Díaz-Pardo (1997) consideran que la dieta general es de: cladóceros (*Daphnia catawba* la mayor consumida), copépodos, insectos y peces, por lo que se le califica de zooplanctófago. Debido a que este atherinópsido selecciona especies del género *Daphnia* y sumado a la estrecha amplitud de la dieta, Alcántara-Soria y Soto-Galera (1997), consideran que *C. riojai* es un zooplanctófago especializado. Hernández-Hernández y Soto-Galera (2000) determinaron que *C. riojai* presenta tácticas alimenticias diferentes dependiendo de la localidad y época del año, así en una localidad es zooplanctófago, en otra es zooplanctófago-entomófago y en una tercera esencialmente entomófago. En condiciones naturales selecciona presas por su talla, el tamaño del zooplancton seleccionado fue 0.11– 3.22 mm de la región limnética y de 0.11 mm en la cola del embalse de estudio. También se observaron tendencias de aumento en la selectividad de tallas cada vez más grandes del zooplancton conforme crecen los peces (Amilpa *et al.*, 2002).

2.2.2 Larvicultivo de especies del género *Chirostoma*

En 1970 Rosas alimentó larvas de *C. estor*, y encontró que hasta los 5.5 mm de longitud, consumieron protozoarios *Paramecium caudatum*, *P. multimicronucleatum* y alimento artificial; a tamaños de 13.0 a 36.0 mm consumieron *Cyclops* y *Bosmina*. Por otro lado,



Figuroa y colaboradores (1999b) cultivaron alevines de *C. humboldtianum* con alimento natural y balanceado (35% de proteína), el mejor crecimiento fue con alimento natural (Figuroa-Lucero *et al.* 1999a) la mayor supervivencia y peso fue con la combinación *Artemia* – *B. plicatilis*, con la dieta *B. plicatilis* – Balanceado alcanzó una supervivencia de 70% pero el aumento de peso promedio fue de 27 mg (aproximadamente el 30% del más alto); con el alimento balanceado las larvas murieron dos días después de iniciado el ensayo. Barriga-Tovar *et al.* (2000) experimentaron con larvas de *C. estor estor* a siete temperaturas distintas, encontrando que el mejor crecimiento y supervivencia fue a 24.9 °C. Campos –Mendoza *et al.* (2000) compararon el crecimiento de tres especies, *C. estor estor*, *C. estor copandaro* y *C. attenuatum*, alimentados con microalgas, rotíferos y nauplios de *Artemia*; el mejor crecimiento fue de *C. estor copandaro*, seguido de *C. estor estor* y *C. attenuatum*.

En cuanto a *C. riojai*, existen las experiencias de Ramos-Ortiz *et al.* (2000) quienes alimentaron con distintas combinaciones de alimento vivo y artificial, la mejor respuesta fue con rotíferos y nauplios de *Artemia* sp. con una supervivencia de 96% y mayor incremento en peso y longitud. Meza y Figuroa (2002), alimentaron larvas de *C. riojai* con los rotíferos *Brachionus calyciflorus*, *B. plicatilis* y *B. rubens* y encontraron mayor ganancia en peso y talla con el segundo rotífero.

Como uno de los antecedentes, la respuesta en el crecimiento de larvas de *Chirostoma humboldtiaum* (Morales-Ventura *et al.*, 2001) a las densidades de 25 a 75 larvas por litro, alimentados con *Brachionus rubens*, la supervivencia fue de 92% (25/l) 70% (50/l) y 50% (75/l). También a las mismas densidades y después del día 18 con nauplios de *Artemia*, el mayor peso fue a 25 /l supervivencia de 60% (Morales-Ventura datos no publicados).

2.3 Acuicultura

2.3.1 Zooplancton y acuicultura

La mayoría de las larvas de peces de importancia comercial tienen tamaños de boca en el intervalo de 50-300 μm (Khádka y Rao, 1986), por su tamaño (de 100 a 400 μm , el

promedio es de 150 μm) los rotíferos son adecuados como alimento y menos evasivos que los cladóceros o los copépodos (de talla > 500 μm) (Thorp y Covich, 2001). Otras ventajas de los rotíferos, dependiendo de la especie y de las condiciones, son: distribución amplia, tiempo de generación corto (cuatro días), cultivo en altas densidades (> 2000 ind. ml^{-1}), alto contenido de proteína, elevada asimilación y eficiencia del consumo (Sarma, 1998). Adicionalmente, tienen perfiles y contenidos de ácidos grasos esenciales, básicos para las primeras etapas larvales (Watanabe, 1988). En el larvicultivo de peces, se ha calculado que una larva consume aproximadamente 50 000 rotíferos por semana, en tanto no consume alimentos artificiales (Sarma, 1991). La importancia del alimento vivo en esta etapa es mayor si consideramos que dependiendo del tipo de cultivo, la alimentación representa el 15% del costo total de producción (Lavens y Sorgeloos, 1996).

Así, a partir de la década de los 1980's, el cultivo controlado de rotíferos y la generalización de su uso facilitó el cultivo comercial de distintos peces. Son el primer alimento de la mayoría de las larvas de peces ovíparos y conforme crecen consumen otras especies del zooplancton como los cladóceros de los géneros *Daphnia* y *Moina*. Las especies de *Moina* son más pequeñas que las de *Daphnia* pero con un mayor contenido de proteína; las especies de *Moina* son empleadas en el cultivo de peces de ornato y salmónidos entre otros. Incluso se ha usado a *Moina micrura* para remplazar el uso de *Artemia* sp. en el cultivo del langostino *Macrobrachium rosenbergii* (Delbare y Dhert 1996). *Moina mongolica* es otra especie que tiene una tolerancia alta a la salinidad (cerca a los 50 g l^{-1}), por lo que se ha probado como alimento vivo en los peces marinos *Pagrosomus major* y *Lateolabrax japonicus* con resultados comparables al uso de *Artemia* (He et al., 2001).

Los rotíferos dulceacuícolas más cultivados son *Brachionus calyciflorus* y *Brachionus rubens* alimentados con microalgas como *Scenedesmus costato-granulatus* (Skwja), *Kirchneriella contorta* (Schmidle), *Phacus pyrum* (Ehrenberg), *Chlorella spp.*, así como con levaduras y dietas artificiales (Dhert, 1996). En cuanto al cultivo masivo de los rotíferos marinos, *B. plicatilis* y *B. rotundiformis* son los más empleados y de quienes el maricultivo aún depende para la alimentación en etapa del larvicultivo (Lubzens et al., 2001).

Un ejemplo del esquema general de alimentación para larvas de peces marinos en Japón es el siguiente: se inicia con rotíferos para alimentar a mayores de 2.3 mm de longitud y se continua por 30 días; cuando alcanzan 7 mm o más se utilizan copépodos marinos como *Tigriopus*, *Acartia*, *Oithona* y *Paracalanus* o en su ausencia *Moina* y *Daphnia*, además de *Artemia*; para larvas mayores de 10 a 11 mm se alimentan con pescado picado, bivalvos o con alimento artificial (Watanabe, 1988).

2.3.2 Larvicultivo

El cultivo de peces a escala semi-intensiva o intensiva requiere de un suministro constante de juveniles ("crías"), sin embargo este es un cuello de botella en la piscicultura (Sarma, 1991; Dhert *et al.*, 2001). Un componente de dicho cuello de botella es el cultivo de las larvas de los peces. En condiciones naturales las larvas de los peces tienen mortandades elevadas, causadas principalmente por la depredación y la falta de alimento. En estas etapas el crecimiento es rápido por lo que se requiere de tasas de alimentación adecuadas para mantener el desarrollo y la supervivencia apropiadas (Rabe y Brown, 2000). La alimentación de las larvas contrasta a tal grado con su etapa adulta, que desde este punto de vista, Gerking (1994) considera que pudieran tratarse como especies distintas, aparte de que las necesidades nutrimentales son marcadamente diferentes (Takeuchi, 2001).

Por otro lado, las larvas de algunas especies no tienen un sistema enzimático bien desarrollado para la digestión, por lo que requieren de una aportación exógena que les ayuden en la alimentación o inicie la aparición de su equipo enzimático, (Dabrowski, 1979; Kolkovski, 2001). Cuando las presas vivas son ingeridas por las larvas, puede aportar enzimas autolíticas proteolíticas necesarias para facilitar la digestión. El desarrollo del equipo enzimático digestivo en las etapas larvales al parecer depende de la especie, en el caso de *Chirostoma estor* se encontraron indicios de un sistema enzimático bien desarrollado (Ríos *et al.*, 2001).

También en el cultivo de las larvas se presentan mortandades importantes al inicio de la alimentación exógena. Aspectos como la densidad, tamaño, intensidad de luz,

temperatura y tipo del alimento vivo, así como habilidad de escape de la presa, afectan tanto la supervivencia como el crecimiento; además características de las larvas como el tamaño de la boca y capacidad de percibir las presas, su experiencia previa para cazar afectan a la eficiencia de alimentación (Gerking, 1994, Puvanendran y Brown, 1999, Planas y Cunha, 1999). La importancia de uno o más factores es variable; para algunas larvas el tamaño de la presa es más importante que el número total de organismos, o considerar la relación de la anchura de la boca con el tamaño máximo de ingestión en distintas especies de peces (Olsen *et al.*, 2000). Así, es importante contar con información y tecnología que permita resolver esta problemática.

2.4 Comportamiento alimentario

Como parte de la red alimentaria, las poblaciones de rotíferos y cladóceros son afectados por la depredación ejercida por las larvas de peces. La cual es influida por diversos factores: por ejemplo el comportamiento de los depredadores se altera al cambiar la relación entre el número de las presas y los depredadores, o que la capacidad de las larvas de los peces para manejar a sus presas varía con la edad (Begon *et al.*, 1995). En cuanto al número de presas y depredadores, cuando los segundos son escasos pueden afectar poco; pero si son muy abundantes, pueden controlar o devastar a la población de las presas (Colinvaux, 1997).

2.4.1 Respuesta funcional

En general, cuanto mayor es la densidad del alimento más ingiere el consumidor. La relación entre la tasa de consumo de un individuo y la densidad del alimento recibe el nombre de respuesta funcional del consumidor (Begon *et al.*, 1995). Se han descrito los siguientes tipos de respuesta funcional: el tipo I es el modelo teórico más simple. al aumentar la densidad de presas el depredador consume un número constante de presas, pero al saturarse el consumo del depredador se observa como una meseta en la gráfica. Ejemplo de este comportamiento son la mayoría de los animales filtradores como los camarones y pulgas de agua (Colinvaux, 1997). La respuesta funcional del tipo II, se observa frecuentemente en los peces de agua dulce. En este caso la tasa de consumo aumenta conforme aumenta la densidad de las presas, pero cuando se alcanza el máximo



o la meseta de saturación la velocidad disminuye presentando una forma curvilínea. Posiblemente como una señal de que si bien al aumentar la densidad de las presas resulta más fácil encontrarlas y atraparlas, el tiempo dedicado a la manipulación (perseguir, dominar, consumir la presa e iniciar una nueva búsqueda) no disminuye al llegar al máximo (Begon *et al.*, 1995). La respuesta de tipo III o sigmoidea, es aquella en la que existe un aumento inicial en la tasa de consumo con el aumento de la densidad de presas hasta un punto de inflexión en el cual comienza la desaceleración hasta alcanzar una meseta similar a la que se da en la respuesta de tipo II. (Begon *et al.*, 1995).

Estos estudios pueden proporcionar información de cual es la cantidad mínima de presas a ofrecer a los peces para un uso óptimo de este alimento, teniendo en consideración que la densidad óptima cambia dependiendo de la edad de las larvas y del tipo de la presa suministrada.

2.4.2 Selectividad

Juanes (1994) caracteriza la selectividad (o elegibilidad) como la diferencia entre la distribución de los distintos tipos de presas existentes en el ambiente (disponibilidad) y las especies presentes en la composición de la dieta del depredador; mientras que la preferencia se refiere a la selectividad cuando todos los tipos de alimentos son igualmente disponibles.

Un depredador puede optar por la especie y el tamaño de la presa que consume así como los medios para encontrarla. La ingestión o no de la presa tiene relación con factores como: la disponibilidad de la energía que aporta, el tiempo de manipulación, y los tipos de presas disponibles. Los índices de selectividad permiten caracterizar las preferencias del depredador por las especies de las presas en particular. Dichos índices consideran la frecuencia relativa de una especie - presa en el ambiente y en la dieta del depredador (Lampert y Sommer, 1997). El índice alfa (α) de Manly es una medición simple de la preferencia que considera la probabilidad de encuentro del depredador con una presa y la probabilidad de capturar a esa presa en el encuentro (Chesson, 1983).



2.4.3 Factor luz

Para localizar sus presas los peces emplean medios como: la quimiorrecepción, electrorecepción, la mecanorrecepción o la visión, estos no se excluyen y se combinan en diversos grados. Por ejemplo, larvas de peces marinos tienen células olfatorias y del gusto pero no son completamente activas, en ese caso el tamaño y el movimiento de las partículas alimenticias son más importantes (Tucker, 1998).

Además, el comportamiento alimentario es influido por los factores abióticos. La mayoría de las especies necesitan luz para capturar su alimento, y por sí misma la luz es un factor que tiene efecto directo en el crecimiento de las larvas, de los peces (Boeuf y Le Bail, 1999). La estructura de los ojos de los peces no es distinta de otros vertebrados, pero poseen algunas peculiaridades para el medio acuático, por ejemplo algunos tienen un ángulo de visión de 98% lo que les permite ver incluso lo que está fuera del agua, cuando están cercanos a la superficie en aguas claras, además cuando los ojos están situados adelante es posible cierta visión binocular (Gerking, 1994); si bien al inicio de su vida los ojos son simples y no distinguen entre distintas iluminaciones (Planas y Cunha, 1999).

Algunas especies depredadoras prefieren cazar y alimentarse al oscurecer o al amanecer, ejemplos de este comportamiento son los peces zooplanctofagos que limitan en gran medida su aprovisionamiento a las horas de oscuridad; momento en que probablemente sus tasas de alimentación son bajas, pero con menor riesgo de ser capturados por otros peces y aves piscívoras (Begon *et al.*, 1995, Malcón, 1995). Se sabe que el cultivo de larvas en estanque con agua verde o con paredes oscuras es mejor para el crecimiento y supervivencia de las larvas (Planas y Cunha, 1999), asimismo las larvas de distintas especies se desempeñan mejor en condiciones de oscuridad (Tucker, 1998). Así, es previsible que el comportamiento alimentario de las larvas de los peces sea distinto en condiciones de luz o de oscuridad.

Un plan de alimentación con alimento vivo deberá establecerse con el conocimiento de las preferencias de la presa en los primeros estadios larvales de los peces (Olsen *et al.*, 2000). En este sentido los estudios de comportamiento alimentario y preferencia de las



presas por las larvas de los peces en sus distintas etapas, aportan información importante para aumentar la supervivencia y mejorar el desarrollo de las larvas (Nandini y Sarma 2000; Domínguez-Domínguez *et al.* 2002).

Es evidente que los estudios de larvicultivo de especies del género *Chirostoma* aún son escasos; los estudios de comportamiento alimentario en la etapa de larva aplicados al cultivo pueden contribuir a su conservación y aprovechamiento racional, así como al desarrollo del cultivo de pescados blancos y charales.



3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1 Hipótesis

Los zooplanctontes dulceacuicolas *Brachionus rubens*, *Moina macrocopa* y *Ceriodaphnia dubia* pueden ser afectados en su crecimiento y supervivencia por la presencia de NaCl en el medio. *Brachionus rotundiformis* rotífero eurihalino será el menos afectado. Por otro lado, se espera que ante estos invertebrados, solos o combinados, las larvas de *Chirostoma riojai* exhiban diferencias en el comportamiento alimentario durante las primeras semanas de edad así como en condiciones de luz y oscuridad.

3.2 Objetivo general

Conocer el crecimiento poblacional de los rotíferos *Brachionus rubens* y *Brachionus rotundiformis*, y de los cladóceros *Moina macrocopa* y *Ceriodaphnia dubia* a distintas concentraciones de NaCl. Así como evaluar su utilización potencial como alimento para las larvas del charal *Chirostoma riojai*, juzgando por el comportamiento alimentario, crecimiento y supervivencia, en un ambiente de salinidad baja.

3.2.1 Objetivos particulares

- Estudiar el crecimiento poblacional, en términos de densidad máxima, el día que se alcanza ésta y la tasa de crecimiento poblacional, de *B. rubens*, *B. rotundiformis*, *M. macrocopa* y *C. dubia* a diferentes concentraciones de NaCl.
- Conocer la respuesta funcional de las larvas de *C. riojai* a las distintas presas *B. rubens*, *B. rotundiformis*, *M. macrocopa* y *C. dubia*, en términos de consumo de estas presas.
- Investigar la selectividad de las larvas de *C. riojai* ante distintas combinaciones de las presas *B. rubens*, *B. rotundiformis*, *M. macrocopa* y *C. dubia*, en condiciones de luz y oscuridad.
- Investigar el crecimiento y supervivencia de las larvas con las distintas combinaciones de dietas a salinidad baja.



4. MATERIAL Y METODOS.

Se evaluó el crecimiento poblacional de los rotíferos *Brachionus rubens* y *Brachionus rotundiformis*, y de los cladóceros *Moina macrocopa* y *Ceriodaphnia dubia* a distintas concentraciones de cloruro de sodio (NaCl). Así como el comportamiento alimentario de las larvas de *C. riojai* ante estas especies de zooplancton con experimentos de respuesta funcional y pruebas de selectividad tanto en luz como en oscuridad. Y se estudió el crecimiento y supervivencia de las larvas de charal alimentadas con distintas dietas de zooplancton.

El medio sugerido por la Environmental Protection Agency (EPA), el cual se preparó disolviendo 96 mg de NaHCO_3 , 60 mg CaSO_4 y 4 mg KCL por litro de agua destilada (Anónimo, 1985), se utilizó tanto para el mantenimiento de todos los organismos como en la experimentación. Para lograr las distintas concentraciones de salinidad se utilizó cloruro de sodio grado estándar (pureza de 99%). Se preparó una solución madre de NaCl (concentración nominal) de 10 g l^{-1} ; con ella más el medio EPA se prepararon las distintas concentraciones de salinidad requeridas para las pruebas.

4.1 Material biológico

Para el cultivo y alimentación del zooplancton se cultivó la microalga verde *Chlorella vulgaris*. El proceso consistió en que: a partir de soluciones madre se preparó el medio nutritivo estabilizado Bold Basal (Borowitzka y Borowitzka, 1988), el cual se agregó a recipientes de plástico transparente con una capacidad de 2000 ml; posteriormente se inoculó el alga verde y se adicionó NaCO_3 como fuente de carbón; el cultivo se realizó con iluminación y aeración continuas; cada tercer día se repuso el nivel de agua y se adicionó NaCO_3 .

Las microalgas se cosecharon durante su fase exponencial de crecimiento (de 6-8 días después de la inoculación) y se refrigeraron para su posterior utilización. La *C. vulgaris* se empleo en la alimentación diaria y la experimentación con el zooplancton, para lo cual el alga refrigerada se resuspendió en medio EPA. La densidad de las algas se estimó utilizando un hematocitómetro.



Los invertebrados utilizados en las pruebas fueron: *Brachionus rubens*, (Ehrenberg, 1838) *Brachionus rotundiformis* (Tschugunoff, 1921), *Moina macrocopa* (Straus, 1820) y *Ceriodaphnia dubia* (Richard, 1894), provenientes de cepas mantenidas en el laboratorio de Zoología Acuática de la FES Iztacala. Su origen fue de colectas en: la colonia Aragón en el Estado de México (*B. rubens*); Alchichica, Puebla (*B. rotundiformis*) y Valsequillo, Puebla (*M. macrocopa* y *C. dubia*) (Nandini Sarma com. per.). Los cultivos dentro del laboratorio se llevaron a cabo en acuarios de vidrio con el medio EPA y alimentados con *C. vulgaris*. Para los cultivos en el exterior se emplearon tambos de plástico de 80 litros con agua de la red municipal y fertilizados con un compuesto comercial agrícola (Ortho Plant –Up, N 8%, P 8% y K 8%) e inoculados con *C. vulgaris*.

En cuanto a las larvas del charal de Toluca (*Chirostoma riojai*), el Laboratorio de Hidrobiología Experimental de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional a través del proyecto CGPI – INP20020602 proporcionó huevos fertilizados de este atherinópsido, los cuales fueron mantenidos en el laboratorio en vasos de precipitados con 5 g NaCl l⁻¹ (para evitar enfermedades por hongos) y burbujeo suave hasta su eclosión; los vasos estaban sumergidos en un acuario para evitar la fluctuación de temperatura. Se emplearon aquellas larvas de *C. riojai* que eclosionaron dentro del intervalo de 48 horas, considerando esto como el primer día de vida. Durante las pruebas la salinidad fue reducida a 2.5 g NaCl l⁻¹, debido a que en la práctica resultó mejor para la aclimatación de los zooplanctones.

4.2 Diseño experimental

4.2.1 Crecimiento poblacional

Para los estudios de crecimiento poblacional se emplearon recipientes de plástico transparente de 150 ml con 50 ml de medio. Las cuatro especies del zooplancton fueron alimentadas diariamente con una solución de *Chlorella vulgaris* a una densidad de 1.5×10^6 células ml⁻¹ y cambio total del medio. Los recipientes fueron mantenidos en condiciones de luz y temperatura ambiente (23 ± 2 °C).



Las densidades iniciales para los rotíferos (poblaciones mixtas de jóvenes y adultos sin huevos) fueron de 1 Individuo ml⁻¹ y de 0.4 individuo ml⁻¹ para los cladóceros (poblaciones de jóvenes y adultos). Diariamente se contó el total de individuos vivos, para lo cual se filtró el contenido total a través de una malla de 50 µm en el caso de rotíferos y una malla de 130 µm para los cladóceros. El conteo de los individuos fue con un microscopio estereoscópico a 30X de aumento y con pipetas Pasteur de punta fina. Cuando la cantidad total de cada recipiente rebasó los 200 individuos, se procedió a la toma de tres alícuotas de 1 ml para el cálculo de la densidad total. Las pruebas concluyeron cuando el crecimiento de las poblaciones presentó decaimiento o estacionalidad. Cada concentración fue probada con cuatro réplicas. Con la información de Peredo-Alvarez (2002) y Sarma *et al.* (2002) que experimentaron con rotíferos dulceacuícolas (tolerancia media a NaCl de 3.8 y 2.1 g l⁻¹) y eurihalinos (crecimiento poblacional 6 a 9 g NaCl l⁻¹) y de pruebas exploratorias previas para determinar los intervalos de prueba, se establecieron las concentraciones experimentadas para los zooplanctones (tabla 1).

Tabla 1. Concentraciones de NaCl para las pruebas de crecimiento.

Especie	Concentración (g NaCl l ⁻¹),
<i>B. rotundiformis</i>	0.75, 1.5, 3.0, 6.0 y 12.0
<i>B. rubens</i>	0.0, 0.75, 1.5, 3.0, 4.5 y 6.0
<i>M. macrocopa</i>	0.0, 0.75, 1.5, 3.0 y 4.5
<i>C. dubia</i>	0.0, 0.75, 1.5, 3.0 y 4.5

Las variables y parámetros evaluados fueron:

Densidad máxima, el número de individuos mayor que una población alcanza durante un ciclo reproductivo.

Día de densidad máxima, día en que se alcanzó la abundancia máxima.

Tasa de crecimiento poblacional, considerada como la capacidad de crecimiento de la población. Y se calculo con la ecuación:

$$r = (\ln N_t - \ln N_0)/t \text{ donde:}$$

r = tasa de crecimiento poblacional.

Ln N_t = logaritmo natural de la población al tiempo t.



$\ln N_0$ = logaritmo natural de la población al inicio.

t = tiempo

Si la curva fuera completamente exponencial, para calcular la tasa de crecimiento poblacional sería suficiente con tomar dos momentos del crecimiento, pero como no es así se tomó un valor promedio de estimaciones repetidas de diferente duración (Sarma, 1996)

Se realizaron pruebas estadísticas Análisis de varianza (Anova) de una vía, para conocer la existencia de diferencias estadísticas en los tratamientos. Así como la prueba *post hoc*, de Tukey para distinguir a los grupos estadísticamente diferentes entre sí. Dichas pruebas se realizaron con el programa "Statistica '99 edition" de Stat Soft Inc.

4.2.2 Comportamiento alimentario

4.2.2.1 Respuesta funcional

La tasa de consumo de *C. riojai* ante diferentes densidades de zooplancton se estudió de la siguiente manera. Previo a cada prueba se puso en ayuno a las larvas de charal por dos horas. Para tener un número conocido de presas se contaron y depositaron individualmente los zooplanctones en cada recipiente de plástico transparente de 150 ml de capacidad con 50 ml de medio EPA y 2.5 g NaCl l⁻¹ (la cantidad de NaCl fue reducida para facilitar la adaptación del zooplancton); después se introdujeron dos larvas por recipiente. Se dejó que los peces se alimentaran del zooplancton por media hora sin ser perturbadas, en iluminación y temperatura ambiente, y posteriormente se retiró de los envases a los peces. Las presas no consumidas fueron contadas para evaluar el consumo respecto del número inicial, el número resultante fue dividido entre las dos larvas. Se probaron las cuatro especies con distintas densidades semanalmente, con cuatro réplicas por tratamiento.

Conforme crecieron las larvas se ajustó el número de presas ofrecido; debido a que las larvas consumieron todas las presas de las densidades bajas en las primeras semanas, por lo que se aumentaron las concentraciones en las siguientes semanas. Además, debido a que *C. riojai* no se alimentó de cladóceros en la primera semana, las pruebas con estas

comenzaron en la segunda semana. Las cantidades de zooplanctontes ofrecidas aparecen en la tabla 2.

Tabla 2. Densidad (ind. ml⁻¹) de presas ofrecidas a larvas de *C. riojai*.

Especie	Semana 1 a 5	Semana 6	
<i>B. rotundiformis</i> y <i>B. rubens</i>	0.5, 1, 2, 4, 8 y 16	2, 4, 8, 12, 16 y 24	
	Semana 2 a 3	Semana 4 a 5	Semana 6
<i>M. macrocopa</i> y <i>C. dubia</i>	5, 10, 20, 40, 80 y 160	20, 40, 80 y 160	80, 120, 160, 240 y 320

Los consumos o tasas de consumo de las presa se graficaron y el ajuste de la curva fue elaborada usando la transformación del modelo de Michaelis-Menten. Con la ecuación (Lampert y Sommer, 1997):

$$V = v_{\max} \cdot S / (S + k_t)$$

Donde:

V = es la tasa de consumo

S = la concentración de las presas

v_{max} = es el valor de saturación de la tasa de consumo

k_t = la media de la constante de saturación, la concentración de las presas a la cual v_{max} / 2 es alcanzada

Se utilizó el programa SPSS for windows versión 11 del 2001 de SPSS Inc. para el coeficiente de determinación para conocer la adecuación de las curvas.

4.2.2.2 Selectividad

Las pruebas de selectividad se realizaron en recipientes de plástico translúcidos de 100 ml de capacidad, se agregaron 50 ml de medio EPA y 2.5 g NaCl l⁻¹, se contó individualmente cada una de las distintas combinaciones (Tabla 3) de zooplancton depositadas en los recipientes (las cuales cambiaron en cada semana de prueba): Después se introdujeron

dos larvas por envase, previamente puestas en ayuno por dos horas. Se permitió la ingestión de las presas por un periodo de media hora, después se retiró a los peces. Las presas no consumidas fueron contadas para evaluar el consumo respecto del número inicial y dividirlo entre las dos larvas. También se realizaron pruebas para conocer la respuesta de las larvas en ausencia de luz, por lo que durante la media hora de alimentación la prueba se realizó en oscuridad, es necesario comentar que en la primera prueba (semana 2) no se realizó en condiciones de oscuridad por problemas prácticos. Estas pruebas se realizaron semanalmente.

Las presas fueron combinadas de la siguiente manera: las cuatro especies fueron mezcladas manteniendo cantidades iguales tanto para los rotíferos (por ejemplo 450 individuos de *B. rotundiformis* y 450 de *B. rubens*) como para los cladóceros (es decir 90 individuos de *M. macrocopa* y 90 de *C. dubia*). En este ejemplo el total de las presas fueron 900 rotíferos y 180 cladóceros, pero se identificó como 450/90. Todas las pruebas fueron con cuatro réplicas.

Tabla 3. Combinaciones de rotíferos y cladóceros ofrecidos a larvas de *C. riojai*.

Semana 2 y 3	Semana 4 a 6
450 rotíferos + 90 cladóceros	450 rotíferos + 90 cladóceros
150 rotíferos + 30 cladóceros	300 rotíferos + 60 cladóceros
50 rotíferos + 10 cladóceros	150 rotíferos + 30 cladóceros

La ecuación empleada para calcular el alfa de Manly fue: (Krebs, 1989)

$$\alpha_i = \frac{r_i}{n_i} \frac{1}{\sum (r_j / n_j)}$$

Donde:

α_i = alfa de Manly para la presa tipo i

$r_i r_j$ = proporción del tipo de presas i o j en la dieta (i y j = 1, 2, 3, ... m)



$n_i n_j$ = proporción de tipo de presas i o j en el ambiente

m = número de tipos presas posibles en el medio

Si

$\alpha_i = 1/m$, la alimentación no es selectiva

$\alpha_i (>) 1/m$ la especie i es seleccionada

$\alpha_i (<) 1/m$ la presa i es evitada en la dieta

4.2.2.3 Crecimiento y supervivencia de larvas de *C. riojai*

Se utilizaron vasos de precipitado de 200 ml de capacidad con medio EPA como recipientes experimentales; con tres réplicas por tratamiento, los cuales se mantuvieron sumergidos en acuarios incubadores para establecer una temperatura constante. Se proporcionó burbujeo ligero para dar movimiento suave al medio y mantener homogeneidad en la concentración de los especímenes. Se realizaron recambios parciales del agua diariamente equivalentes al menos de 30 %, así como limpieza de los recipientes. Para evitar hongos en los huevos y aumentar la tasa de eclosión, se mantuvo una salinidad de 5 g NaCl l⁻¹ en la primera semana, después se redujo a 2.5 g NaCl l⁻¹ para facilitar la aclimatación del zooplancton.

Para conocer el crecimiento de las larvas, se tomó una muestra inicial de longitud patrón de las larvas así como al final de la prueba. Las mediciones se hicieron con una regla graduada en milímetros y bajo un microscopio estereoscópico, a todos los peces de cada réplica. Diariamente se revisaron los vasos de precipitados para identificar y contar tanto a las larvas vivas como a las muertas, y con estos datos se determinó la supervivencia. El número inicial de larvas de charal en cada recipiente fue de 10.

Considerando que las larvas de los peces al crecer tienen cambios en su dieta, la alimentación fue de la siguiente manera: a partir del cuarto día se les alimentó con 20 rotíferos ml⁻¹; después de la tercera semana se aumentó a 40 rotíferos ml⁻¹. A partir del octavo día se ofreció nauplios de *Artemia* a una densidad de 4 nauplios ml⁻¹ o cladóceros en cantidades de 4 cladóceros ml⁻¹. La densidad del alimento presente en los recipientes se determinó por muestreo de alícuotas de 1 ml.



Las larvas de *C. riojai* fueron alimentadas con mezclas de las cuatro especies del estudio de salinidad previo con el zooplancton. Las tallas de estas presas son adecuadas para las etapas del desarrollo de *C. riojai* evaluadas, excepto el cuarto tratamiento que fue con alimento artificial. Se experimentaron cuatro tipos de tratamientos por un periodo de seis semanas.

Los tratamientos fueron:

- Tratamiento 1 rotíferos, durante las seis semanas se alimentó a las larvas solamente con rotíferos.
- Tratamiento 2 cladóceros, la alimentación de las larvas fue con rotíferos la primera semana, en la segunda semana tanto de rotíferos como de cladóceros, a partir de la tercera semana solo de cladóceros.
- Tratamiento 3 *Artemia*, la alimentación de las larvas fue con rotíferos la primera semana, en la segunda semana tanto de rotíferos como de nauplios de *Artemia*, a partir de la tercera semana solo de nauplios de *Artemia*.
- Tratamiento 4, solo alimento artificial comercial.

En los tratamientos 2 y 3, durante la segunda semana se realizó un traslape en el suministro de las presas, con propósito de que las larvas se adaptaran a los nuevos alimentos como aparece en la tabla 4.

Las diferencias estadísticas entre tratamientos fueron evaluadas con el análisis de varianza de una vía (Anova), así como una prueba de comparación múltiple de Tukey para distinguir a los grupos estadísticamente diferentes entre si. Dichas pruebas se realizaron con el programa "Statistica '99 edition" de Stat Soft Inc.

5. RESULTADOS

5.1 Crecimiento poblacional de zooplanctones

Los patrones del crecimiento poblacional de los rotíferos y cladóceros a las distintas concentraciones de NaCl se presentan en las Figuras 1 a 4. *B. rotundiformis*, no creció a concentraciones menores a 3 g de NaCl l⁻¹ (Fig. 1), sólo creció a 6 y 12 g NaCl l⁻¹ en esta última concentración el crecimiento fue mayor que en la primera. Por otro lado, el crecimiento poblacional de *B. rubens* fue menor a concentraciones mayores de 3.0 g NaCl l⁻¹ con crecimiento prácticamente nulo a 6 g NaCl l⁻¹ (Fig. 2).

El crecimiento de *M. macrocopa* a 1.5 y 3.0 g NaCl l⁻¹ fue mayor comparado a los cultivos libres de NaCl, aún a 4.5 g NaCl l⁻¹ (Fig. 3) presentaron pautas de desarrollo positivas. Por otro lado, para *C. dubia* el mejor crecimiento fue en el medio sin NaCl; las poblaciones tendieron a declinar en las concentraciones de 3.0 y 4.5 g NaCl l⁻¹ (Fig. 4).



Brachionus rotundiformis

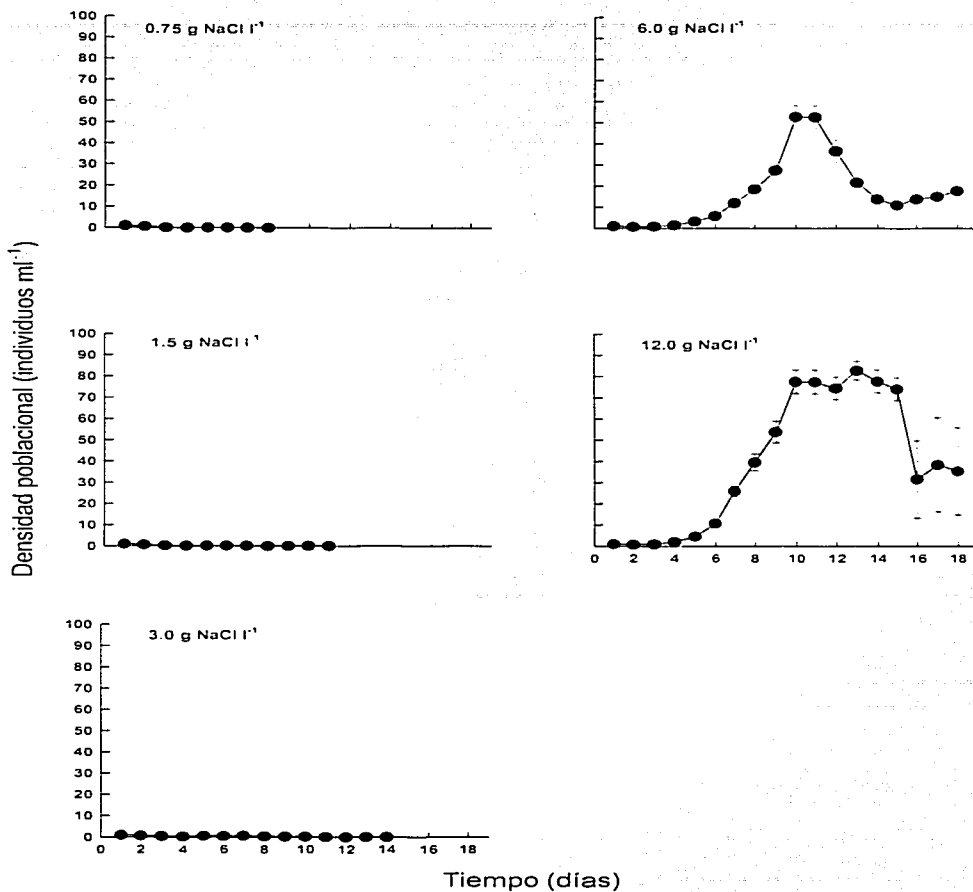


Figura 1. Crecimiento poblacional de *Brachionus rotundiformis* en distintas concentraciones de NaCl (g NaCl l⁻¹). Cada punto en la gráfica es el promedio de la población en cuatro réplicas y su error estándar.



Brachionus rubens

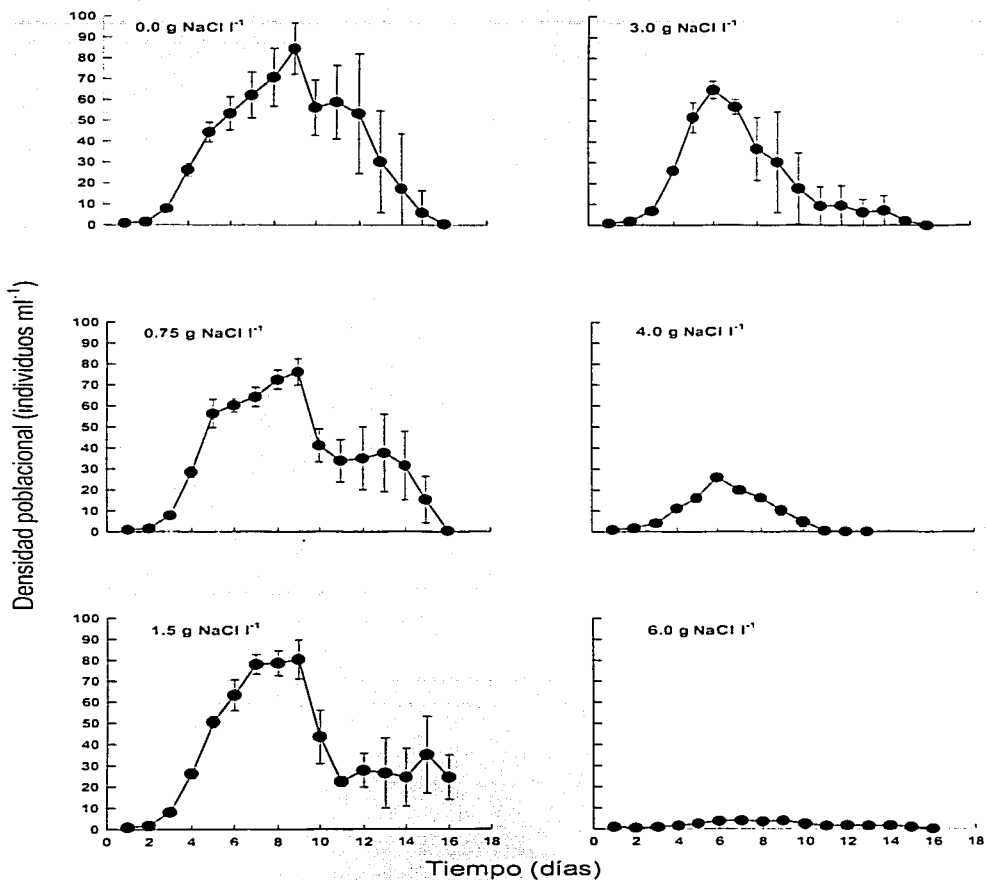


Figura 2. Crecimiento poblacional de *Brachionus rubens* en distintas concentraciones de NaCl (g NaCl l⁻¹). Cada punto en la gráfica es el promedio de la población en cuatro réplicas y su error estándar.

Ceriodaphnia dubia

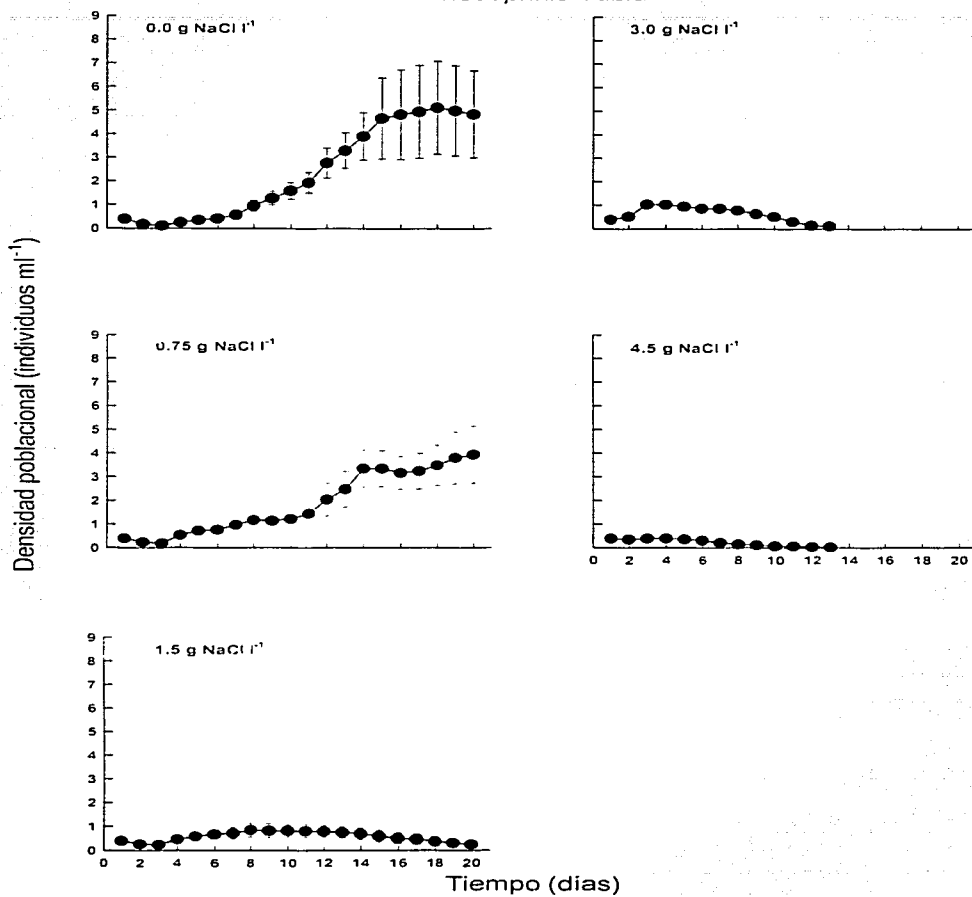
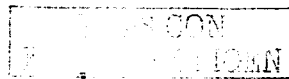


Figura 4. Crecimiento poblacional de *Ceriodaphnia dubia* en distintas concentraciones de NaCl (g NaCl l⁻¹). Cada punto en la gráfica es el promedio de la población en cuatro réplicas y su error estándar.



5.1.1 Densidad máxima

En las dos especies de rotíferos, la mayor abundancia se situó cercana a 80 ind. ml⁻¹ (Fig. 5). Para *B. rotundiformis* se observó una densidad de 84.19 y 52.75 ind. ml⁻¹ a 12.0 y 6.0 g NaCl l⁻¹ respectivamente y significativamente diferentes (Tabla 5). En el caso de *B. rubens* la densidad máxima es similar a 0.0, 0.75 y 1.5 g NaCl l⁻¹ con valores de 85.83, 78.33 y 85.34 ind. ml⁻¹ respectivamente, después de 3.0 g l⁻¹ tiende a disminuir conforme aumenta la salinidad. En ambas especies las pruebas estadísticas muestran diferencias significativas en estos valores de densidad máxima (P = 4.9E-10, F=51.46).

M. macrocopa presentó densidades máximas de 5 a 8 ind. ml⁻¹, el valor mayor (8 ind ml⁻¹) se observó a los 3.0 g de NaCl. Por otro lado, las densidades máximas obtenidas por *C. dubia* se situaron en el intervalo de 0.5 a 5 ind. ml⁻¹; valores que mostraron tendencia a disminuir con el aumento de la salinidad. Al igual que con los rotíferos, en la densidad poblacional máxima alcanzaron por los cladóceros se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 5) a distinta salinidad.

Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) para densidad máxima de los rotíferos *Brachionus rotundiformis* y *Brachionus rubens*, y los cladóceros *Moina macrocopa* y *Ceriodaphnia dubia*. GI = grados de libertad. SC = suma de cuadrados; MC = media de cuadrados. F = prueba F.

Fuente	GI	SC	MC	F	p
<i>B. rotundiformis</i>					
Entre niveles de salinidad	1	1976.63	1976.60	21.42	0.00358
Error	6	553.60	92.27		
<i>B. rubens</i>					
Entre niveles de salinidad	5	24504.96	4901.00	51.46	4.9E-10
Error	18	1714.44	95.25		
<i>M. macrocopa</i>					
Entre niveles de salinidad	4	45.73	11.43	11.16	0.0002
Error	15	15.37	1.02		
<i>C. dubia</i>					
Entre niveles de salinidad	4	75.48	18.87	4.58	0.01293
Error	15	61.86	4.12		

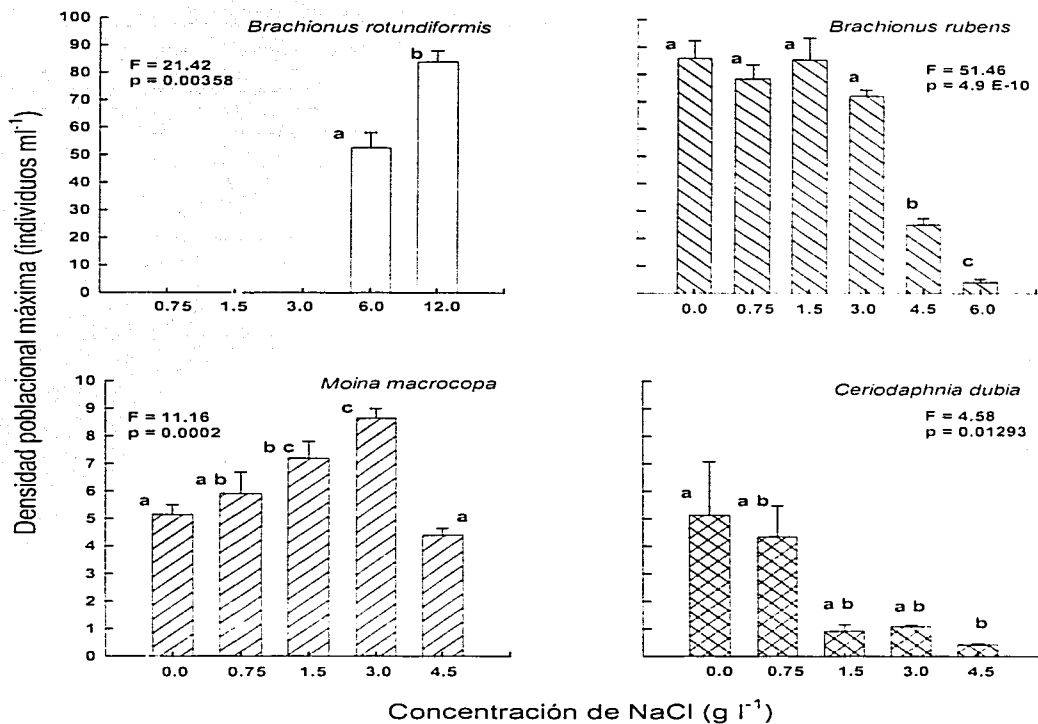


Figura 5. Densidad máxima de las cuatro especies del zooplancton, a distintas concentraciones de NaCl (g NaCl l⁻¹). Cada barra representa el promedio de la población en cuatro réplicas y su error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre grupos. Columnas con letras iguales no son significativamente diferentes.

5.1.2 Día de densidad máxima

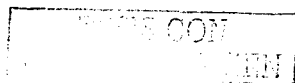
El día en el cual las poblaciones de las especies del zooplancton alcanzaron su máxima densidad se muestra en la figura 6. *B. rotundiformis* a 12 g l⁻¹ de NaCl alcanzó su densidad

máxima en el día 14, mientras que a la concentración de 6 g l⁻¹ la densidad máxima se logró en el día 9. *B. rubens* alcanzó su máxima densidad entre los días 5 y 9 para todas las concentraciones probadas de 0.0 y 0.75 g l⁻¹, para 4.0 g NaCl l⁻¹ la densidad máxima fue en el día 5. Los valores para *B. rotundiformis*, fueron significativos mientras que para *B. rubens* los valores no fueron significativos (Tabla 6).

En cuanto a los cladóceros, en *M. macrocopa* conforme se incrementó la concentración de NaCl los días de densidad máxima aumentaron de valor (del día 3 al día 10). Lo opuesto fue para *C. dubia*, al aumentar la concentración de NaCl la densidad máxima se logró en menos días; así en la prueba solo con EPA la densidad máxima fue el día 15, para los tratamientos de 3.0 y 4.5 g NaCl la densidad máxima se alcanzó el día 3. Las estimaciones fueron significativas para ambos cladóceros (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) para día de densidad máxima de los rotíferos *Brachionus rotundiformis* y *Brachionus rubens*, y los cladóceros *Moina macrocopa* y *Ceriodaphnia dubia*. GI = grados de libertad, SC = suma de cuadrados; MC = media de cuadrados, F = prueba F.

Fuente	GI	SC	MC	F	p
Rotíferos s					
Día de densidad máxima					
<i>B. rotundiformis</i>					
Entre niveles de salinidad	1	36.12	36.13	20.16	0.00415
Error	6	10.75	1.79		
<i>B. rubens</i>					
Entre niveles de salinidad	5	50.70	10.14	2.22	0.09714
Error	18	82.25	4.57		
Cladóceros					
<i>M. macrocopa</i>					
Entre niveles de salinidad	4	136.70	34.17	6.14	0.0039
Error	15	83.50	5.57		
<i>C. dubia</i>					
Entre niveles de salinidad	4	704.30	176.08	29.51	6E-07
Error	15	89.50	5.97		



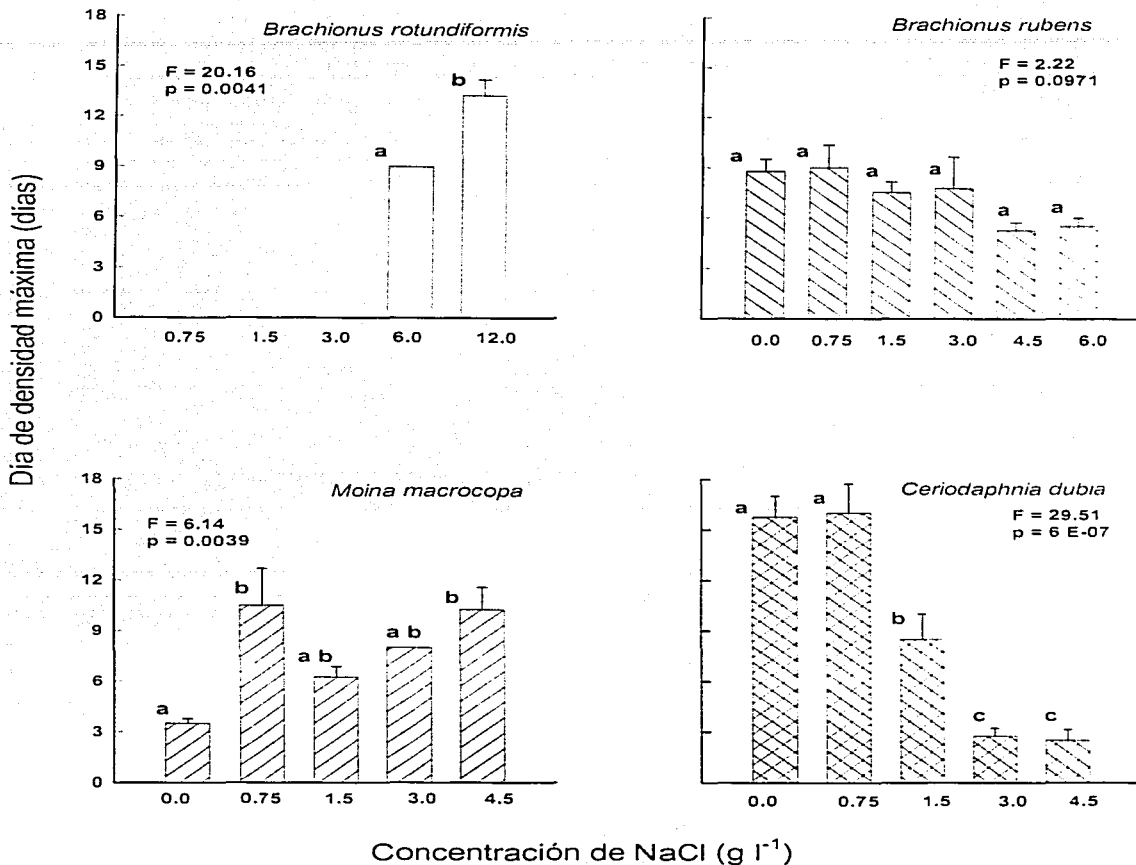


Figura 6. Día de densidad máxima de las cuatro especies zooplancton, a distintas concentraciones de NaCl (g NaCl l⁻¹). Cada barra representa el promedio de la población en cuatro réplicas y su error estándar. Columnas con letras iguales no son significativamente diferentes.

5.1.3 Tasa de crecimiento

Las tasas de crecimiento de las especies estudiadas se muestran en la Fig. 7. El rotífero *B. rotundiformis* obtuvo tasas de crecimiento negativa de 0.75 a 3.0 g NaCl l⁻¹; a concentraciones de 6.0 y 12.0 g NaCl l⁻¹, el valor de "r" fue 0.60 y 0.77 respectivamente. Para *B. rubens* las tasas de crecimiento poblacional se situaron en el intervalo de 0.4 a 0.7 ind. d⁻¹; el promedio de "r" más alto (0.70) fue con la concentración de 1.5 g NaCl l⁻¹ seguida de 0.75 g l⁻¹ (0.50); no se produjo crecimiento a 6.0 g NaCl l⁻¹. Para los dos rotíferos los valores de "r" no fueron estadísticamente significativos.

Respecto a los cladóceros: *M. macrocopa* mostró patrones de crecimiento positivos en todos los niveles de salinidad probados, los valores se situaron de 0.3 a 1.0 ind. d⁻¹; mientras que *C. dubia* solo creció en el medio libre de NaCl y en el nivel más bajo de salinidad (0.75 g NaCl l⁻¹). La salinidad afectó significativamente el crecimiento poblacional de las poblaciones de los cladóceros estudiadas (P < 0.01, F-prueba, Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) para tasa de crecimiento poblacional "r", de los rotíferos *Brachionus rotundiformis* y *Brachionus rubens*, y los cladóceros *Moina macrocopa* y *Ceriodaphnia dubia*. GI = grados de libertad, SC = suma de cuadrados; MC = media de cuadrados, F = prueba F.

Fuente	GI	SC	MC	F	p
Rotíferos					
Tasa de crecimiento (r)					
<i>B. rotundiformis</i>					
Entre niveles de salinidad	1	0.061	0.061	1.64991 ns	0.24633
Error	6	0.222	0.037		
<i>B. rubens</i>					
Entre niveles de salinidad	5	2.795	0.559	2.1335 ns	0.10798
Error	18	4.717	0.262		
Cladóceros					
<i>M. macrocopa</i>					
Entre niveles de salinidad	4	1.702	0.425	3.6602 *	0.0284
Error	15	1.744	0.116		
<i>C. dubia</i>					
Entre niveles de salinidad	4	9.724	2.431	26.0173***	1.4E-06
Error	15	1.401	0.093		



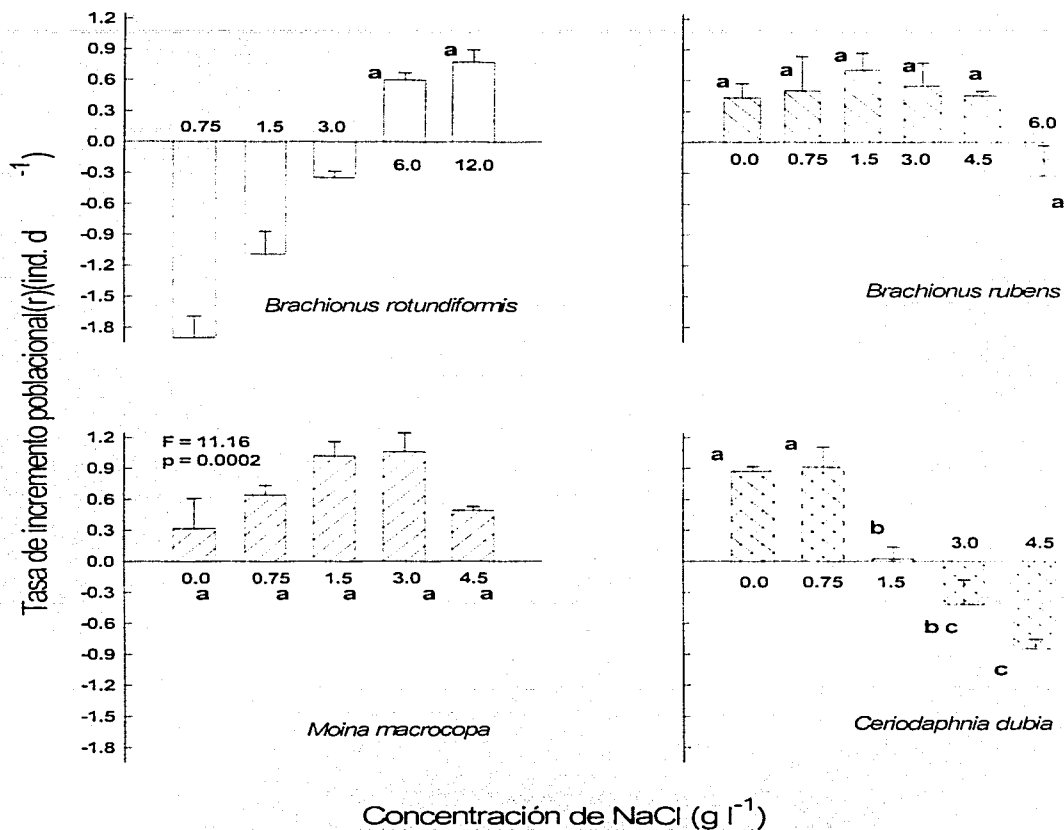


Figura 7. Tasas de crecimiento poblacional de cuatro especies del zooplancton, a distintas concentraciones de NaCl (g NaCl.l⁻¹). Cada barra representa el promedio de la población en cuatro réplicas y su error estándar. Columnas con letras iguales no son significativamente diferentes.

5.2 Comportamiento alimentario

5.2.1 Respuesta funcional

Las curvas de respuesta funcional de las larvas del charal *C. riojai* alimentadas con *B. rotundiformis* (Fig. 8), *B. rubens* (Fig. 9), *C. dubia* (Fig. 10) y *M. macrocopa* (Fig. 11) a diferentes edades, mostraron un incremento en el consumo de las presas al incrementarse la densidad de las mismas. La respuesta de las larvas de *C. riojai*, a todas las concentraciones de los zooplanctones probados fueron del tipo II; es decir a una fase de crecimiento rápida siguió una fase constante observada como una línea asintota de la curva.

El consumo de *C. riojai* sobre *B. rotundiformis* y *B. rubens* (Figs. 9 y 10) en la semana 1 y 2 no se aprecia diferencia a las densidades de 25 ind. ml⁻¹ (4.87 y 5.62 ind. ml⁻¹ respectivamente para sem. 1), pero a la densidad de 800 ind. ml⁻¹ la ingestión se situó en 48.13 y 116.8 individuos (sem. 1) y 82.25 y 364.0 ind. (sem. 2) para *B. rotundiformis* y *B. rubens* respectivamente. Comportamiento similar en las semanas 3, 4, y 5 a densidades bajas, pero no a las más altas (400 y 800 ind. ml⁻¹). En la semana 6 a densidades de 800 y 1200, el consumo de *B. rubens* fue mayor en 50 y 80 % (355.4 y 495 presas) con respecto a *B. rotundiformis* (239.4 y 262 presas).

En la semanas 3 y 4 el consumo de *M. macrocopa* y *C. dubia* (Figs. 11 y 12) por las larvas de *C. riojai* no se aprecian consumos diferentes, tanto en las densidades bajas como en las altas (5 y 160 ind. ml⁻¹), pero a partir de la semana 5 existen consumos diferentes en las densidades altas (160 ind. ml⁻¹), por ejemplo *M. macrocopa* consumió 37.25 y *C. dubia* 22.38.

Así, el consumo de rotíferos se incrementó notoriamente después de la tercera semana, mientras que el consumo de cladóceros fue después de la cuarta semana. De los cladóceros, a cualquiera de las edades, *M. macrocopa* fue consumida en cantidades mayores y en el caso de los rotíferos *B. rubens* fue el más consumido en cualquier edad.

Brachionus rotundiformis

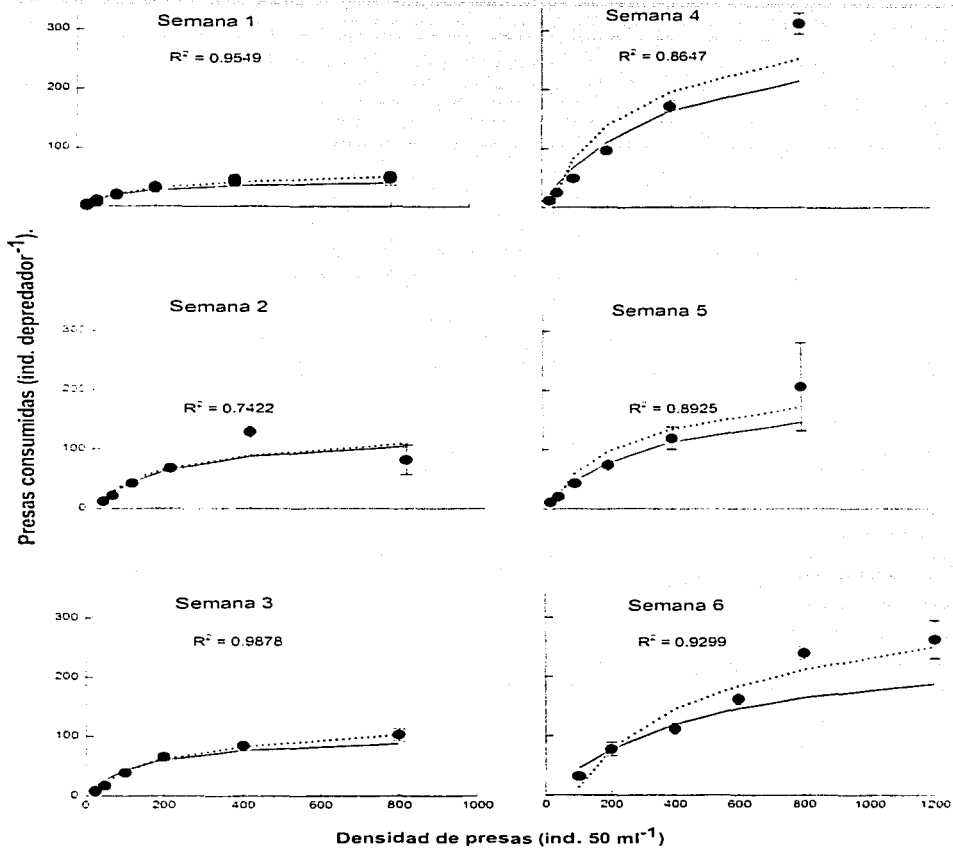


Figura 8. Curvas de respuesta funcional de *Chirostoma riojai* con relación a diferentes densidades de *B. rotundiformis*. Se muestran las medias \pm error estándar con base en 4 réplicas. En el ajuste de la curva (línea continua) se usó la transformación de Michaelis-Menten. R² corresponde a la línea de puntos calculada con el programa SPSS.

Brachionus rubens

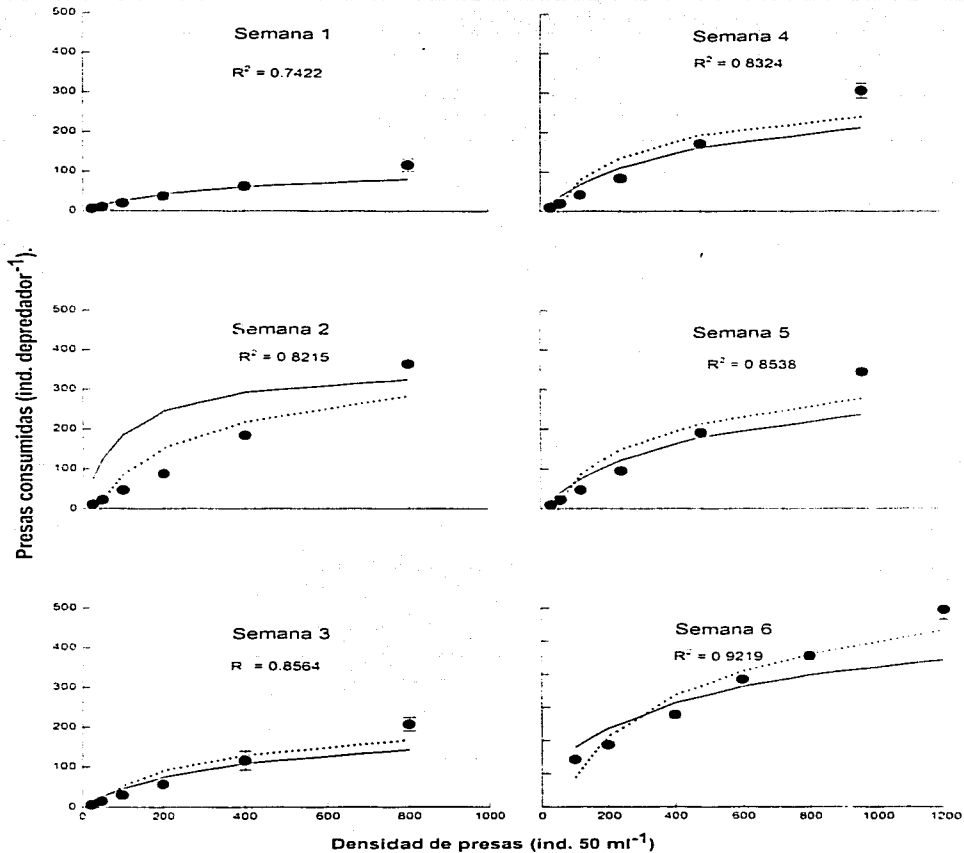


Figura 9. Curvas de respuesta funcional de *Chirostoma riojai* con relación a diferentes densidades de *B. rubens*. Se muestran las medias \pm error estándar con base en 4 réplicas. En el ajuste de la curva (línea continua) se usó la transformación de Michaelis-Menten. R^2 corresponde a la línea de puntos calculada con el programa SPSS.

Moina macrocopa

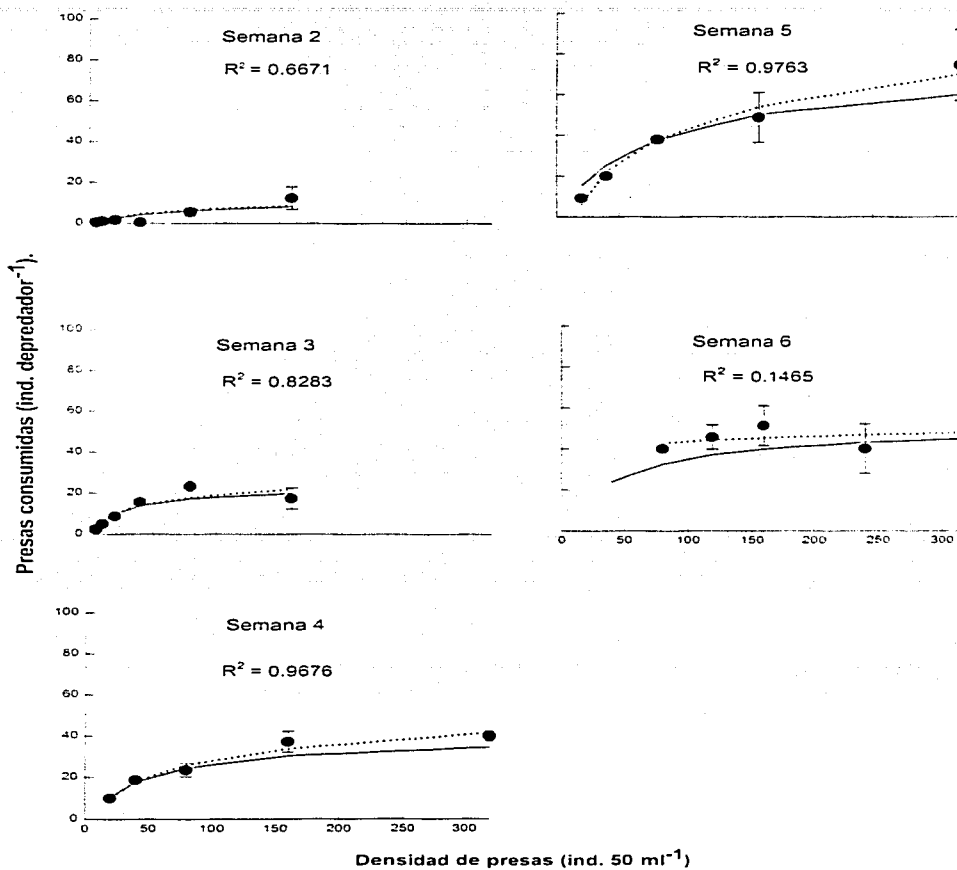


Figura 10. Curvas de respuesta funcional de *Chirostoma riojai* con relación a diferentes densidades de *C. dubia*. Se muestran las medias \pm error estándar con base en 4 réplicas. En el ajuste de la curva (línea continua) se usó la transformación de Michaelis-Menten. R^2 corresponde a la línea de puntos calculada con el programa SPSS.

Ceriodaphnia dubia

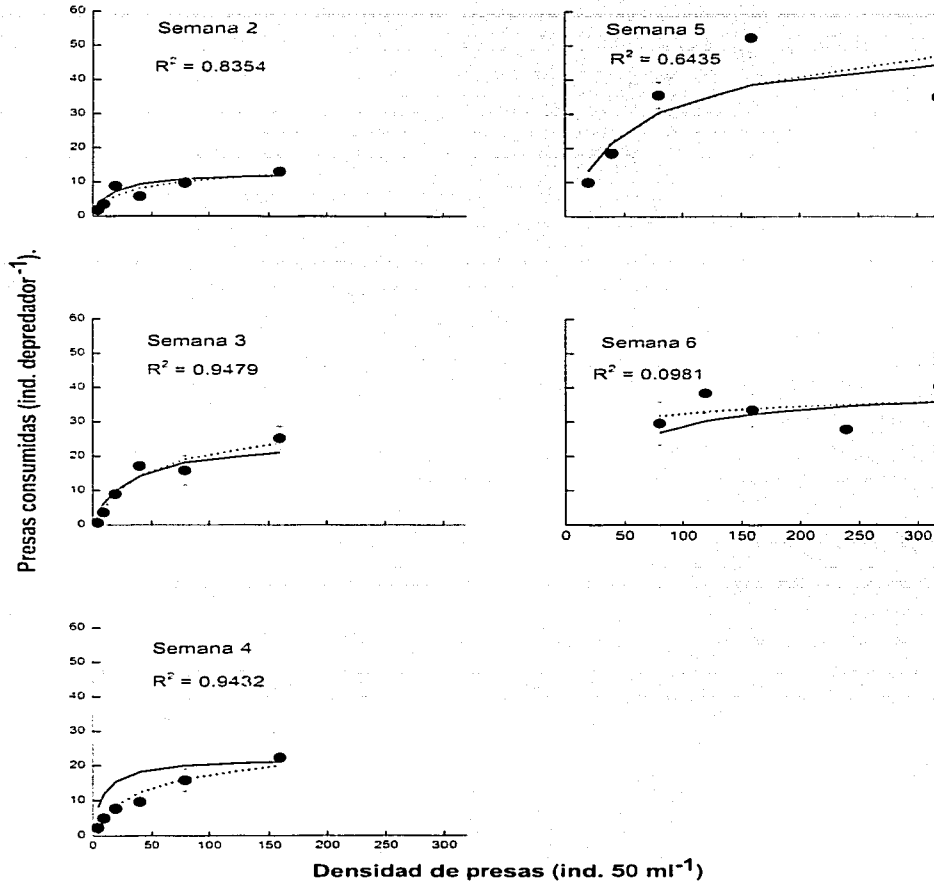


Figura 11. Curvas de respuesta funcional de *Chirostoma riojai* con relación a diferentes densidades de *M. macrocopa*. Se muestran las medias \pm error estándar con base en cuatro réplicas. En el ajuste de la curva (línea continua) se usó la transformación de Michaelis-Menten. R² corresponde a la línea de puntos calculada con el programa SPSS.

5.2.2 Selectividad

En este estudio se consideró que los valores alfa de Manly mayores a 0.25 que indicaron preferencia por las presas (derivado de $1/m$ donde m es el número de tipos de especies presentes en el medio, $\alpha = 1/4 = 0.25$). Las larvas de *C. riojai* mostraron pautas de selectividad diferentes durante sus primeras semanas de vida (Fig.12 a 16), ante diferentes densidades de las combinaciones de rotíferos y cladóceros.

A las dos semanas de edad, *C. riojai* tuvo mayor preferencia por *B. rotundiformis* (α de 0.60); con *B. rubens* se observó un incremento en la preferencia solo cuando se incrementó la densidad de las presas de 150 a 450. En cuanto a los cladóceros los valores α de Manly no evidenciaron preferencia alguna, si bien las larvas de charal consumieron más de ellos cuando fue menor la disponibilidad de rotíferos a la densidad baja de 50/10 (Fig. 12).

Durante la tercera semana, en condiciones de luz, se observó un incremento en la preferencia por los cladóceros, particularmente con *M. macrocopa*. (0.33 y 0.29), comparado a la segunda semana, pero se registró un decremento en la preferencia por *B. rotundiformis*, mientras que la tendencia hacia *B. rubens* fue similar, es decir que se incrementó la preferencia al aumentar la disponibilidad. Por otro lado, en la oscuridad, la preferencia por *B. rotundiformis* (0.51, 0.42 y 0.38) y *M. macrocopa* (0.34 y 0.33) fue levemente mayor mientras que para *B. rubens* y *C. dubia* fueron menores comparadas al consumo en condiciones de luz (Fig. 13).

En la cuarta semana se observó una diferencia respecto a las preferencias alimentarias de las primeras semanas; se produjo una disminución en la preferencia por *B. rotundiformis* y un incremento en la preferencia por *Moina*. De hecho *C. riojai* no mostró preferencia por *B. rotundiformis* en la densidad más baja con luz; por otro lado, se notó una mayor preferencia por *Moina*. Asimismo, más individuos de *B. rubens* y *C. dubia* fueron incorporados en la dieta. Sin embargo, en condiciones de oscuridad se evidenció una



mayor preferencia por *B. rotundiformis* y muy poca o ninguna preferencia para las restantes especies (Fig. 14).

En el transcurso de la quinta y sexta semanas, *C. riojai* mostró tendencias similares en sus consumos a las semanas anteriores, con una mayor frecuencia prefirió a *M. macrocopa* que a *B. rotundiformis* cuando se le alimentó en condiciones de luz. Lo contrario fue en oscuridad que prefirió más a *B. rotundiformis* que a *M. macrocopa* (Fig. 15 y 16).

En general se observó mayor consumo de *B. rotundiformis* que de *M. macrocopa*, que de *B. rubens* o *C. dubia*.



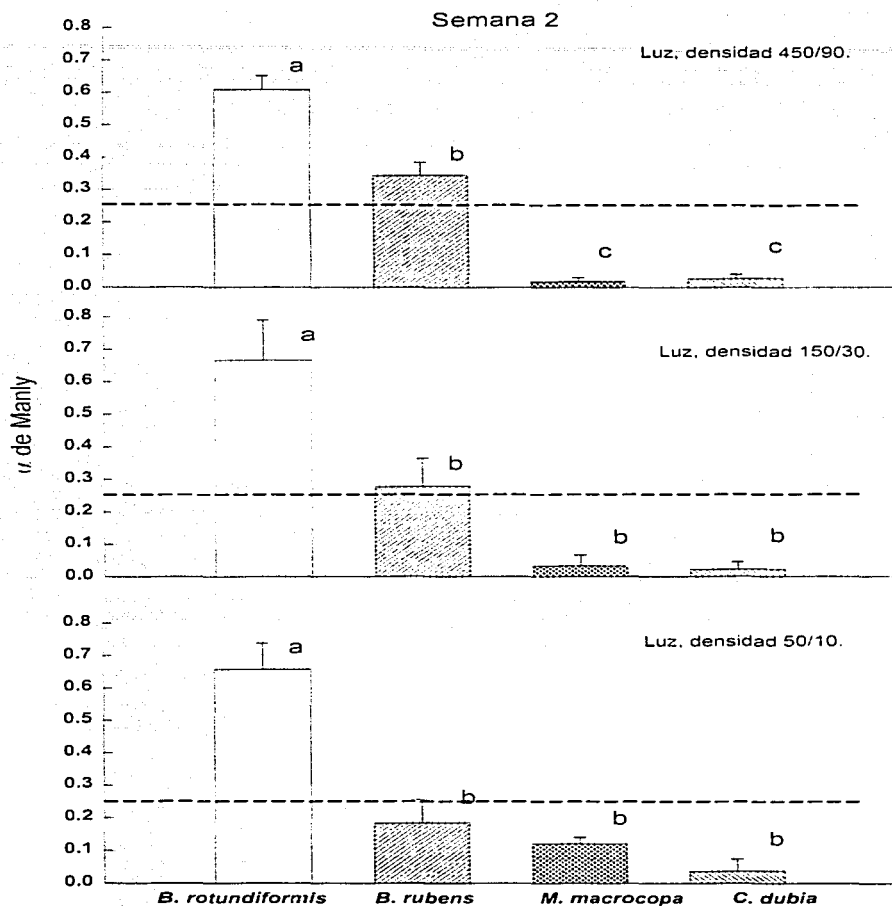


Figura 12. Selectividad de presas de *C. riojai* a 2 semanas de edad alimentadas con *B. rotundiformis*, *B. rubens*, *M. macrocopa* y *C. dubia*. A diferentes densidades. Los valores α de Manly son la media \pm error estándar con base en cuatro réplicas. Valores mayores a 2.5 (línea punteada) indican preferencia por la presa. Columnas con letras iguales no son significativamente diferentes.



Semana 3

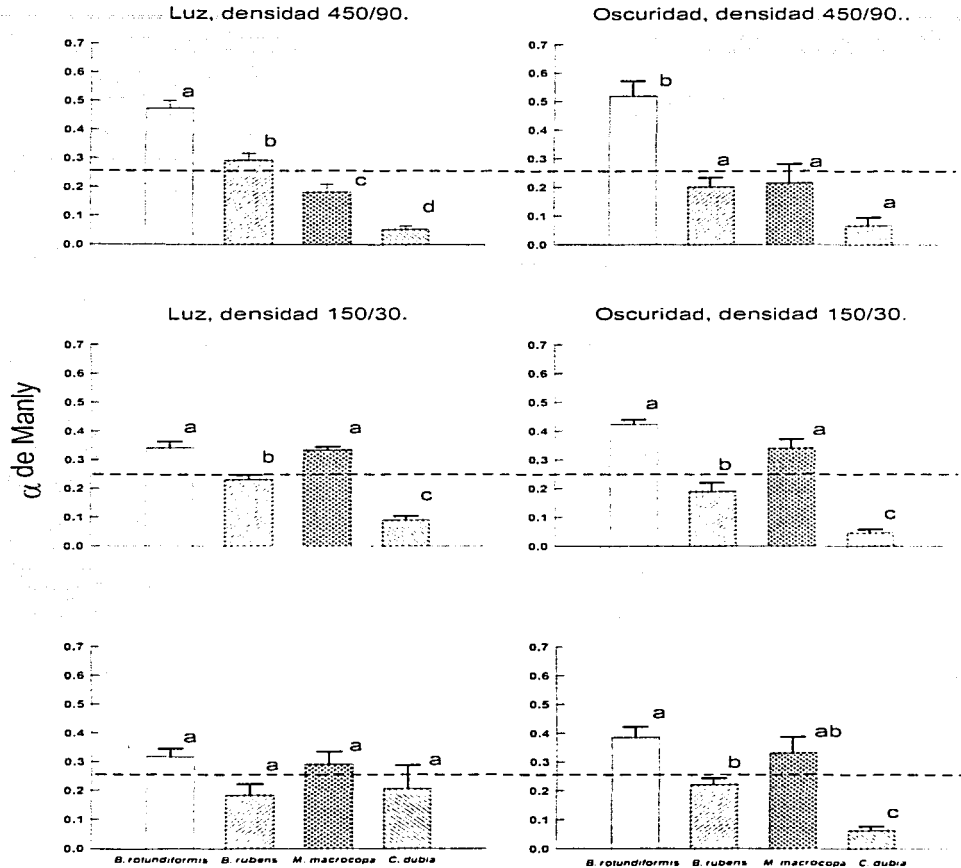


Figura 13. Selectividad de presas de *C. riojai* de 3 semanas de edad alimentadas con *B. rotundiformis*, *B. rubens*, *M. macrocops* y *C. dubia*. A diferentes densidades. Los valores α de Manly son la media \pm error estándar con base en cuatro réplicas. Valores mayores a 2.5 (línea punteada) indican preferencia por la presa. Columnas con letras iguales no son significativamente diferentes.

Semana 4

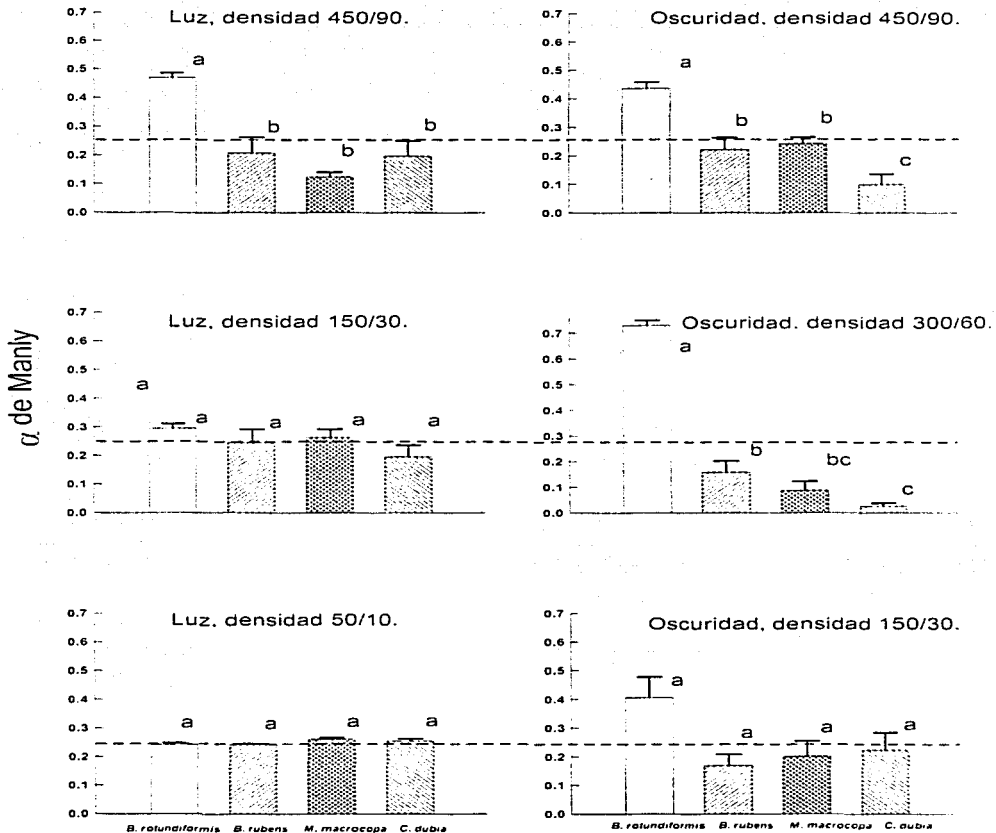


Figura 14. Selectividad de presas de *C. riojai* de 4 semanas de edad alimentadas con *B. rotundiformis*, *B. rubens*, *M. macrocopa* y *C. dubia*. A diferentes densidades. Los valores α de Manly son la media \pm error estándar con base en cuatro réplicas. Valores mayores a 2.5 (línea punteada) indican preferencia por la presa. Columnas con letras iguales no son significativamente diferentes.

Semana 5

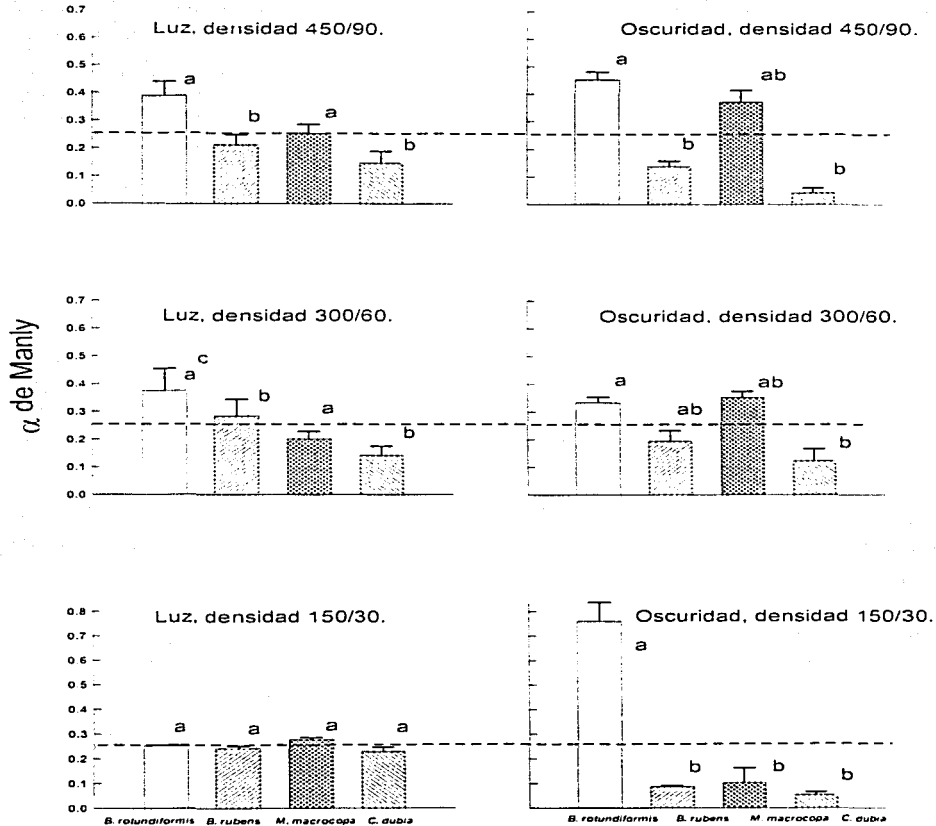


Figura 15. Selectividad de presas de *C. riojai* de 5 semanas de edad alimentadas con *B. rotundiformis*, *B. rubens*, *M. macrocopa* y *C. dubia*. A diferentes densidades. Los valores α de Manly son la media \pm error estándar con base en cuatro réplicas. Valores mayores a 2.5 (línea punteada) indican preferencia por la presa. Columnas con letras iguales no son significativamente diferentes.

Semana 6

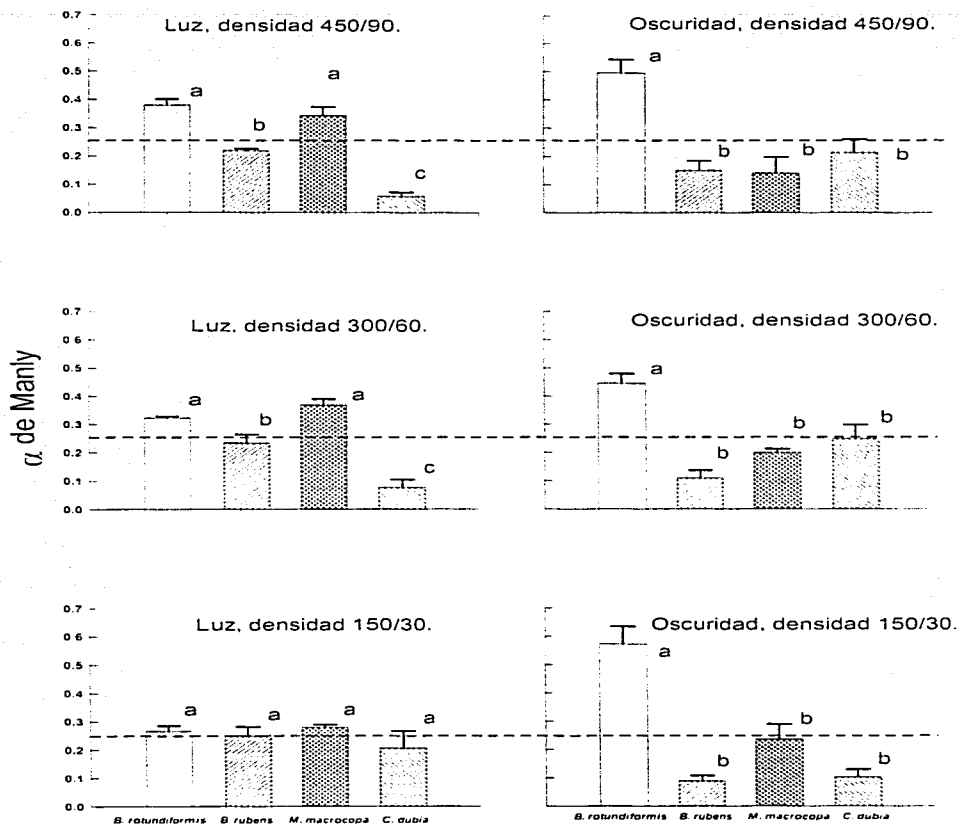


Figura 16. Selectividad de presas de *C. riojai* de 6 semanas de edad alimentadas con *B. rotundiformis*, *B. rubens*, *M. macrocopa* y *C. dubia*. A diferentes densidades. Los valores α de Manly son la media \pm error estándar con base en cuatro réplicas. Valores mayores a 2.5 (línea punteada) indican preferencia por la presa. Columnas con letras iguales no son significativamente diferentes.

5.2.3 Crecimiento y mortandad de *C. riojai*.

El crecimiento somático de *C. riojai* como resultado de la alimentación con las distintas dietas por seis semanas se muestra en la Tabla 8. El mayor crecimiento fue con la dieta de nauplios de *Artemia*, con un incremento de 17% mayor comparado al obtenido con la alimentación de rotíferos solamente. La prueba estadística de Tukey indicó diferencias significativas entre la dieta de solo *Artemia* y solo cladóceros y solo rotíferos, pero no entre estos dos últimos. La supervivencia de las larvas en los distintos tratamientos se situó en el intervalo de 50-60% durante las primeras seis semanas de vida alimentadas con presas vivas, pero ninguna larva pudo sobrevivir con solo la dieta de alimento artificial.

TABLA No. 8 Crecimiento somático de *C. riojai*

Dieta	Talla final (mm) promedio \pm ds *	% de supervivencia
Solo rotíferos T-1	14.94 \pm 1.95 a	53%
Solo cladóceros T-2	14.13 \pm 2.60 a	50%
Solo <i>Artemia</i> T-3	17.53 \pm 1.23 b	60%
Solo artificial T- 4		0 %

* Cifras con letras iguales no son significativamente diferentes.



6. DISCUSIÓN

6.1 Crecimiento poblacional de zooplanctones

Las especies dulceacuícolas del zooplancton estudiadas tienen poca tolerancia a las distintas concentraciones de NaCl, como una confirmación de su origen y desarrollo en dicho medio, pero con respuestas definidas para cada especie. En concordancia con la consideración de que las especies zooplanctónicas dulceacuícolas no pueden vivir a salinidad mayor de 4 g l^{-1} (Pennak, 1989). Así *B. rubens* creció escasamente a más de $1.5 \text{ g NaCl l}^{-1}$, valores cercanos a los encontrados por Peredo-Alvarez (2002) de 3.0 y $2.0 \text{ g NaCl l}^{-1}$ para los rotíferos de agua dulce *Brachionus calyciflorus* y *Brachionus patulus*. En el caso de *B. rotundiformis* manifestó un comportamiento similar al no soportar concentraciones por debajo de los niveles de salinidad de los que naturalmente habita de 8.3 a 9 g l^{-1} ; los valores aquí presentados concuerdan con Sarma *et al.* (2002) que determinaron para *B. rotundiformis* y *Hexarthra jenkiniae* un intervalo óptimo de 6 a 9 g NaCl l^{-1} .

Las tasas de crecimiento poblacional registradas se encuentran dentro de lo esperado para estos braquiúridos, *B. rubens* en general tiene tasas de crecimiento más bajas que *B. rotundiformis*. Sus tasas de crecimiento poblacional se encontraron en el intervalo de 0.15 - 0.45 similares a lo reportado para *B. rubens*, *B. calyciflorus* y *B. patulus* en otros estudios (Larios-Jurado, 1999; Trujillo-Hernández, 2002; Peredo-Alvarez, 2000). Las tasas de crecimiento poblacional de *B. rotundiformis* registradas fueron análogas a las encontradas para *B. plicatilis* y *B. rotundiformis* (mayores a 0.7) por Ciro-Pérez (2001) así como las obtenidas por Reyes-Bustamante (1999) para *B. plicatilis*, alimentados con microalgas como *Kirchneriella obesa*, *Scenedesmus quadriculata* y *Chlorococcum infusorium*. Y considerando que los valores obtenidos para los parámetros evaluados son similares como fue la densidad máxima, facilitarían la elección de la especie a dependiendo de las condiciones requeridas. Consecuentemente, en estas circunstancias, las tasas de crecimiento de estas especies es una medida confiable del tiempo al cual la población puede ser cosechada. Sin embargo especies de zooplancton, a pesar de que alcanzan altas densidades poblacionales tienen tasas de crecimiento bajas debido a que

les toma más tiempo alcanzar dicha densidad (Peña-Aguado, 2003). Bajo tales condiciones es aconsejable estudiar las tasas de crecimiento tanto como los factores individuales que los influyen (la máxima densidad poblacional y el tiempo que toma alcanzarla) particularmente cuando el propósito es seleccionar especies y condiciones para lograr una mayor producción, como en la acuicultura.

Con respecto a los cladóceros, en este estudio *M. macrocopa* presento una mayor adaptabilidad a la salinidad. Los valores aquí observados se acercan a los encontrados por otros autores que enseñan que *Moina* es uno de los cladóceros con la mayor tasa de crecimiento (Saint Jean, 1983). Es conocido que las especies *Moina hutchinsoni* y *Moina salina* toleran mayores grados de salinidad, de tal manera que el género *Moina* tiene mayor resistencia al estrés provocado por la presencia del NaCl en su medio, resistencia dada por la capacidad de los cladóceros de regularse osmóticamente dentro de un rango de salinidades, de levemente salinos a 5 ppt (Dodson y Frey, 2000). Ahora bien, considerando que uno de los propósitos de conocer las respuestas a la salinidad es su uso para el cultivo de las especies del género *Chirostoma* en condiciones de salinidad, para estas actividades *M. macrocopa* sería una mejor opción, particularmente por alcanzar la densidad máxima en menor tiempo que otras especies de cladóceros.

6.2 Comportamiento alimentario

6.2.1 Respuesta funcional

Las especies planctónicas estudiadas se encuentran habitualmente en diversos cuerpos de agua en México, tanto los dos rotíferos como los cladóceros. Así, incluso en los que se encuentra el pescado blanco (principalmente en la cuenca del Río Lerma), existe muchas especies del zooplancton (De la Lanza y García-Calderón 2002). Como en el caso de otras especies de *Chirostoma*, *C. riojai* también es capaz de alimentarse de rotíferos y cladóceros. Ambas especies de rotíferos fueron consumidas por las larvas de diversos grupos de edad, aunque las larvas de la cuarta y quinta semanas de edad consumieron un número menor de rotíferos que de cladóceros. La incapacidad de *Chirostoma riojai* para consumir cladóceros a la semana de edad, posiblemente fue debido al tamaño de su boca más pequeño que la talla de los cladóceros. En general, en comparación a las larvas

nacidas de peces vivíparos, las que eclosionan de huevos de especies ovíparas tienen un tamaño de boca más pequeño (Domínguez-Domínguez et al., 2002). Por lo tanto, la amplitud de la dieta llega a ser más estrecha. Sin embargo, debido a los cambios ontogénicos de la dieta, la mayoría de las larvas de peces conforme crecen pueden incluir presas de mayor tamaño.

Es necesario considerar que diversos factores tales como: la edad de los peces, el tamaño y la densidad de las presas influyen en la cantidad de presas consumidas, por ejemplo aunque en el medio estén presas más grandes, si son pocas serán insuficientes para saciar a las larvas hambrientas. Igualmente cuanto más hambriento este un pez mayor será su papel en la selección de las presas y en las respuestas al incremento en la densidad de las mismas (DeMott, 1993). Por ejemplo, los depredadores escasamente y completamente hambrientos muestran respuestas funcionales distintas (Nandini y Sarma, 1999). Cuando se tienen presas más pequeñas, se deben ofrecer cantidades más altas para proporcionar un consumo energético más eficaz. Se sabe que las larvas de los arenques del Atlántico cambian su manera de alimentarse, de partículas a una tipo de alimentación por filtraje cuando existe una mayor disponibilidad de las presas (Batty et al., 1986). Los estudios de consumo óptimo también han revelado que es energéticamente provechoso capturar pocas presas grandes más que consumir muchas pequeñas cuando el tamaño de la boca no es una restricción (Juanes, 1994).

El tamaño de los rotíferos (150-200 μm) generalmente es adecuado y satisface el tamaño de la boca de una gran variedad de peces de interés en acuicultura. En este estudio ambas especies de rotíferos están dentro del intervalo aceptable para muchas especies de larvas de peces incluidas *C. humboldtianum* (Morales-Ventura datos no publicados) y *C. riojai* (el presente trabajo). El uso de cladóceros después de la segunda semana y subsecuentes (5 o 6) se ha recomendado para varias especies de peces, debido a que desde esta edad las larvas tendrían el tamaño de boca más grande y la captura de cladóceros también es energéticamente beneficiosa. En este trabajo, se utilizó a *M. macrocopa* y *C. dubia* como dietas apropiadas puesto que son más grandes que los rotíferos pero sin espinas dorsales (como sucede con el género *Daphnia*).

Las respuestas funcionales para diversas especies de peces tienen implicaciones en su uso en la acuicultura e incluso para la conservación de algunos taxa amenazados. Por ejemplo, el Peredo-Alvarez *et al.* (2002) han demostraron que dependiendo de la edad de las larvas de los peces, las curvas de respuesta funcionales fueron utilizadas para derivar los niveles apropiados de la presa que se mantendrán en los tanques para una alimentación eficaz. Sin importar la especie, la mayoría de los peces tienen respuestas funcionales del tipo II (Begon *et al.*, 1995), lo observado en este estudio fue que el aumento en densidad de las presas del zooplancton dio lugar a un incremento del consumo de las presas hasta cierta densidad, más allá de la cual un aumento posterior produjo solamente una estabilización de la tasa del consumo. En esta investigación, también las larvas de estos atherinópsidos mostraron curvas de respuesta funcionales del tipo II; consumieron más rotíferos y cladóceros con el aumento en la disponibilidad de las presas, también cambio con respecto a la edad de las larvas.

6.2.2 Selectividad

En general se notó que *B. rotundiformis* y *M. macrocopa* fueron seleccionados en mayor proporción ($\alpha > 0.25$) comparados con los valores α obtenidos por *B. rubens* y *C. dubia*. Las posibles explicaciones tienen su base en la teoría de forrajeo óptimo (Krebs y Davies, 1991; Gerking, 1994) que propone que los peces tienden a preferir capturar pocas presas grandes que muchas pequeñas, además de que características morfológicas tales como exoesqueleto blando (en *M. macrocopa*) o de comportamiento, (cambios en la salinidad reducen la movilidad de *B. plicatilis*), además de que por su contenido nutrimental una especie zooplanctónica es preferida sobre otra (DeMott, 1993). Como efecto del desarrollo de las larvas de *C. riojai*, se observó que disminuyó la preferencia por rotíferos pero un aumento en la selectividad por los cladóceros. En la oscuridad, *C. riojai* mostró un incremento en su preferencia por *M. macrocopa* que en la luz. Esto fue debido probablemente al incremento en el número de encuentros con esa presa, la cual se mueve más rápido que cualquiera de las otras especies probadas, como se observó directamente. Se ha demostrado que el pez ciego *Astyanax fasciatus* tiene un mayor número de encuentros con *M. macrocopa* que los logrados por *Pterophyllum scalare* que si



puede ver (Sarma *et al.*, 2003). Por lo que en condiciones de oscuridad, el número de encuentros es un factor que puede determinar las preferencias en la dieta de una especie.

Otro aspecto a considerar del análisis de los patrones alimenticios de *C. riojai* en condiciones de iluminación y oscuridad; es su aporte al análisis de los patrones de coexistencia de las especies del zooplancton en presencia de depredadores visuales. Se ha documentado que *Moina macrocopa* y *Brachionus rubens* pueden crecer bien bajo condiciones de alta turbidez y abundancia de materia orgánica. Y debido a que *C. riojai* puede alimentarse de *M. macrocopa* bajo condiciones alta turbidez, este atherinópsido puede ayudar a regular su densidad poblacional lo que probablemente permite la coexistencia de rotíferos y cladóceros. En tales condiciones los rotíferos no solo compiten por medio la explosión de sus poblaciones sino también por el efecto de interferencia (Gilbert y Kirk, 1988). Es probable que lo anterior suceda en las condiciones de alta turbidez existentes en varios lagos someros de México como lo es el lago de Chapala (Jalisco) donde naturalmente existen miembros del género *Chirostoma*.

6.2.3 Crecimiento y mortandad de *C. riojai*.

Si bien solo fue posible obtener el incremento en longitud y la mortandad para evaluar las respuestas del uso de las distintas presas como alimento, se pudo observar que el tratamiento con alimento artificial comercial para crías (T-4) falló pues las larvas murieron en la primera semana, sea por que no fue del tamaño de la boca de las larvas, por su poca palatabilidad o por que no fue disponible al hundirse rápidamente y no ser asequible como el alimento vivo; similares resultado obtuvieron Figueroa *et al* (1999b) con larvas de *C. humboldtianum*. Existen evidencias de que las larvas de los peces alimentadas con dietas artificiales tienen crecimientos bajos, posiblemente se debe a las bajas tasa de ingestión y la escasa digestibilidad de esos alimentos artificiales (Gerking, 1994). Asimismo se sabe que las larva de los peces carecen de algunas enzimas digestivas de tal manera que las presas vivas ayudan en el proceso autolítico (Dabrowski, 1979). Si bien un estudio de las enzimas digestivas de *Chirostoma estor*, Martínez-Palacios *et al.* (2002) demostraron que en la etapa larval se encuentra presentes dichas enzimas digestivas.



Por otro lado, se observó que el mayor incremento en la longitud corporal durante el periodo de estudio fue con la dieta de *Artemia*. No obstante, este incremento fue solo del 17% mayor al logrado con la dieta de rotíferos y cladóceros. Se presentaron supervivencias en el intervalo de 50 a 60 %, con los tres tratamientos de alimento vivo. Esto es bajo, pero se puede explicar por la naturaleza frágil de las larvas y las técnicas de manejo las que pueden ser mejoradas por la experiencia. El hecho de que el crecimiento de las larvas es similar con rotíferos y nauplios de *Artemia* sugiere la posibilidad de utilizar los rotíferos en la acuicultura. Se sabe que una larva de pez necesita 50,000 rotíferos en las primeras dos semanas de vida (Lubzens, 1987). Por lo que si las técnicas de cultivo de los rotíferos son perfeccionadas y adaptadas a mayor escala, esto podría ayudar a reducir los costos de producción de estos peces.



7. CONCLUSIONES

- La cepa de *B. rotundiformis* empleada en este estudio, pueden ser útiles para el cultivo de larvas de peces con requerimientos de niveles bajos de salinidad (5-10 g l⁻¹).
- El cladóceros *M. macrocopa* resiste mejor los cambios de salinidad que *C. dubia* a niveles bajos de NaCl (< 3 g l⁻¹).
- La respuesta funcional de *C. riojai* ante el aumento en la concentración de las presas es del tipo II.
- Cuando se ofrecen a las larvas de *C. riojai* como alimento único a cada una de los zooplanctones, el consumo de *B. rubens* es mayor que de *B. rotundiformis* entre los rotíferos y mayor el de *M. macrocopa* que de *C. dubia* para los cladóceros.
- En las primeras seis semanas de vida *C. riojai* tiene una preferencia marcada por *B. rotundiformis*, y *M. macrocopa* entre los rotíferos y los cladóceros respectivamente.
- Las larvas de *C. riojai* consumieron y seleccionaron a *B. rotundiformis* y *M. macrocopa*, estos alimentos vivos pueden ser una elección adecuada para las larvas de atherinópsidos. Y pueden ser una alternativa de uso los nauplios de *Artemia* de en diversos esquemas de cultivo de larvas de peces y crustáceos.



8. BIBLIOGRAFIA

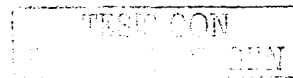
- Anónimo, 1985. Methods of measuring the acute toxicity of effluents to freshwater and marine organisms. US Environment Protection Agency EPA/600/4-85/013
- Alcocer, J., 1997. Biodiversidad y lagos salinos. *Biodiversitas* Año 3 (16), 7-14.
- Alcocer, J., Lugo, A., 2003. Effects of El Niño on the dynamics of Lake Alchichica, central México. *Geofísica Internacional* 42 (3), 523-528.
- Alcocer, J., Lugo, A., Oliva, M. G., 2002. Los lagos cráter del Valle de Santiago, Guanajuato. En: De la Lanza, G. E., García, C. J. L., Editores. *Lagos y presas de México*. AGT edit. 580 p.
- Aladin, N. V., 1991. Salinity tolerance and morphology of the osmoregulation organs in Cladocera with special reference to Cladocera from the Aral Sea. *Biology of Cladocera, Hydrobiol.* 225, 291-299.
- Aladin, N. V., Potts, W.T.W., 1995. Osmoregulatory capacity of the Cladocera. *J. Com. Physiol.* B. 164 (8), 671-693.
- Alcántara-Soria, L. Soto-Galera, E., 1997. Depredación selectiva de *Chirostoma riojai* en el embalse Ignacio Ramírez, Edo de México. *Memorias – Resúmenes V Congreso Nacional de Ictiología*.
- Amilpa, H. U., Soto-Galera, E., Méndez-Sánchez, J. F., 2002. Selectividad por el zooplankton de *Chirostoma riojai* (Solórzano y López, 1965) en el embalse Ignacio Ramírez. *Resúmenes VIII Congreso Nacional de Ictiología*. Puerto Angel Oax., noviembre.
- Assavaaree, M., Hagiwara, A., Lubzens, E., 2001. Factors affecting low temperature preservation of the marine rotifer *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff. *Hydrobiol.* 446/447, 355 -361.
- Arredondo, F. J. L., 2002. Los Axalapascos de la Cuenca Oriental, Puebla. En: De la Lanza, G. E., García, C. J. L., Editores. *Lagos y presas de México*. AGT edit. 580 pp.
- Ballinas, T. J. A., Toledo, C. M., Martínez P. C. A., Efecto de la salinidad en la supervivencia de huevos y larvas de pez blanco *Chirostoma estor estor* (Pises: Atherinidae). *Memorias XVI Congreso Nacional de Zoología*. Zacatecas Zac., oct. nov.
- Barriga-Tovar, E., Martínez-Palacios, C. A., Rosas-Monge, C., Chacón-Torres, A., Ross, L. G., 2000. Efecto de la temperatura del agua sobre la supervivencia y el crecimiento de larvas de pez blanco *Chirostoma estor estor* (piscis: atherinidae). *Resúmenes VII Congreso Nacional de Ictiología*, México D. F. noviembre.
- Batty, R.S., Blaxter, J.H.S., Libby, D.A., 1986. Herring (*Clupea harengus*) filter-feeding in the dark. *Mar. Biol.* 91, 371-375.

- Begon, M., Harper, J.J., Towsend, C. R., 1995. Ecología individuos, poblaciones y comunidades. Omega. 886 pp.
- Boeuf, G., Le Bail, P., 1999. Does light have an influence on fish growth?. *Aquaculture* 177.129-152.
- Borowitzka, M. A., Borowitzka, L.J., 1988. Micro-algal biotechnology. Cambridge Univ. Press London.
- Cahu, C. I., Zambonino J. I., 2001. Substitution of live food by formulated diets in marine fish larvae. *Aquaculture* 200, 161-180.
- Castellanos-Páez, M. E., Garza-Mouriño G., Marañón-Herrera, S. 1999. Aislamiento, caracterización, biología y cultivo del rotífero *Brachionus plicatilis* (O.F. Müller). UAM Unidad Xochimilco. Libros de texto 119 pp.
- Campos-Mendoza, A., Martínez-Palacios, C. A., Ríos-Durán, M. G., Chacón-Torres, A., Rosas-Monge, C., 2000. Comparación del crecimiento de tres especies del género *Chirostoma* (pisces: Atherinidae), cultivados en un sistema de recirculación de agua). Resúmenes VII Congreso Nacional de Ictiología, México D. F., noviembre.
- Ciros-Pérez, J., 2001. Exclusión y coexistencia entre especies gemelas de rotíferos: mecanismos subyacentes. Tesis Doctoral Univ. de Valencia 179 pp.
- Colinvaux, P. A., 1997. Introducción a la ecología. Limusa Noriega Ed. 679 pp.
- Comas, M. J., Lindsay, G. R., Martínez-Palacios, C. A., 2001. Evaluación del crecimiento y mortalidad del pez blanco de Patzcuaro (*Chirostoma estor estor*) a diferentes salinidades. Memorias XVI Congreso Nacional de Zoología. Zacatecas Zac., oct. nov..
- CONABIO. 1998 Regiones hidrológicas prioritarias. En: Diversidad Biológica de México: Estudio de País. México. 142 pp. conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos
- Confer, J., O'Bryan L. M., 1989. Changes in prey rank and preference by young plaktivores for short-term and long-term ingestión periods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46, 1026-1032.
- Chacon, A. T., Alvarado, J. D., 2002. El Lago de Cuitzeo. En: De la Lanza, G. E., García, C. J. L., Editores. Lagos y presas de México. AGT edit. 580 pp.
- Dabrowski, K. 1979. The role of proteolytic enzymes in fish digestion. vol. 4: 107-126. En: Styczynska-Jurewicz, T., Backiel, G. Persoone, Editores. Cultivation of fish fry and its live food. Europ. Maricult. Soc. Publ. Bredene, Belgium.
- Delbare, D., Dhert, P., 1996. Cladocerans, nematodes and trochophora larvae. En: Lavens, P., Sorgeloos, P., Editores. Manual on the production and use of live food for aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper 361. Rome, FAO, 295 pp.

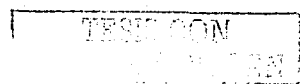


- De la Lanza, G. E., García, C. J. L., Editores. 2002. Lagos y presas de México. AGT Editor. SA, Mexico.
- DeMott, W. R., 1993. Hunger-dependent diet selection in zooplankton. Diet Selection: An Interdisciplinary Approach to Foraging Behaviour. En: Hughes, R.N. Editor. Blackwell Scientific Publications, Oxford. pp. 102-123.
- Dhert, P. 1996. Rotifers. En: Lavens, P; Sorgeloos, P. Editores Manual on the production and use of live food for aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper. No. 361. Rome, FAO. 295 pp.
- Dhert, P., Rombaut, G., Suantika, G., Sorgeloos, P., 2001. Advancement of rotifer culture and manipulation techniques in Europe. Aquaculture 200,129-146.
- Dodson, S., Frey, D. G. 1991. Cladocera and other brachiopoda. En: Thorp, J.H., Covich, Editores. Ecology and clasification of North American Freshwater Invertebrates. Academic Press. 732-776 pp.
- Dominguez-Domínguez, O., Nandini, S., Sarma, S.S.S., 2002. Larval feeding behaviour of the endangered fish golden bubblebee goodeid, *Allotoca dugesi*, implications for conservation of an endangered species. Fisher. Manag. Ecol. 9, 1-7.
- Dumont, H. J., Negrea, S. V., 2002. Introduction to the Class Branchiopoda. Backhuys, Netherlands, 398 pp.
- Elías-Gutiérrez, M., Ciro-Pérez, Suárez-Morales, E., Silva-Briano, M., 1999. The freshwater Cladocera (Crustacea, Ctenopoda & Anomopoda) of Mexico with comments on selected taxa. Crustaceana 72(2), 171-186.
- Enriquez, M. A., Paulo-Maya, J. 1998. Osteología comparad de la suspensión mandibular de las especies *Chirostoma chapalae* Jordan y Snyder y *Chirostoma consocium consocium* Jordan y Hubbs (Pisces: Atherinidae). Memorias – Resúmenes VI Congreso Nacional de Ictiología, Tuxpan, Ver., octubre.
- Figuro-Lucero, G., Hernández-Rubio, C., Ríos-Becerrel, G., Sevilla-Hernández, M. L., 1999. Biensayo de alimentación en alevines de *Chirostoma humboldtianum* (Valenciennes) (pisces: Atherinidae) bajo condiciones de laboratorio. An. Esc. Nac. Cienc. Biol., Mex., 45,17-23.
- Figuroa, L. C., Hernández R. C., Hernández S., M. L., 1999. Bioensayos de alimentación en alevines de *Chirostoma humboldtianum* (Valenciennes) (pisces: Atherinidae) bajo condiciones de laboratorio. Resúmenes XV Congreso Nacional de Zoología, Tepic Nayarit. noviembre.
- Frey, D.G., 1993. The penetration of cladocerans into saline waters. Saline Lakes V., Hydrobiologia 267 (1-3), 233-248.

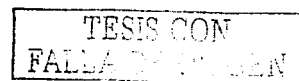
- Gerking, S. D. 1994. Feeding ecology of fish. Academic Press. 416 pp.
- Gilbert, J. J. Kirk, K. L., 1988. Escape response of the rotifer *Keratella*: description, simulation, fluid dynamics and ecological significance. *Limnol. Oceanogr.* 33,1440-1450.
- He, Z.H., Quin, J.G., Wang, Y. Jing, H., Wen, Z., 2001. Biology of *Moina mongolica* (Moinidae, Cladocera) and perspectives as live food for marine fish larvae: review. *Hydrobiologia* 457, 25-37.
- Hernández-Hernández, M. A., Soto-Galera, E., 2000. Tácticas alimentarias del charal del Valle de Toluca *Chirostoma riojai* (pisces: Atherinidae) Solórzano y López, 1965 en tres localidades del alto Lerma. Resúmenes VII Congreso Nacional de Ictiología, México D. F. noviembre.
- Hurtado-Bocanegra, M.D., Nandini, S., Sarma, S.S.S., 2002. Combined effects of food level and inoculation density on competition between *Brachionus patulus* (rotifera) and the cladocerans *Ceriodaphnia dubia* and *Moina macrocopa*. *Hydrobiologia* 468, 13-22.
- Juanes, F., 1994. What determines prey size selectivity in piscivorous fishes? En: Stouder, D. J., Fresh, K.L., Feller, R. J., Editores Theory and application in fish feeding ecology. The Belle W. Baruch Library in Marine Science Number 18. Univ. of S. Carolina Press. pp. 79-100.
- Khadka, R. B., Rao, T. R., 1986. Prey selection by common carp (*Cyprinus carpio* var. *communis*) larvae in relation to age and prey density. *Aquaculture* 88, 69-74.
- Kolkovski, S., 2001. Digestive enzymes in fish larvae and juveniles – implication and application to formulated diets. *Aquaculture* 200, 181-201.
- Krebs, J C., 1989. Ecological methodology. Harper Collins Pub. 654 pp.
- Krebs, J. R. Davies, N. B., 1991. An introduction to behavioural ecology. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, 482 pp.
- Lampert, W., Sommer, U., 1997. Limnoecology: The ecology of lakes and streams. Oxford Univ. Press. 382 pp.
- Larios-Jurado, P. S., 1999. Crecimiento poblacional de los rotíferos *Brachionus calyciflorus* Pallas, *Brachionus patulus* (O.F Muller) y *Asplanchna sieboldi* (Leydig) en relación a diferentes alimentos bajo condiciones de laboratorio. Tesis licenciatura Biología. Fac. Ciencias UNAM. 59 pp.
- Lavens, P., Sorgeloos, P., 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture. eds FAO Fisheries Technical Paper. No. 361. Rome, FAO. 295 pp.
- Lazzaro, X., 1987. A review of planktivorous fishes: their evolution, feeding behaviours, selectivities and impacts. *Hydrobiologia* 146: 97-167.
- Lubzens, E., Z. Mora, O. Barr, Y., 2001. Biotechnology and aquaculture of rotifers. *Hydrobiologia* 446-447: 337-353.



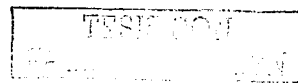
- Lugo, V. A., Alcocer, D. J., Escobar, B. E., Peralta, S.L., Oseguera, P.L., Macek, M., Sánchez R. R., 2002. Variación anual del plancton en un lago salino profundo. Memorias II Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Limnología. octubre.
- Malcon, J. 1995. Environmental biology of fishes. Chapman & may. 455 pp.
- Margalef, R. 1983 Limnología Omega 1010 pp.
- Martínez-Palacios, C., Barriga, T. E., Taylor, J. F., Ríos, D. G., Ross, L. G., 2002. Effect of temperature on growth and survival of *Chirostoma estor estor*, Jordan 1879, monitored using a simple video technique for remote measurement of length and mass of larval and juvenile fishes. Aquaculture 209, 369-377.
- Méndez-Sánchez, J. F., Soto, G. E., Paulo, M. J., Hernández, H. M. A., 2002. Ictiofauna del estado de México. www.ergosum.uaemex.mx/marzo02/Mendez.html.
- Méndez-Sánchez, J.F., Díaz-Pardo, E., 1997. Alimentación, crecimiento y reproducción de *Chirostoma riojai* (pisces: Atherinidae). Memorias – Resúmenes V Congreso Nacional de Ictiología. XYZ 135. p
- Meza, G. O. R., Figueroa, L. G. 2002. Crecimiento y sobrevivencia de larvas de *Chirostoma riojai* alimentadas con tres especies de rotíferos. Memorias XII Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Planctología. Xalapa Ver. mayo.
- Miracle, M.R, Serra, M., 1989. Salinity and temperature influence in rotifer life history characteristics. Rotifer Symposium V., Hydrobiologia 186-187, 81-102.
- Morales-Ventura, J., Figueroa-Lucero, G., Navarrete-Salgado, N., 2001. Crecimiento de larvas de *Chirostoma humboldtianum* a distintas densidades alimentadas con *Brachionus rubens*. Memorias XV Congreso Nacional de Zoología. Zacatecas Zac., noviembre.
- Mustahal, Yamasaki, S., Hirata, H., 1991. Salinity adaptability of five different strains of the rotifer *Brachionus plicatilis*. Nippon Suisan Gakkaishi/Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 57 (11), 1997-2000.
- Nandini, S., Sarma, S.S.S., 1999. Effect of starvation time on the prey capture behaviour, functional response and population growth of *Asplanchna sieboldi* (Rotifera). Freshw. Biol. 42, 121-130.
- Nandini, S., Sarma, S.S.S., 2000. Zooplankton preference of two species of freshwater ornamental fish larvae. J. Appl. Ichthyol. 16:01-03.
- Norgrady, T., Wallace, R. L. Snell, T.W., 1993. Rotifera: Vol. 1: Biology, ecology and systematics. SBP Academic Publishers. The Hague 142 pp.
- Oeie, G., Olsen, Y., 1993. Influence of rapid changes in salinity and temperature on the mobility of the rotifer *Brachionus plicatilis*. Rotifer Symposium VI., Hydrobiologia 255-256, 81-86.



- Olsen, A.I., Attramadal, Y., Reitan, K. I., Olsen, Y., 2000. Food selection and ingestion characteristics of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) larvae fed cultivated prey organisms. *Aquaculture* 181, 293-310.
- Orbe, M. A., Acevedo, J. G., Guzmán, A., 1996. La investigación en especies nativas. Memorias de la Reuniones técnicas de la red nacional de investigaciones para acuicultura en aguas continentales (REDACUI). Instituto Nacional de la Pesca –SEMARNAP Pátzcuero Mich. 123-129 pp.
- Paulo-Maya, J., 2000. Situación actual sobre el conocimiento de la biología del género *Chirostoma* Swaison (Pisces: Atherinopsidae). Ejercicio predoctoral ENCB – IPN. 175 pp.
- Pennak, R. W., 1989. Fresh-water invertebrates of the United States. Protozoo to Mollusca. 3ª ed. Wiley-Interscience 628 pp.
- Peña-Aguado, F., 2003. Crecimiento poblacional de tres rotíferos y dos cladóceros planctónicos en relación con el tipo de dieta. Tesis maestría ICMYL-UNAM. 56 pp.
- Peredo-Alvarez, V. M., Sarma S.S.S., Nandini, S. 2002. 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.* (en prensa).
- Peredo-Alvarez, V. M., 2002. Estudio comparativo del crecimiento poblacional de dos especies de rotíferos *Brachionus calyciflorus* y *Brachionus patulus* sujetos a diferentes concentraciones de *Chlorella vulgaris* bajo condiciones de laboratorio. Tesis licenciatura Univ. Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. 62 pp.
- Planas, M., Cunha, I., 1999. Larviculture of marine fish: problems and perspectives. *Aquaculture* 177, 171-190.
- Purser, D. S., Battaglione, G. J., 2000. Effect of rapid changes in temperature and salinity on availability of the rotifers *Brachionus rotundiformis* and *Brachionus plicatilis*. *Aquaculture*, 189 (1-2), 85-99.
- Puvanendran, V., Brown, J. A., 1999. Foraging, growth and survival of Atlantic cod larvae reared in different prey concentrations. *Aquaculture* 175:77-92.
- Rabe, J., Brown, J. A., 2000. A pulse feeding strategy for rearing larval fish: an experiment with yellowtail flounder. *Aquaculture* 191: 289-302.
- Ramos-Ortiz, C. G., Figueroa-Lucero, G., Hernández-Rubio, M. C., 2000. Bioensayos de alimentación y crecimiento en larvas de *Chirostoma riojai* Solórzano y López 1965 (Pisces: Atherinopsidae) bajo condiciones de laboratorio. Resúmenes VII Congreso Nacional de Ictiología, México D. F. noviembre.



- Reyes-Bustamante, H., 1999. Evaluación y optimización de la producción de microalgas del rotífero *Brachionus plicatilis* y del cladóceros *Daphnia magna*, bajo diferentes condiciones de cultivo. Tesis Doctorado. Fac. Ciencias UNAM, 76 pp.
- Ríos, D. M. G., Martínez, P. C. A., Martínez, P.M., Lindsay G. R., 2001. Actividad proteolítica en larvas de dos subespecies de pez blanco *Chiostoma estor estor* y *Chiostoma estor copandaro* (Pises: Atherinidae). Memorias XVI Congreso Nacional de Zoología. Zacatecas Zac., oct. nov.
- Rosas, M. M., 1973. Peces dulceacuícolas que se explotan en México y datos sobre su cultivo. Ediciones Centro de Estudios Económicos del 3er. Mundo, México.
- Rosas, M. M., 1970. Pescado blanco, su fomento y cultivo en México. Secretaría de Industria y Comercio. Instituto Nacional de Investigaciones Biológicas Pesqueras. México.
- Rottmann, R. W., 1992. Culture techniques of Moina: the ideal Daphnia for feeding freshwater fish fry. Circular 1054. Dept. Fish. Coop. Exten. Serv. - Univ Florida.
- Saint-Jean, L., 1983. The zooplankton En: Caroze, J.P., et al. Editores. Lake Chad. Monograph. Biol. 199-232.
- Sarma, S.S.S. 1991. Rotifers and aquaculture. Env. and Ecol. 9, 414-428.
- Sarma, S.S.S. 1996. Rotifers ecotoxicology, laboratory manual 181 pp.
- Sarma, S.S.S., 1998. Workshop rotifer – fish larvae interactions. Memorias. UNAM Campus Iztacala. México. 55 pp.
- Sarma, S.S.S., Elguea-Sánchez, B., Nandini, S., 2002. Effect of salinity on competition between the rotifers *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff and *Hexarthra jenkiniae* (De Beauchamp) (Rotifera). Hydrobiol. 74, 183-188.
- Sarma, S.S.S., Nandin, S., 2001. Estimation of rotifer population growth patterns. En tecnología del cultivo de zooplancton para acuicultura de peces y crustáceos Diplomado Veracruz Ver. FES Iztacala – UNAM. 120 pp
- Sarma, S.S.S., López-Romulo, A., Nandin, S., 2003. Larval feeding behaviour of blind fish *Astyanax fasciatus* (Characinidae), black tetra *Gymnocorymbus ternetzi* (Characidae) and angel fish *Pterophyllum scalare* (Cichlidae). Hydrobiol. 503, 1-10.
- Snell, T.W. 1986. Effect of temperature, salinity and food level on sexual and asexual reproduction in *Brachionus plicatilis* (Rotifera). Mar. Biol. Berlin, 92 (2), 157-162.
- SEMARNAP 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-059-1994. Que determina las especies y Subespecies de Flora y Fauna Silvestres Terrestres y Acuáticas en Peligro de Extinción, Amenazadas, Raras y las Sujetas a Protección Especial y que Establece Especificaciones para su Protección. Diario Ofi. Fed., 16 de mayo de 1994.



- SEMARNAP. 1999. Anuario Estadístico de Pesca 1998. Secretaría de Recursos Naturales y Pesca. 244 pp
- Serra, M. Gómez, A. Carmona, M.J., 1998. Ecological genetics of *Brachionus* sympatric sibling species. *Hydrobiologia* 387-388 (1-3), 373-384.
- Takeuchi, T., 2001. A review of feed development for early life stages of marine finfish in Japan. *Aquaculture* 200, 203-222.
- Tello, B. J. A., Toledo, C. M., Martínez, P. C. A., 2001. Efecto de la salinidad en la supervivencia de huevos y larvas de pez blanco *Chirostoma estor estor* (Pisces: Atherinidae). Memorias XV Congreso Nacional de Zoología. Zacatecas Zac., noviembre.
- Thorp, J.H. Covich, A.P. (eds). 2001. Ecology and classification of North American freshwater invertebrates. Academic Press, 2nd edn, New York.
- Trujillo-Hernández, H. E., 2002. Tabla de vida demográfica y crecimiento poblacional de especies de rotíferos seleccionadas (Rotífera) en aguas de desecho urbano con énfasis en calidad nutricional. Tesis licenciatura Biología. FES Iztacala UNAM, 55 pp.
- Tucker, J. W., 1998. Marine fish culture. Kluwer Aca. Pub. 751 pp.
- Watanabe, T., 1988. Fish nutrition and mariculture. JICA Textbook the general aquaculture course. TKC, JR. 88 – 1., 233 pp.
- Wetzel, R.G., 1981. Limnología Omega 679 pp.
- Zambrano, L., Macías-García, C., 2000. Impact of introduced fish for aquaculture in Mexican freshwater systems. En. Leach J. H., C. laudi R. Leach J.H., Editores Nonindigenous Fresh Water Organisms: Vectors, Biology, and Impacts: CRC Press, 113.124 pp.
- Zhao, Wen, 1991. A review on the Cladocera in inland saline waters *Journal of Dalian Fisheries College*. 6 (2), 31-41.

TESIS CON
FALLA DE CALIFICACION