

03096



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



**"EFECTO DE DOS ESPECIES DE MICROALGA
(*Chlorella vulgaris* Y *Scenedesmus acutus*)
MEZCLADAS EN LA DINÁMICA POBLACIONAL DE
ROTÍFEROS (*Brachionus calyciflorus*, *Brachionus
patulus*) Y CLADÓCEROS (*Ceriodaphnia dubia*,
Moina macrocopa)"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
**MAESTRÍA EN CIENCIAS
(LIMNOLOGÍA)**

P R E S E N T A

BIÓL. JUAN FLORES BURGOS

DIRECTOR DE TESIS:

DR. SINGARAJU SRI SUBRAHMANYA SARMA

COMITÉ TUTORAL:

DRA. ROSALUZ TAVERA SIERRA

DR. ALFONSO LUGO VÁZQUEZ

DR. XAVIER CHIAPPA CARRARA

DRA. NANDINI SARMA

MÉXICO, D.F.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*HOY VIVO Y VIVO EN TI
COMO EN MÍ ESTÁN
LOS QUE YA HAN PASADO
LOS QUE SUPIERON DEJAR
ESA HUELLA QUE LOS HACE
INMORTALES; POR ESO
...HOY VIVO EN TI*

Cecilia

DEDICATORIA

A mis queridos padres Carmen Burgos Garrido y Roberto Flores Espinosa

Por todo su apoyo, paciencia, esfuerzo, cariño y amor

Brindado incondicionalmente en mi vida.

A mi hermana Adriana del Carmen

Por enseñarme tu valor, alegría, entusiasmo y gran amor por la vida.

A mi hermano Roberto Rodrigo

Por tu cariño, interés, apoyo y lucha en todo momento.

A mi sobrino Luís Rodrigo

Por los momentos de alegría que hemos compartido

A mi tío Ismael

Por su alegría, amor, cariño, buen humor y consejos.

¡ Mil Gracias !

A Estela

Por tu gran amor, apoyo, comprensión, entusiasmo, alegría

Y por estar a mi lado en todo momento

Cuando más te necesite

¡ Gracias !

Agradecimientos

Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología por la oportunidad de ingresar y ser parte del mismo.

Al Dr. Singaraju Sri Subrahmanya Sarma por su apoyo, ayuda, facilidades y amistad brindadas para la realización de esta investigación y por compartir sus conocimientos.

A la Dra. Nandini Sarma por brindarme su amistad, apoyo y consejos para mejorar cada día.

A la Dra. Rosaluz Tavera Sierra, Dr. Alfonso Lugo Vázquez, Dr. Xavier Chiappa Carrara y a la Dra. Nandini por sus comentarios y sugerencias para mejorar esta tesis.

A la Dra. Gloria Vilaclara, Dr. Javier Alcocer, Mtro. Margarito, M. C. Guadalupe Oliva, Mtra. Martha Gaytan y Mtra. Gloria Muro por su apoyo, amistad, entusiasmo y aliento para terminar esta etapa e iniciar una nueva.

Al M. C. Mario Chávez Arteaga por brindarme su tiempo y observaciones realizadas en el presente trabajo, pero sobretodo por su amistad.

Al personal del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología Dr. Martín Merino Ibarra, Biól. Diana Juárez, Lupita, Norma, Cande y Gaby por su labor y ayuda.

Al CONACYT por su apoyo para la realización de mis estudios de maestría en el posgrado con el número de registro de becario 177780.

A cada uno de los profesores que integran el Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología por compartir sus conocimientos con sus alumnos.

Al personal de la Unidad de Morfofisiología de la Facultad de Estudios Profesionales Iztacala por las facilidades otorgadas para realizar este trabajo.

A cada uno de los integrantes del Laboratorio de Zoología Acuática con quienes compartimos agradables momentos Lucía Pavón, Teresa Ramírez, Alejandro Anaya, Alejandro Alva, Rubén, Mayeli Sánchez, Ernesto Mangas, Iris Domínguez, Diego, Gerardo, Karina, Cecilia

A cada una de las personas que de forma directa e indirecta mostraron su amistad y aliento para concluir esta investigación.

¡ Muchas Gracias ¡

Índice General

Índice general	VI
Índice de figuras	VIII
Resumen	X
Introducción	1
Antecedentes	4
Objetivos	6
Hipótesis	7
Material y Métodos	8
Cultivo de microalgas (<i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus acutus</i>)	8
Cultivo de rotíferos (<i>Brachionus calyciflorus</i> , <i>B. patulus</i>) y cladóceros (<i>Ceriodaphnia dubia</i> , <i>Moina macrocopa</i>)	11
Diseño experimental	11
Resultados	16
Crecimiento poblacional en Rotíferos	16
Tabla de vida de las especies de Rotíferos	20
Competencia entre las especies de Rotíferos	26
Crecimiento Poblacional en Cladóceros	32
Tabla de vida de las especies de Cladóceros	35
Competencia entre las especies de Cladóceros	41
Discusión	46
Crecimiento poblacional de Rotíferos y Cladóceros	46
Tabla de vida de las especies de Rotíferos y Cladóceros	50
Competencia entre las especies de Rotíferos y Cladóceros	54
Conclusiones	59

Literatura	60
Anexo	67

Índice de Figuras

Figura 1. Especies de rotíferos (<i>Brachionus calyciflorus</i> y <i>B. patulus</i>)	9
Figura 2. Especies de cladóceros (<i>Ceriodaphnia dubia</i> y <i>Moina macrocopa</i>) .	10
Figura 3. Crecimiento poblacional de <i>B. calyciflorus</i> y <i>B. patulus</i>	18
Figura 4. Máxima densidad, día de máxima densidad y tasa de incremento poblacional por día de <i>B. calyciflorus</i> y <i>B. patulus</i>	19
Figura 5. Curvas de supervivencia (l_x) y fecundidad (m_x) de <i>B. calyciflorus</i> ...	22
Figura 6. Curvas de la expectativa de vida al nacer (e_x) y distribución estable de edad (C_x) de <i>B. calyciflorus</i>	23
Figura 7. Curvas de supervivencia (l_x) y fecundidad (m_x) de <i>B. patulus</i>	24
Figura 8. Curvas de la expectativa de vida al nacer (e_x) y distribución estable de edad (C_x) de <i>B. patulus</i>	25
Figura 9. Crecimiento poblacional en competencia de <i>B. calyciflorus</i> y <i>B. patulus</i>	28
Figura 10. Máxima densidad en competencia de <i>B. calyciflorus</i> y <i>B. patulus</i> .	29
Figura 11. Día de máxima densidad en competencia de <i>B. calyciflorus</i> y <i>B. patulus</i>	30
Figura 12. Tasa de incremento poblacional por día en competencia de <i>B. calyciflorus</i> y <i>B. patulus</i>	31
Figura 13. Crecimiento poblacional de <i>Ceriodaphnia dubia</i> y <i>Moina macrocopa</i>	33
Figura 14. Máxima densidad, día de máxima densidad y tasa de incremento poblacional por día de <i>C. dubia</i> y <i>M. macrocopa</i>	34
Figura 15. Curvas de supervivencia (l_x) y fecundidad (m_x) de <i>C. dubia</i>	37
Figura 16. Curvas de la expectativa de vida al nacer (e_x) y distribución estable de edad (C_x) de <i>C. dubia</i>	38
Figura 17. Curvas de supervivencia (l_x) y fecundidad (m_x) de <i>M. macrocopa</i> .	39
Figura 18. Curvas de la expectativa de vida al nacer (e_x) y distribución estable de edad (C_x) de <i>M. macrocopa</i>	40

Figura 19. Crecimiento poblacional en competencia de <i>C. dubia</i> y <i>M. macrocopa</i>	42
Figura 20. Máxima densidad en competencia de <i>C. dubia</i> y <i>M. macrocopa</i> ...	43
Figura 21. Día de máxima densidad en competencia de <i>C. dubia</i> y <i>M. macrocopa</i>	44
Figura 22. Tasa de incremento poblacional por día en competencia de <i>C. dubia</i> y <i>M. macrocopa</i>	45

Índice de Tablas

Tabla I. Análisis de la varianza de la máxima densidad poblacional, día de la máxima densidad y tasa de incremento poblacional de <i>B. calyciflorus</i> y <i>B. patulus</i>	68
Tabla II. Variables seleccionadas de la historia de vida de <i>B. calyciflorus</i> y <i>B. patulus</i>	69
Tabla III. Análisis de la varianza de las variables seleccionadas de la historia de vida de <i>B. calyciflorus</i> y <i>B. patulus</i>	70
Tabla IV. Análisis de la varianza de la máxima densidad, día de la máxima densidad y tasa de incremento poblacional en competencia de <i>B. calyciflorus</i> y <i>B. patulus</i>	71
Tabla V. Análisis de la varianza de la máxima densidad poblacional, día de la máxima densidad y tasa de incremento poblacional de <i>C. dubia</i> y <i>M. macrocopa</i>	72
Tabla VI. Variables seleccionadas de la historia de vida de <i>C. dubia</i> y <i>M. macrocopa</i>	73
Tabla VII. Análisis de la varianza de las variables de la tabla de vida de <i>C. dubia</i> y <i>M. macrocopa</i>	74
Tabla VIII. Análisis de la varianza de la máxima densidad, día de la máxima densidad y tasa de incremento poblacional en competencia de <i>C. dubia</i> y <i>M. macrocopa</i>	75

Resumen

Se evaluó el efecto de dos microalgas (*Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*) separadas y mezcladas en diferentes proporciones sobre la dinámica poblacional de dos especies de rotíferos (*Brachionus calyciflorus* y *Brachionus patulus*) y dos cladóceros (*Ceriodaphnia dubia* y *Moina macrocopa*). Se realizaron diferentes experimentos en laboratorio como son: crecimiento poblacional, tabla de vida demográfica y competencia entre las dos especies de cada grupo. Los experimentos se realizaron en recipientes de plástico con medio EPA y las concentraciones de *C. vulgaris* y *S. acutus* fueron 1×10^6 y 0.54×10^6 células ml^{-1} respectivamente para conservar la igualdad en biomasa de las algas, pH de 7.5-8, luz difusa en forma continua y temperatura de $22 \pm 1^\circ\text{C}$.

El crecimiento poblacional de ambas especies de rotíferos se desarrolló en las dos especies de algas y sus mezclas. Independientemente de la proporción de la mezcla de algas *B. calyciflorus* presentó una fase inicial más corta, mientras que *B. patulus* necesitó más de una semana para iniciar la fase exponencial de crecimiento. Las dos especies de rotíferos mostraron un mejor crecimiento poblacional con *C. vulgaris* que con *S. acutus* o las mezclas. En cualquier combinación de algas *B. patulus* desarrolló picos más grandes de máxima densidad que *B. calyciflorus*. La tasa de incremento poblacional por día para ambas especies de rotíferos varió de $0.18 - 0.48 \text{ d}^{-1}$ dependiendo de la especie de alga y proporción de mezcla. Sin considerar el tipo de alga y combinación de la mezcla *B. calyciflorus* tuvo valores más altos que *B. patulus* en la tasa de incremento poblacional por día (r). En el caso de *C. dubia* y *M. macrocopa* crecieron en las dos especies de algas ya sea en forma separada o mezcladas. Indistintamente del tipo de dieta *C. dubia* desarrolló una densidad máxima más alta y necesitó un período más largo (casi 2 semanas) que *M. macrocopa* para alcanzar la máxima densidad, pero una menor tasa de incremento poblacional por día. Los valores de r para las dos especies de cladóceros fueron de $0.14 - 0.47 \text{ d}^{-1}$ dependiendo del tipo de alga y combinación. Estadísticamente existieron diferencias significativas en las dos especies de rotíferos y *C. dubia* para la máxima densidad, el día en que alcanzó ésta y la tasa de incremento poblacional por día, pero en *M. macrocopa* no existieron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.

En la tabla de vida demográfica los datos de fecundidad indicaron que para cualquier tipo de alga o mezcla *B. calyciflorus* presentó una mayor tasa de producción de neonatos que *B. patulus*. Las tasas reproductivas bruta y neta fueron mayores para *B. calyciflorus* en intervalos de 45-71 y 15-24 neonatos hembra⁻¹ respectivamente. El promedio de vida varió de 4-6 días según la especie. El tiempo de generación fue similar en ambas especies (4-5 días) en la mayoría de los tratamientos. En cualquier tipo de alga y combinación la tasa de incremento poblacional fue menor en *B. patulus*. La fecundidad de *C. dubia* indicó una mayor producción de neonatos con *C. vulgaris* que con *S. acutus*. Existieron diferencias entre las especies de cladóceros en sus variables reproductivas. *C. dubia* mostró que las tasas de reproducción bruta y neta más altas fueron en *C. vulgaris* y *M. macrocopa* los valores más altos fueron con la mezcla con mayor porcentaje de *S. acutus*, además todas las variables de supervivencia y reproducción siempre resultaron valores mayores con *S. acutus*. Existieron diferencias significativas estadísticamente en las diferentes variables de supervivencia y reproducción de *B. calyciflorus*, *B. patulus* y *C. dubia*, excepto para *M. macrocopa*.

Finalmente en los experimentos de competencia entre los rotíferos indicaron que independientemente de la densidad inicial de inóculo *B. patulus* influyó en forma negativa sobre el crecimiento de *B. calyciflorus*. Por lo que *B. patulus* resultó un mejor competidor debido a varios factores como el menor tamaño, tener un umbral de alimento más bajo y también hay que considerar que tiene un ciclo de vida más largo que *B. calyciflorus*. Respecto al resultado de competencia entre las especies de cladóceros no se observó la eliminación de una especie debido al fenómeno de la facilitación donde los dos cladóceros hacen un uso diferencial de recurso disminuyendo la competencia por el recurso logrando coexistir ambas especies durante el experimento.

Con base en los resultados se concluye que *C. vulgaris* es un mejor alimento para *B. calyciflorus*, *B. patulus* y *C. dubia*, mientras que *M. macrocopa* es capaz de crecer en los dos tipos de algas pero presenta un buen desarrollo en *S. acutus*.

INTRODUCCIÓN

Los rotíferos y los cladóceros constituyen organismos que son importantes en los sistemas acuáticos, y tienen un papel fundamental en la investigación tecnológica para la explotación de los recursos acuáticos. Por ejemplo para el caso del género *Brachionus* los principales campos de investigación son: taxonomía, dinámica poblacional y reproducción sexual e inducción de huevos de resistencia entre otros. Muchos de estos estudios están relacionados con la aplicación tecnológica para la acuicultura y ecotoxicología. La mayoría de los estudios sobre la dinámica de poblaciones están relacionados con la producción masiva y el uso de rotíferos como presas en la industria de la acuicultura, también los estudios de ecotoxicología incluyen la dinámica de poblaciones y en general la influencia de los factores abióticos (Yufera, 2001). Por lo que la dinámica de poblaciones es el estudio de las fuerzas que afectan los procesos de natalidad y mortalidad (cambios en el número de organismos, biomasa y composición de especies) (Barryman, 2002).

Las formas de evaluar la capacidad de los rotíferos y cladóceros de alimentarse y reproducirse con un tipo de alimento incluyen estudios como la tasa de filtración (Waltz y Gschloessl, 1998), crecimiento poblacional (Nandini y Rao, 1998) y tabla de vida demográfica (Nandini, 2000). Las tasas de filtración son estimaciones de corta duración que ayudan a determinar si los organismos pueden alimentarse de una dieta en especial. Mientras que los estudios de las tasas de filtración y selectividad de alimento aportan información de la cantidad y tipo de alimento consumido, el efecto neto del alimento consumido es reflejado en la tasa de incremento poblacional (r) (Halbach, 1979).

Los estudios de crecimiento poblacional aportan información sobre las respuestas de individuos de varias generaciones simultáneas en un cultivo en crecimiento para conocer la máxima densidad de población. Además de informar sobre la influencia de la descendencia en el crecimiento de la población, así como la máxima densidad alcanzada por las especies cuando crecen constantemente bajo condiciones experimentales definidas de calidad y cantidad de alimento y de temperatura. Aunque se conoce una aproximación sobre el efecto que tiene la densidad de alimento, ésta no puede resolver los efectos adversos relacionados con la supervivencia, mortalidad y reproducción (Krebs, 1985).

La tabla de vida es una herramienta útil para conocer las estrategias de vida de los rotíferos y cladóceros que incluyen diferentes variables de supervivencia y reproducción. Por ejemplo fecundidad (tasa de un individuo para producir neonatos), supervivencia (fracción de individuos que sobreviven hasta una edad x), esperanza de vida (duración media de la vida de la cohorte), ciclo de vida promedio, tasa de reproducción bruta (número total de neonatos producidos por una hembra en ausencia de mortalidad), tasa de reproducción neta (número promedio de neonatos producidos por un organismo durante toda su vida), tiempo de generación (periodo promedio entre el nacimiento de los progenitores y los descendientes), curvas de supervivencia a una edad específica y tasa de

incremento poblacional (cambio de la población por individuo) (Krebs, 1985; Pianka, 1988).

Por otra parte es importante estudiar la competencia entre los rotíferos y cladóceros, la cual está influenciada por varios factores como el tamaño del cuerpo, hábitos alimenticios, tipo de alimento, calidad nutricional, temperatura, concentración de alimento y densidad de inoculación (Rothhaupt, 1988, 1990a, DeMott, 1989; Boraas *et al.*, 1990). Gliwicz (1990) demostró que la concentración umbral de alimento (el crecimiento poblacional es cero) son menores para cladóceros grandes. Por su parte Stemberger y Gilbert (1985) observaron que especies de rotíferos pequeños tienen un nivel menor del umbral de alimento. Los estudios de competencia en condiciones experimentales proporcionan información acerca de diferentes interacciones como son: competencia explotativa, competencia por interferencia y facilitación.

La densidad de alimento puede modificar el resultado de la competencia entre dos especies las cuales difieren en sus tasas de crecimiento. Por lo que además del efecto de la densidad del alimento, la densidad de inoculación inicial es también un factor importante que afecta las tasas de crecimiento y controla el resultado de la competencia en los rotíferos (Sarma *et al.*, 1996).

Un área de intensas investigaciones es la alimentación de los rotíferos y cladóceros. La abundancia del zooplancton es controlada por la disponibilidad de alimento y la temperatura del agua (Edmonson, 1965). En la naturaleza los organismos del zooplancton raramente consumen un solo tipo de alga (Hutchinson, 1967), por lo que los cambios estacionales en la composición y abundancia relativa de fitoplancton tiene una fuerte influencia sobre la dinámica de organismos del zooplancton herbívoro (Lampert y Sommer, 1997). Por esta razón es importante estudiar el efecto de diferentes combinaciones de algas como alimento sobre los rotíferos y cladóceros.

Las algas verdes comestibles como *Chlorella*, *Oocystis*, *Scenedesmus*, *Chlamydomonas*, *Ankistrodesmus*, *Nitzschia*, *Monoraphidium*, etc. Son componentes comunes del fitoplancton de los cuerpos de agua en los cuales rotíferos como *Brachionus*, *Keratella* y *Anuraeopsis* son frecuentemente presentes (Nogrady *et al.*, 1993). Es importante mencionar que *Brachionus calyciflorus* y *B. patulus* están presentes en diferentes cuerpos de agua como Laguna de Zempoala y Xochimilco (Flores 1997; Flores-Burgos *et al.*, 2003a) y los cladóceros *Ceriodaphnia dubia* y *Moina macrocopa* también son especies comunes en el lago Valsequillo, Puebla (Sarma *et al.*, 20003) y en algunos cuerpos de agua del Estado de México (Elías-Gutiérrez *et al.*, 1999).

El uso de *Chlorella* y *Scenedesmus* como alimento para diferentes géneros del zooplancton de agua dulce (*Daphnia* entre los cladóceros y *Keratella* entre los rotíferos) ha sido documentado (Dumont *et al.*, 1995; Lampert y Sommer, 1997): En términos de calidad de alga, ambas especies tienen niveles similares de ácidos grasos polinsaturados ($\omega 3$ $\omega 6$), siendo esta última especie más rica en lípidos,

proteínas, nitrógeno y fósforo, aunque en condiciones de cultivo pueden modificarse estos niveles (Ahlgreen *et al.*, 1992). En términos de tamaño, *Chlorella* es considerada apropiada para el cultivo de rotíferos (4 - 5 μm) y *Scenedesmus* aunque un poco más grande (8 - 10 μm), esta también dentro del intervalo de tamaño que prefieren los rotíferos (Nogrady *et al.*, 1993). Por lo que en general los rotíferos prefieren algas en un intervalo de 0.2 - 5 μm , mientras que los cladóceros se alimentan de algas en un intervalo de 2 - 25 μm).

La mayoría de los estudios sobre crecimiento poblacional, tabla de vida demográfica y competencia de especies de rotíferos y cladóceros se han realizado utilizando un solo tipo de alga (Waltz, 1987; Nadini y Sarma, 2002; Sarma y Nandini, 2002). Por lo que no hay información acerca de la dinámica poblacional de los rotíferos (*Brachionus calyciflorus*, *B. patulus*) y cladóceros (*Ceriodaphnia dubia* y *Moina macrocopa*) utilizando una mezcla de algas como alimento (*Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*) por esta razón es importante evaluar el efecto de diferentes combinaciones de microalgas sobre las especies de rotíferos y cladóceros seleccionadas. De esta forma el presente estudio pretende aportar nueva información acerca del efecto sobre el crecimiento poblacional, tabla de vida demográfica y competencia utilizando dos tipos de algas bajo condiciones experimentales de laboratorio que permitirá una mejor comprensión de la dinámica poblacional de estas especies del zooplancton en la naturaleza.

ANTECEDENTES

Existen en la literatura diversos estudios que se enfocan sobre el crecimiento poblacional, tablas de vida y competencia de diferentes especies de rotíferos y cladóceros.

Snell *et al.*, (1983) estudiaron los efectos de diferentes dietas de algas verdes y cianobacterias en *Brachionus plicatilis* encontrando que las algas verdes disminuyen la toxicidad en las mezclas. Stemberger y Gilbert (1985) relacionaron el tamaño del cuerpo, la concentración del alimento y el crecimiento poblacional y observaron que los rotíferos pequeños tienen una concentración umbral menor. Rothhaupt (1990) investigó el crecimiento poblacional de dos especies de *Brachionus* como resultado del tamaño y calidad nutricional del alimento. Weithoff y Waltz (1995) encontraron que cuando algas comestibles fueron mezcladas con cianobacterias tóxicas sus variables mejoraron considerablemente. Dumont y Sarma (1995) estudiaron el crecimiento poblacional de *Asplanchna girodi* utilizando como presa *Anuraeopsis fissa* alimentada con diferentes densidades de *Chlorella vulgaris*. Arévalo-Stevenson *et al.*, (1998) probaron el efecto de una mezcla de alga verde y agua producto del nixtamal (nejayote) en el crecimiento poblacional de *B. calyciflorus* encontrando que con la mezcla había mejores resultados. Dobberful y Elser (1999) emplearon alga deshidratada a la sombra con buenos resultados en el crecimiento poblacional de *B. plicatilis*. Estudios sobre alimentos alternativos para el mantenimiento de especies del género *Brachionus* utilizando alga viva y muerta (*C. vulgaris*) fueron hechos por Pavón-Meza (2000, 2001). Sarma *et al.*, (2001) y Peña (2003) utilizaron diferentes tipos de alimento y dietas en el crecimiento de varias especies del género *Brachionus* (*B. calyciflorus*, *B. patulus*, *B. rubens*).

Respecto a estudios sobre tablas de vida Sarma y Rao (1987) relacionaron el nivel de alimento con el tamaño del cuerpo en relación al crecimiento poblacional de *B. patulus*. Posteriormente los mismos autores en 1991 combinaron los efectos de la temperatura y alimento sobre las variables de supervivencia y reproducción de *B. patulus*. Sarma y Nandini (2001) realizaron un estudio de tabla de vida sobre *B. variabilis* alimentado con diferentes densidades de *C. vulgaris*. Más recientemente Yi-Long *et al.*, (2001) investigaron la historia de vida de hembras de *B. calyciflorus* alimentadas con diferentes algas (*Chlorella pyrenoidosa* y *Scenedesmus obliquus*).

Con relación a estudios de competencia Gilbert (1985) encontró que compitiendo *B. calyciflorus* y *Keratella cochlearis* contra *Daphnia pulex* los rotíferos fueron excluidos por el cladóceros. Ciros *et al.*, (2001) investigaron la competencia entre especies de *B. plicatilis*, *B. rotundiformis* y *B. sp. nov* utilizando la teoría mecanística de Tilman. Kirk (2002) realizó un estudio de competencia en condiciones experimentales variables con rotíferos planctónicos.

Estudios sobre el crecimiento poblacional en cladóceros están: Alva (2001) y Alva *et al.*, (2001) utilizaron una mezcla de *Microcystis aeruginosa* y *Chlorella vulgaris* como dieta en tres especies de cladóceros encontrando que la toxicidad de la cianobacteria disminuye en la mezcla. Ovie *et al.*, (2002) investigaron el efecto de diferentes densidades de *Scenedesmus acuminatus* en *Moina micrura*. Nandini (2003) relacionó el crecimiento poblacional de diferentes géneros de cladóceros utilizando *Chlorella* y Peña (2003) estudio el crecimiento de *Ceriodaphnia dubia* y *Moina macrocopa* utilizando una mezcla de diferentes tipos de alimento.

Investigaciones con el enfoque de tabla de vida se encuentran pocos trabajos como el de Martínez-Jeronimo y Gutiérrez-Valdivia (1991) sobre fecundidad, reproducción y crecimiento de *M. macrocopa* utilizando tres tipos de algas (*Ankistrodesmus*, *Scenedesmus* y *Chlorella*). Burak (1997) investigó en diferentes generaciones de *M. macrocopa* la relación entre el alimento y la temperatura; Rose *et al.*, (2000) investigaron las variables de la historia de vida de *C. dubia* variando la concentración de alimento y Nandini y Sarma (2000) estudiaron la relación de diferentes densidades de *C. vulgaris* en cuatro especies de cladóceros.

Finalmente con referencia a investigaciones de competencia en cladóceros hay pocos trabajos como son: Goulden *et al.*, (1982) que estudiaron la capacidad de competencia de tres especies planctónicas (*Daphnia magna*, *D. galeata* y *Bosmina longirostris*); Muro (2002) estudio la tabla de vida y competencia de dos especies de cladóceros (*Alona rectangula* y *Macrotrix triserialis*) utilizando dos diferentes densidades de *C. vulgaris*. Más recientemente Sarma *et al.*, (2003) relacionaron el efecto del amonio en la competencia de *C. dubia* y *M. macrocopa* empleando *C. vulgaris* como alimento.

Por todo lo anterior es claro que hay pocas investigaciones que aborden la mezcla de algas como *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* utilizando rotíferos y/o cladóceros para evaluar el efecto sobre el crecimiento poblacional, tabla de vida y competencia al utilizar estas microalgas como único alimento y mezclas en diferentes proporciones.

OBJETIVOS

Objetivo general.

Evaluar el efecto de dos microalgas separadas y mezcladas (*Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*) sobre el crecimiento poblacional, tabla de vida demográfica y competencia de *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus patulus*, *Ceriodaphnia dubia* y *Moina macrocopa*.

Objetivos particulares.

Determinar el crecimiento poblacional de las cuatro especies del zooplancton seleccionadas con base en diferentes proporciones de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* mezcladas y separadas.

Establecer la tabla de vida demográfica de *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus patulus*, *Ceriodaphnia dubia* y *Moina macrocopa* estimando las variables de supervivencia y reproducción utilizando diferentes proporciones de las algas *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*.

Realizar experimentos de competencia entre las especies de rotíferos (*Brachionus calyciflorus*, *Brachionus patulus*) y cladóceros (*Ceriodaphnia dubia*, *Moina macrocopa*) por separado utilizando una mezcla de algas *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* (50 % de cada una).

HIPÓTESIS

Con base en el tamaño de las microalgas la tasa de crecimiento poblacional de las especies de rotíferos y cladóceros será mayor consumiendo *Chlorella vulgaris* (4 5 μm) que *Scenedesmus acutus* (8 – 10 μm) y de las diferentes mezclas será mayor el crecimiento poblacional aquella con la proporción más alta de *C. vulgaris*.

Las estimaciones de las variables de supervivencia y reproducción en las cuatro especies seleccionadas serán más altas primero con *Chlorella vulgaris* y después en la mezcla con la proporción más alta de esta microalga considerando el tamaño y calidad nutricional de las microalgas.

De acuerdo con el umbral de alimento el tamaño y la tasa reproductiva de las especies seleccionadas de rotíferos y cladóceros que aprovechen mejor la disponibilidad de alimento representado por la mezcla de algas (*C. vulgaris* y *S. acutus*) serán más aptas para soportar la presión de competencia interespecífica y desplazar a la otra especie.

MATERIAL Y MÉTODOS

En el presente estudio se utilizaron dos especies de rotíferos *Brachionus calyciflorus* Pallas 1766 y *Brachionus patulus* (O. F. Müller, 1786) (Fig. 1) las cuales fueron aisladas del Lago Mayor de Chapultepec y de la Presa Santa Elena, Edo. de México respectivamente y dos especies de cladóceros *Ceriodaphnia dubia* Richard, 1894 y *Moina macrocopa* Goulden, 1968 (Fig. 2). Estas especies se aislaron del Lago Valsequillo en el estado de Puebla.

Para llevar a cabo los experimentos se emplearon dos tipos de microalgas *Chlorella vulgaris* Beijerinck a una concentración de 1×10^6 células ml^{-1} y *Scenedesmus acutus* f. *alternans* Hortobagyi de 0.54×10^6 células ml^{-1} , para igualar la biomasa de ambas microalgas. Para determinar esta igualdad en biomasa primero se determinó el peso seco de varias repeticiones de un mililitro de cada especie de alga en charolas de aluminio de peso conocido de una suspensión con una densidad conocida, estas muestras se introdujeron a la estufa a una temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 ± 2 horas y posteriormente se guardaron en un desecador de silicagel para finalmente obtener el peso en una microbalanza (CAHN C-33) de cada una de las muestras de microalgas resultando un peso de 0.0142 ng/célula para *C. vulgaris* y 0.026 ng/célula de *S. acutus*. En los experimentos los organismos se alimentaron con una biomasa (peso seco) de $14.2 \mu\text{g ml}^{-1}$ de *Chlorella*, *Scenedesmus* o su combinación.

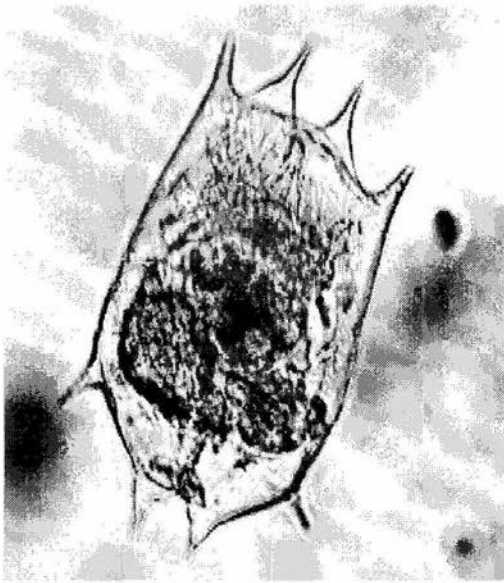
Estas concentraciones de alimento se decidieron con base en la literatura que indica hasta una concentración máxima de 40×10^6 células ml^{-1} para *B. calyciflorus* (Sarma *et al.*, 1986, 1988).

Cultivo de microalgas (*Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*)

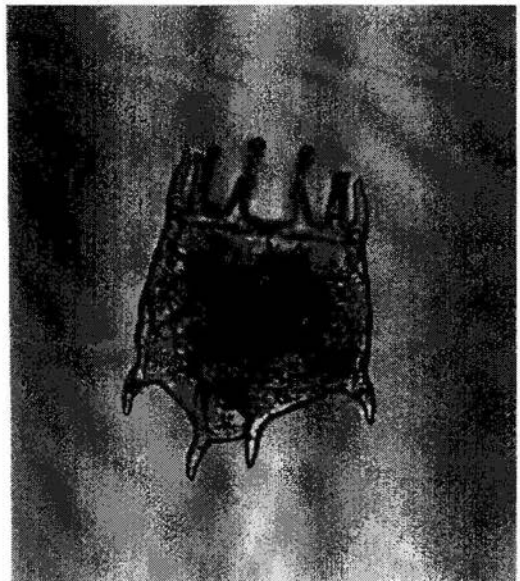
Chlorella vulgaris fue aislada del aire por Vega-Quintero, 1996 y está registrada en el CICESE de Ensenada, Baja California con la clave CL-V-3 y la cepa de *Scenedesmus acutus* f. *alternans* Hortobagyi fue adquirida a través de la Universidad de Texas. Para llevar a cabo el cultivo se utilizaron botellas transparentes de 2 litros de capacidad con Medio Bold Basal (Borowitzka y Borowitzka, 1988) con un pH de 7.5, temperatura de $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, iluminación continua difusa, con aireación y enriquecido con bicarbonato de sodio (Sarma, 1996).

Se inició el cultivo de *Chlorella vulgaris* a una concentración de 0.5×10^6 células ml^{-1} y se dejan crecer de 7 - 9 días hasta llegar a la fase exponencial alcanzando una densidad de 25×10^6 células ml^{-1} . Posteriormente se retiró la aireación y se mantuvieron en refrigeración por 5 días para que sedimenten las células. Una vez sedimentadas se desechó el sobrenadante con el fin de eliminar toxinas y se concentraron en un solo recipiente. El alga cosechada se mantiene en el refrigerador a $3 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta por 15 días en buenas condiciones. Para los

Fig. 1. Especies de Rotíferos



Brachionus calyciflorus

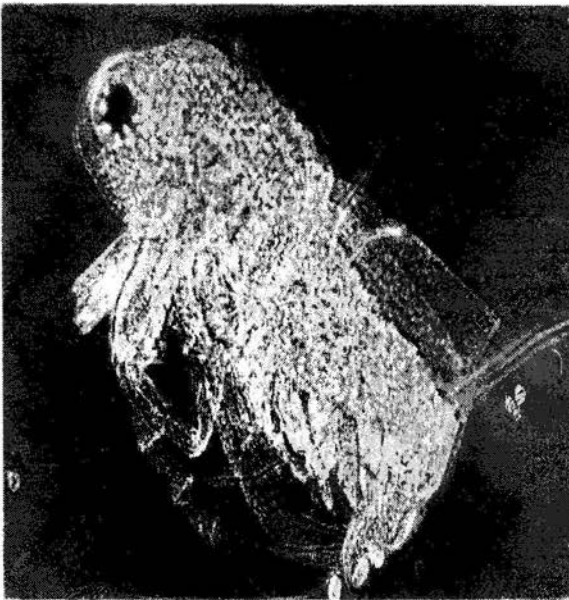


Brachionus patulus

Fig. 2 Especies de Cladóceros



Ceriodaphnia dubia



Moina macrocopa

experimentos se emplea alga recién cosechada para evitar el envejecimiento de las células.

La densidad del alga concentrada fue estimada con un hematocitómetro y un microscopio óptico (Castellanos-Páez *et al.*, 1999). Posteriormente las diferentes concentraciones de microalgas se obtuvieron a partir de diluciones de las algas concentradas utilizando medio EPA (Anónimo, 1985).

Cultivo de rotíferos y cladóceros.

Las especies de rotíferos y cladóceros se cultivaron por separado en vasos de precipitados de un litro y acuarios de vidrio de 5 litros de capacidad respectivamente con 3 litros de medio EPA a una concentración de 1.5×10^6 células ml^{-1} de *Chlorella vulgaris* como alimento, a una temperatura de $22 \pm 1^\circ\text{C}$, luz difusa continua, pH de 7.5 - 8. Se realizaron cambios totales del medio EPA cada tercer día para los rotíferos y dos veces a la semana para los cladóceros, utilizando una malla de 50 μm y 100 μm respectivamente.

Diseño Experimental.

Los experimentos se realizaron en recipientes de plástico de 75 ml de capacidad con 50 ml de medio EPA con la concentración de algas deseada (*Chlorella vulgaris* 1×10^6 células ml^{-1} y *Scenedesmus acutus* 0.54×10^6 células ml^{-1}) con pH de 7.5, luz difusa en forma continua y temperatura de $22 \pm 1^\circ\text{C}$. La siembra inicial de rotíferos y cladóceros fue 1 ind ml^{-1} de diferentes edades, estos organismos provienen de poblaciones en crecimiento exponencial.

Se realizaron conteos diarios y posteriormente se cambia el medio de cultivo EPA con el fin de mantener durante todos los días de los experimentos la concentración y proporción adecuada de alimento. Se utilizó una malla de 50 μm y 100 μm para el filtrado de los rotíferos y cladóceros respectivamente. y posteriormente se depositaron en nuevo medio EPA con la concentración y proporción de algas requerida. Para cada especie de organismo y tratamiento del experimento se realizó con cuatro repeticiones.

Para llevar a cabo los conteos de las poblaciones se utilizó un microscopio estereoscópico NIKON y una cámara para zooplancton. En los primeros días se realizó un conteo total de los rotíferos, posteriormente se tomaron alícuotas de 1 ml y 0.5 ml por triplicado según el crecimiento de la población, mientras que para las especies de cladóceros se realizó el conteo total de los organismos. Los experimentos se realizaron por 15 días para *Brachionus calyciflorus* y *Moina macrocopa* y por 21 días para *Brachionus patulus* y *Ceriodaphnia dubia*. Los conteos se realizaron por dos y tres semanas respectivamente hasta que las poblaciones iniciaron un decremento.

Para los experimentos de crecimiento poblacional de cada especie utilizando la mezcla de las dos microalgas se prepararon 5 diferentes mezclas que incluyeron dos controles con cada microalga. En total se emplearon 20 recipientes con una densidad inicial de 50 individuos por vaso.

C. vulgaris 100 % (Dieta A)

C. vulgaris 75 % + *S. acutus* 25 % (Dieta B)

C. vulgaris 50 % + *S. acutus* 50 % (Dieta C)

C. vulgaris 25 % + *S. acutus* 75 % (Dieta D)

S. acutus 100 % (Dieta E)

Para determinar el crecimiento poblacional de las diferentes especies en los experimentos se utilizaron los siguientes modelos:

Curvas de crecimiento poblacional que corresponden al modelo logístico.

Tasa neta de crecimiento poblacional por día r (Krebs, 1985) con la siguiente ecuación:

$$r = (\ln N_t - \ln N_0) / t$$

Donde: N_t = es la población al tiempo t

N_0 = es la población inicial.

t = tiempo en días.

Además en cada tratamiento se determino la abundancia máxima, el día en el cual se alcanzo está máxima densidad y la tasa de crecimiento poblacional por día. Se realizaron también las curvas de crecimiento poblacional para conocer el efecto de las diferentes proporciones de algas en cada especie.

También se determino si existieron diferencias significativas estadísticamente entre los diferentes tratamientos a través de un análisis de la varianza (ANDEVA) de una sola vía, se consideraron diferencias significativas con $\alpha < 0.05$ (Sokal y Rohlf, 1985). Se empleo el programa de cómputo SIGMA PLOT (1997) para obtener las gráficas del presente estudio.

Posteriormente se realizaron experimentos de tabla de vida demográfica de cada especie seleccionada con diferentes proporciones de las dos microalgas, para obtener información sobre la mortalidad y la fecundidad de las diferentes especies. Para cada especie de rotíferos y cladóceros el experimento consistió de

de un total de 20 vasos de plástico (5 combinaciones de alimento x 4 repeticiones). Dentro de cada recipiente se introdujeron 20 neonatos de rotíferos (< 2 horas de edad) y 10 neonatos de cladóceros (< 12 horas de edad). Los conteos se realizaron cada 12 horas para las especies de rotíferos y cada 24 horas para las de cladóceros. En cada repetición se contaron los adultos vivos de cada cohorte, los neonatos y huevos producidos. Los adultos muertos, huevos y neonatos fueron contados y separados. Los adultos supervivientes de cada cohorte original fueron transferidos diariamente a nuevo medio conteniendo el tipo de microalga apropiada, densidad y combinación de mezcla. El experimento continuo hasta que el último adulto de cada cohorte había muerto. Con estos datos se estimaron las diferentes variables de supervivencia y reproducción como son:

Variabes de supervivencia: Curva de supervivencia, esperanza de vida, tiempo de vida promedio.

Variabes reproductivas: Tasa reproductiva bruta, tasa reproductiva neta, tiempo de generación, tasa de incremento poblacional y distribución estable de edad.

Para obtener las diferentes variables de supervivencia y reproducción se utilizaron las siguientes ecuaciones de Krebs (1985) y Pianka (1988)

$$\text{Tasa reproductiva bruta} = \sum_{0}^{8} m_x$$

donde: m_x = fecundidad

$$\text{Tasa reproductiva neta} = R_0 = \sum_{0}^{8} l_x m_x$$

donde: l_x = supervivencia
 m_x = fecundidad

$$\text{Tiempo de generación (T)} = \frac{\sum l_x m_x * x}{R_0}$$

donde: l_x = supervivencia
 m_x = fecundidad
 x = edad
 R_0 = Tasa reproductiva neta

$$\text{Tasa de incremento poblacional } (r) = \sum_{x=0}^8 e^{-rx} l_x m_x = 1$$

donde: $e = 2.718$

$x = \text{edad}$

$l_x m_x = R_0$

También de la ecuación: $(r) = \ln(R_0) / T$

donde: $R_0 = \text{Tasa de reproducción neta}$

$T = \text{Tiempo generacional}$

$$\text{Distribución estable de edad } (C_x) = \frac{\lambda^{-x} l_x}{\sum_{i=0}^8 \lambda^{-i} l_i}$$

donde: $\lambda = \text{Índice finito de incremento}$

$l_x = \text{Supervivencia}$

$x, i = \text{Subíndices que indican la edad}$

Cada una de las variables de supervivencia y reproducción se analizaron con un análisis de la varianza (ANDEVA) de una vía para ver si existían diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.

Por último para conocer los efectos de una mezcla de dos algas sobre la competencia entre las especies de rotíferos *B. calyciflorus* y *B. patulus*, así como entre *C. dubia* y *M. macrocopa* se empleo una mezcla de las dos microalgas (*C. vulgaris* y *S. acutus*) en igualdad de proporciones al 50 %. En este experimento se realizaron 3 diferentes densidades de inoculación inicial de organismos y dos controles:

Brachionus. calyciflorus 100 % (Serie A)

75 % *B. calyciflorus* + 25 % *B. patulus* (Serie B)

50 % *B. calyciflorus* + 50 % *B. patulus* (Serie C)

25 % *B. calyciflorus* + 75 % *B. patulus* (Serie D)

Brachionus patulus 100 %

(Serie E)

Las mismas densidades de inoculación se emplearon para las especies de cladóceros (*C. dubia* y *M. macrocopa*).

RESULTADOS

Crecimiento Poblacional en Rotíferos.

Se muestra en las curvas de crecimiento de *B. calyciflorus* una corta fase de establecimiento de dos días, continua la fase exponencial de 5 - 6 días, excepto el control de *S. acutus*, posteriormente un corto periodo estacionario y por último la fase de declinación. Se observó que un incremento en la proporción en cada mezcla de *S. acutus* y una disminución de *C. vulgaris* resultó con un decremento en los picos de máxima abundancia en cada tratamiento (Fig. 3).

Se registró un mejor crecimiento en el control de *C. vulgaris* alcanzando la máxima densidad de 94 ± 3 ind ml^{-1} a una concentración de 1×10^6 células ml^{-1} , es decir casi 4.5 veces más alta que el control con *S. acutus* (19 ± 4 ind ml^{-1}) a una concentración de 0.54×10^6 células ml^{-1} y la mezcla con la abundancia más alta fue *C. vulgaris* (75 %) + *S. acutus* (25 %) con 77 ± 6 ind ml^{-1} (Fig. 4).

El día de máxima densidad para el tratamiento de *C. vulgaris* al 100 % fue de 8.3 ± 0.3 y para *S. acutus* de 5.5 ± 0.9 , que correspondieron a la máxima y mínima densidad respectivamente y de forma general en las mezclas a un mayor porcentaje de *S. acutus* se relacionaron con un mayor número de días en alcanzar las máximas densidades pero cada vez de menor valor. La tasa de crecimiento poblacional por día (r) más alta fue con *C. vulgaris* (0.48 d^{-1}) y la más baja con *S. acutus* (0.17 d^{-1}), se observó también que al disminuir la proporción de *C. vulgaris* mostró un decremento en las tasas de crecimiento poblacional por día (Fig. 4). Para *B. calyciflorus* la prueba de ANDEVA indicó que existieron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos en la máxima densidad, el día que se alcanzó la máxima densidad así como en la tasa de crecimiento poblacional por día ($p < 0.001$) (Tabla I).

En el caso de *B. patulus* presentó en las curvas de crecimiento poblacional una fase de adaptación de 7 - 8 días, excepto el control con *S. acutus* que fue más larga (9 días), continua una fase de crecimiento de 13 - 15 días, excepto nuevamente con *S. acutus* y finalmente decayeron las poblaciones. También se observó que las máximas densidades en cada tratamiento disminuyeron al incrementarse la proporción de *S. acutus* (Fig. 3). Los mejores resultados del crecimiento poblacional se muestran en las dietas de *C. vulgaris* al 100 % y la de mayor proporción de ésta (*C. v* 75 % + *S. a* 25 %) con 113 ± 3 y 109 ± 6 ind ml^{-1} , mientras que el menor crecimiento fue con *S. acutus* al 100 % (55 ± 1 ind ml^{-1}), esto significa la mitad de la abundancia de las dos primeras dietas. También se observó que tanto la máxima densidad como el día de máxima abundancia a partir del control con *C. vulgaris* y en las diferentes mezclas al disminuir e incrementar las proporciones de *C. vulgaris* y *S. acutus* respectivamente hasta la dieta de *S. acutus* al 100 % disminuyeron las máximas densidades ($113 - 55$ ind ml^{-1}) y el día

en fueron alcanzadas éstas del 21 a 17 días respectivamente. Con relación a la tasa de crecimiento poblacional por día (r) también la más alta se registro con el control de *C. vulgaris* con 0.25 d^{-1} y la menor con *S. acutus* (0.23 d^{-1}) (Fig. 4).

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias significativas en las siguientes variables: la máxima densidad poblacional ($p < 0.001$), el día que se alcanzó la máxima densidad ($p < 0.01$) y en la tasa de crecimiento poblacional por día ($p < 0.001$) (Tabla I)

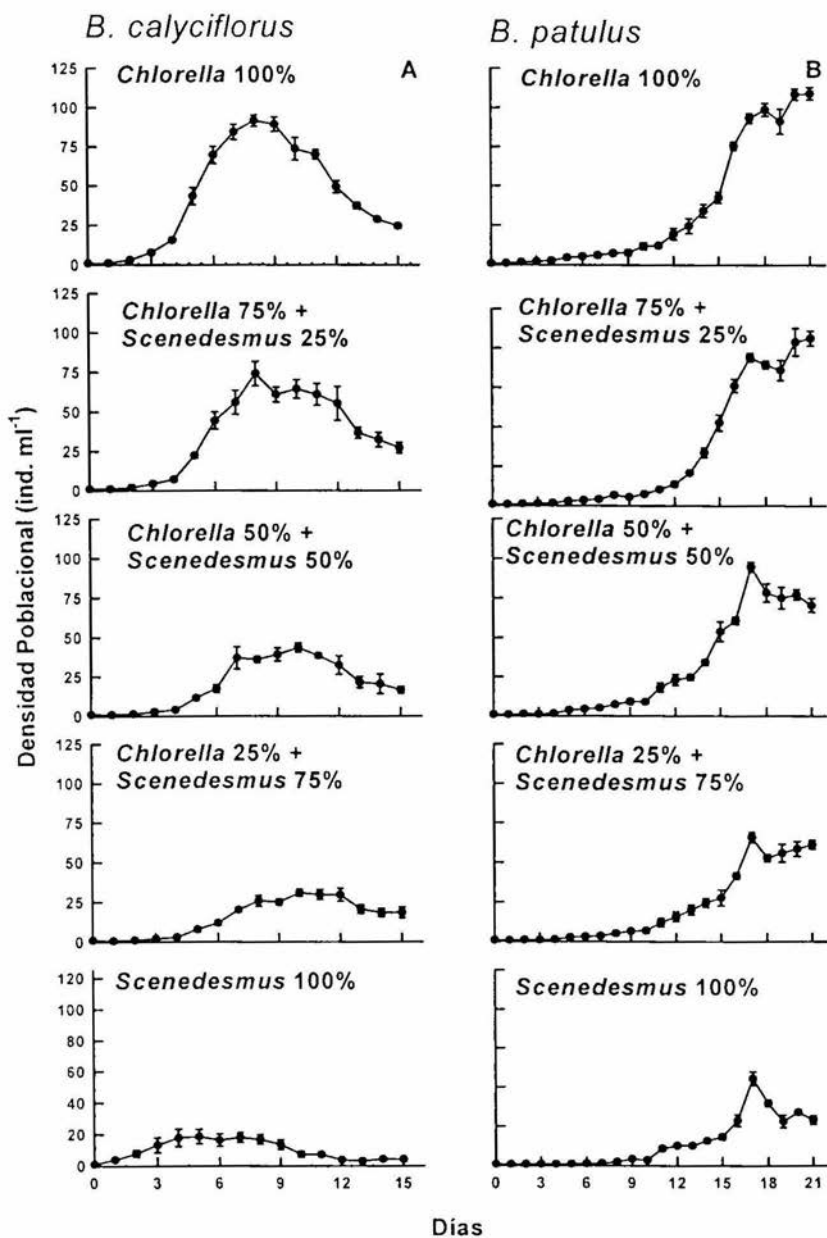


Fig. 3. Crecimiento poblacional de *B. calyciflorus* y *B. patulus* alimentados con una mezcla de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*. Los valores indican el promedio y el error estándar de cuatro repeticiones.

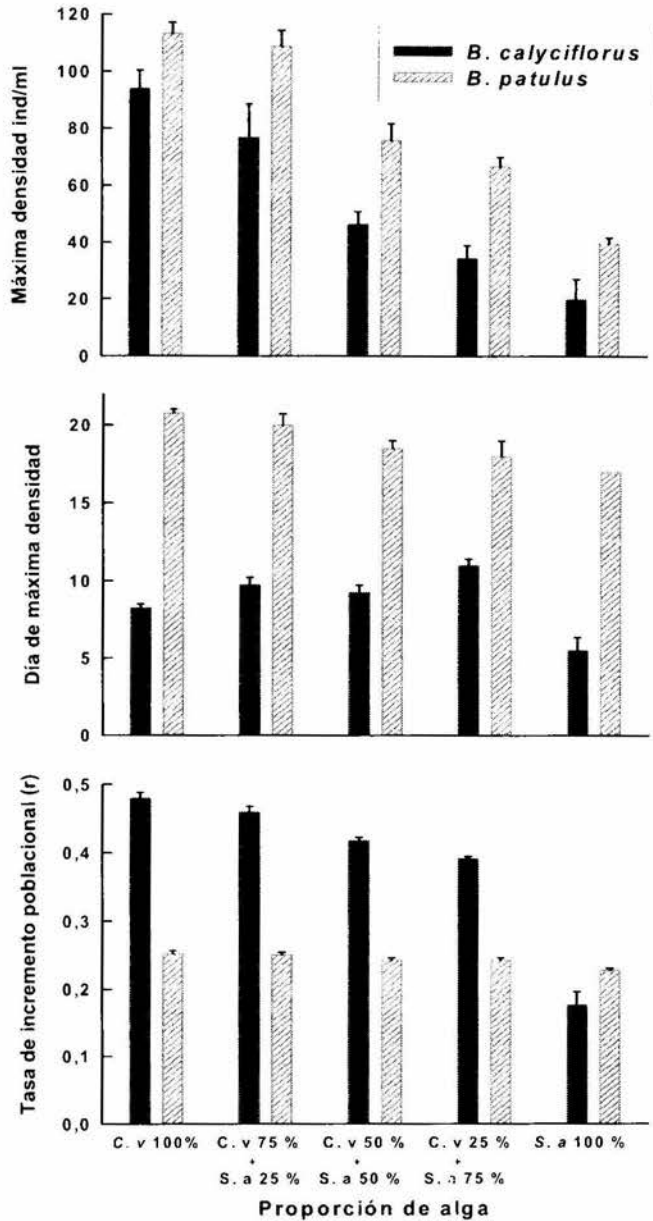


Fig. 4. Máxima densidad, día de máxima densidad y tasa de incremento poblacional por día de *B. calyciflorus* y *B. patulus* alimentados con *C. vulgaris* y *S. acutus* en diferentes proporciones. Se presentan el promedio y el error estándar de cuatro repeticiones.

Tabla de vida de las especies de rotíferos

Las curvas de supervivencia (l_x) de *B. calyciflorus* y *B. patulus* con relación a diferentes proporciones de *C. vulgaris* y *S. acutus* como alimento son presentadas en las figuras 5 y 7 respectivamente. La tendencia son curvas de tipo convexas de acuerdo con el criterio de Kurtén y se acercan a las curvas rectangulares sesgadas negativamente (Hutchinson, 1981). Por lo que estas curvas de supervivencia son más rectangulares en la proporción más alta de *Chlorella* y su control para ambas especies y presentaron claramente más pendiente en las mezclas con mayor proporción de *Scenedesmus*, especialmente el control. Muestran una mayor supervivencia *B. calyciflorus* y *B. patulus* cuando fueron alimentadas con la mezcla de *C. vulgaris* 75 % + *S. acutus* 25 % y con *C. vulgaris* 100 % respectivamente que las otras combinaciones y ambas especies de rotíferos mostraron una supervivencia más alta con *Chlorella* que con *Scenedesmus*.

Respecto a las curvas de fecundidad (m_x) resultaron diferentes para las dos especies de rotíferos y no fueron influenciadas por la supervivencia. Ambas mostraron un patrón semejante de distribución unimodal en la producción de neonatos, pero cuando incremento el porcentaje de *S. acutus*, *B. calyciflorus* disminuyo la producción de neonatos y la más baja producción fue con esta microalga (Fig. 5) además presento una mayor oscilación en la producción de neonatos y produjo más descendientes que *B. patulus* la cual mostró una producción de neonatos que permaneció constante más o menos a lo largo del ciclo de vida especialmente para *Chlorella* (100 %) y hasta la mezcla del 50 % de cada microalga (Fig. 7) Por otra parte *B. calyciflorus* presento una formación de neonatos más temprana con *Chlorella* al 100 %, le continúan las siguientes mezclas 75 % y 50 % de *Chlorella*, mientras que al incrementar la proporción de *Scenedesmus* la fase prereproductiva se retrasa y para *B. patulus* la fase prereproductiva duró el mismo tiempo sin considerar el tipo de dieta.

Los valores en las curvas de la expectativa de vida (e_x) en función de la edad son de tipo decreciente para las dos especies de rotíferos. *B. calyciflorus* mostró una mayor expectativa de vida al nacer en la mezcla con la mayor proporción de *Chlorella* (75 %) al inicio de la cohorte (6 días) y en la dieta de *Scenedesmus* al 100 % registro la menor esperanza de vida (4 días) y con el control de *Chlorella* al 100 % el valor fue mayor (5.5 días). Por lo que se ve claramente que ambas especies mostraron un decremento en su expectativa de vida al incrementarse el porcentaje de *S. acutus*, especialmente en su control (Figs. 6 y 8).

Con relación a las curvas de la distribución estable de edad (C_x) de *B. calyciflorus* fueron más altos que los de *B. patulus*, pero los valores de ambas especies decrecieron con el incremento en el porcentaje de *Scenedesmus* al inicio de los experimentos. Cuando a una población se le permite reproducirse en un

ambiente constante, finalmente alcanza una distribución estable de edades, esto significa que las proporciones de los individuos que pertenecen a diferentes edades se mantienen constantes de generación en generación. Por lo que de acuerdo a los resultados mostraron un típico patrón de la distribución estable de edad. (Figs. 6 y 8).

El promedio de vida más largo (6.07 ± 0.46 días) fue con la mezcla de *C. vulgaris* 75 % + *S. acutus* 25 % para *B. calyciflorus*, mientras que *B. patulus* (6.45 ± 0.37 días) fue con *C. vulgaris* al 100 % y en ambas especies el promedio más bajo fue con *S. acutus* (4.24 ± 0.14 y 5.16 ± 0.09) respectivamente (Tabla II). La expectativa de vida (e_x) fue más alta en la mezcla de *C. vulgaris* 75 % + *S. acutus* 25 % para *B. calyciflorus* (5.82 ± 0.46) y *Chlorella* al 100 % para *B. patulus* (6.20 ± 0.37). Los valores de la expectativa de vida fueron en un intervalo de 4.2 a 5.8 y 4.9 a 6.2 días respectivamente (Tabla II)

Existieron diferencias entre las dos especies con respecto a las variables reproductivas: Las tasas reproductivas brutas y netas fueron mayores para *B. calyciflorus* que *B. patulus* y cuando fueron alimentadas con *C. vulgaris* mostraron valores más altos que con *S. acutus*. El tiempo de generación más largo fue en la mezcla de *Chlorella* 75 % + *Scenedesmus* 25 % para *B. calyciflorus* (4.24 ± 0.31 días) y de 4.85 ± 0.11 días para *B. patulus* alimentada con *Chlorella* y los valores más bajos fueron con *Scenedesmus* (3.53 ± 0.21 y 3.90 ± 0.06) respectivamente. Y las tasas de incremento poblacional por día fueron más altas para *B. calyciflorus* (1.04 a 1.15 d^{-1}) que para *B. patulus* (0.39 a 0.47 d^{-1}). (Tabla II). El análisis estadístico a través de una ANDEVA de una vía de las diferentes variables seleccionadas de la historia de vida mostraron que el promedio de vida, la expectativa de vida al nacer y la tasa de incremento poblacional por día fueron significativas para *B. calyciflorus* y *B. patulus*. Sin embargo, resultaron diferentes en sus variables reproductivas entre las dos especies debido a que las tasas reproductivas bruta y neta resultaron con diferencias significativas solo para *B. calyciflorus*, además el tiempo de generación no fue significativo para *B. calyciflorus*, mientras que fue significativo para *B. patulus* (Tabla III).

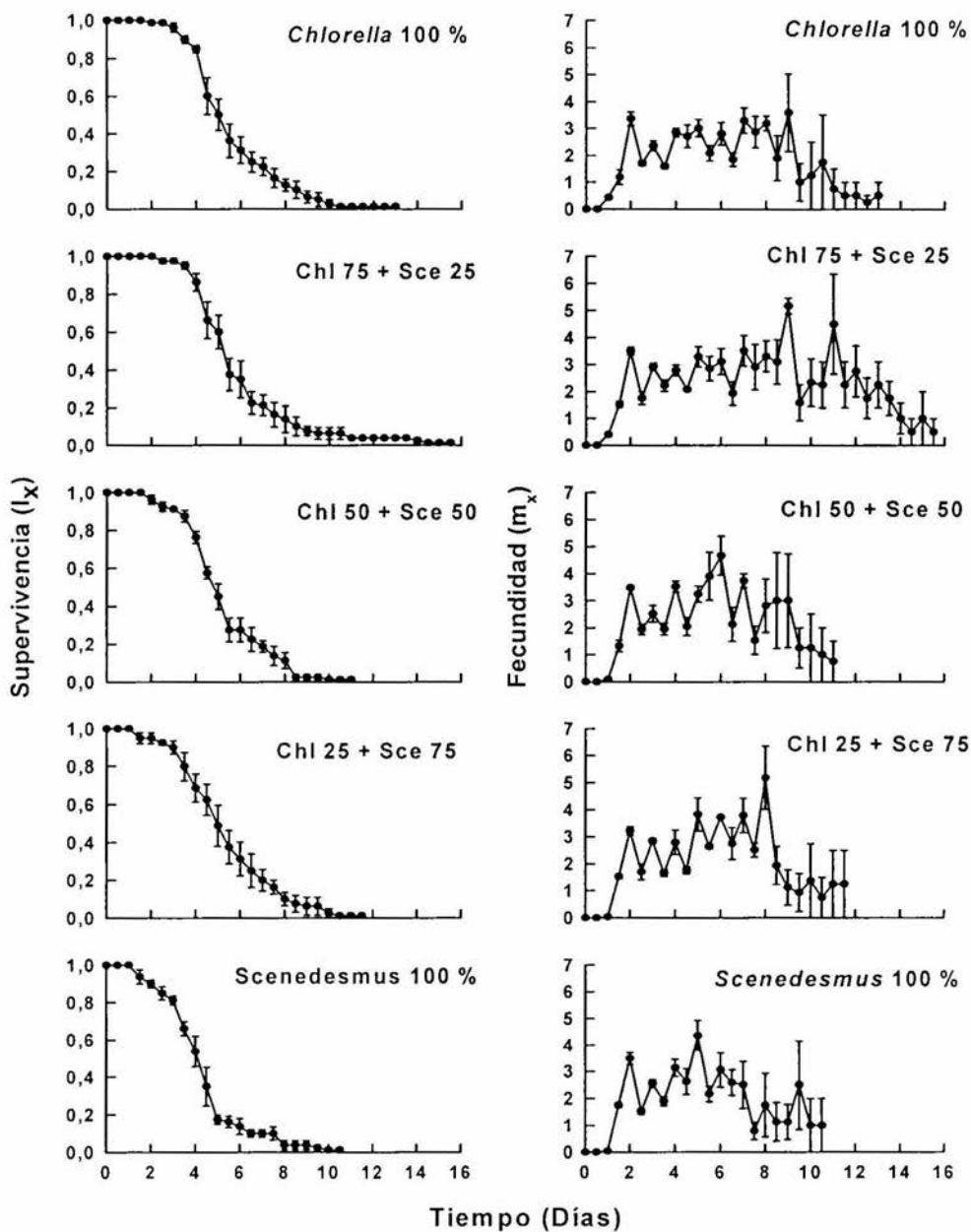


Fig. 5. Curvas de supervivencia (l_x) y fecundidad (m_x) de *B. calyciflorus* alimentado con una mezcla de *C. vulgaris* y *S. acutus* en diferentes proporciones. Los valores indican el promedio y el error estándar de cohortes con cuatro repeticiones.

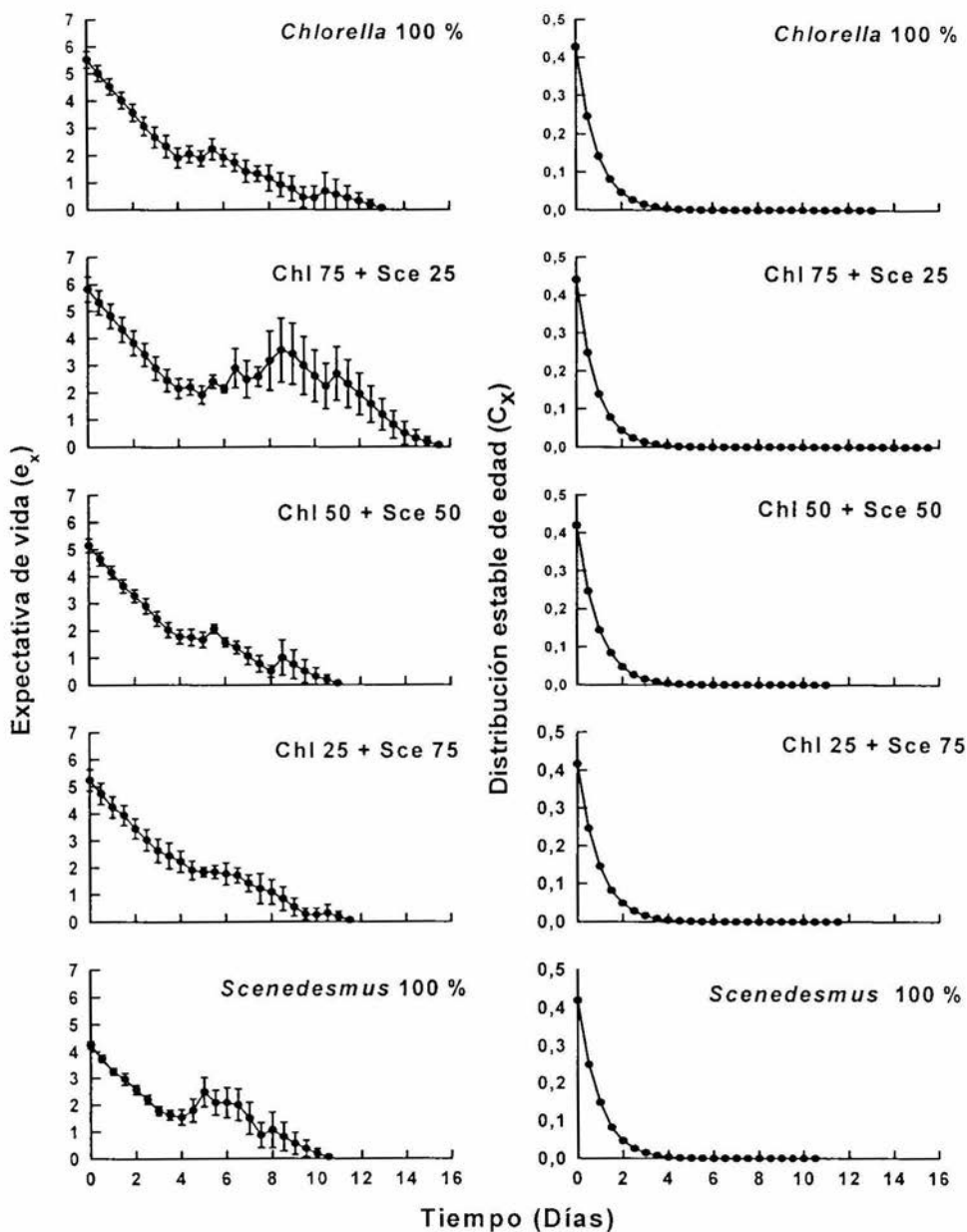


Fig. 6. Curvas de expectativa de vida al nacer (e_x) y distribución estable de edad (C_x) de *B. calyciflorus* alimentado con una mezcla de *C. vulgaris* y *S. acutus* en diferentes proporciones. Los valores indican el promedio y el error estándar de cohortes con cuatro repeticiones.

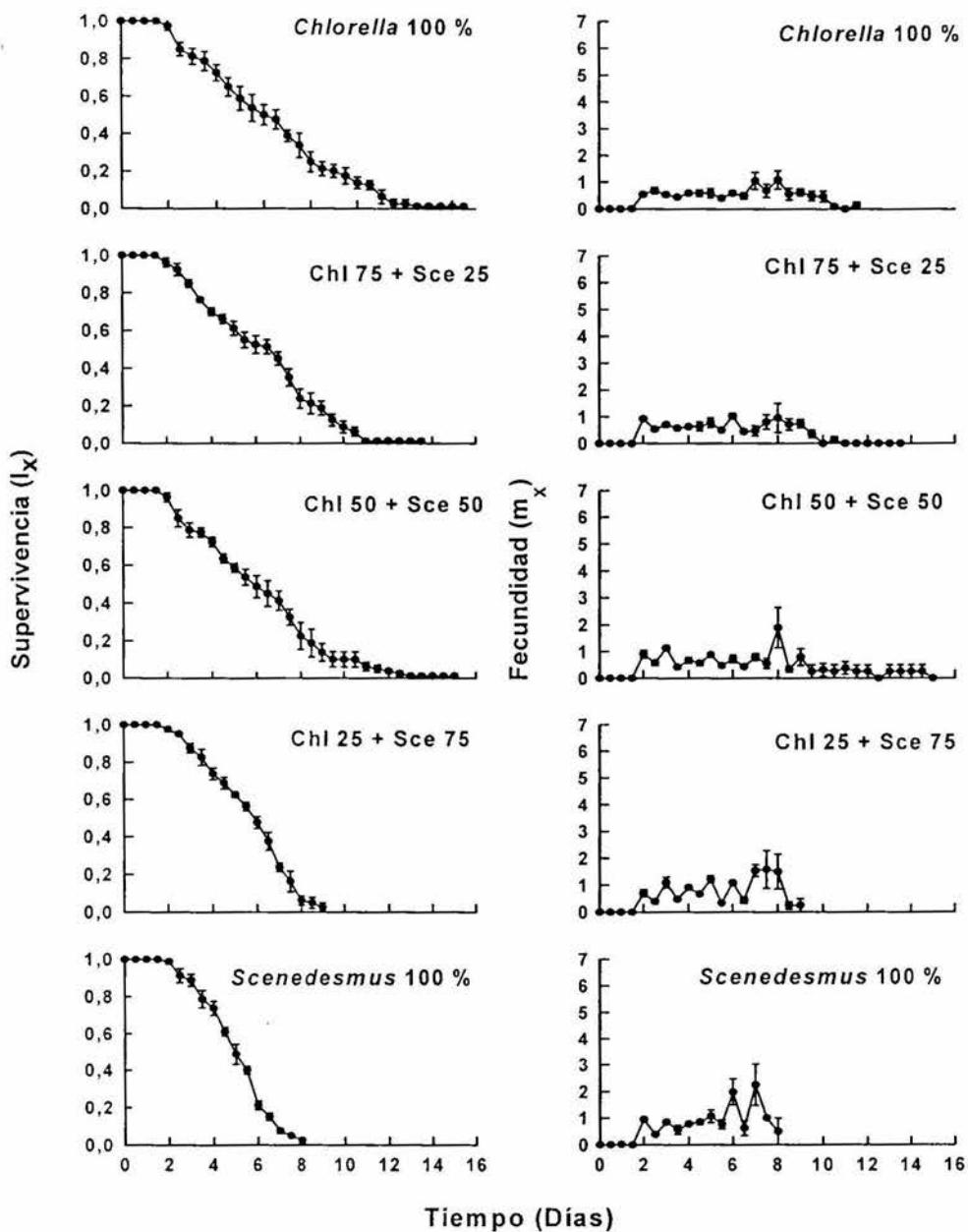


Fig. 7. Curvas de supervivencia (l_x) y fecundidad (m_x) de *B. patulus* alimentado con una mezcla de *C. vulgaris* y *S. acutus* en diferentes proporciones. Los valores indican el promedio y el error estándar de cohortes con cuatro repeticiones.

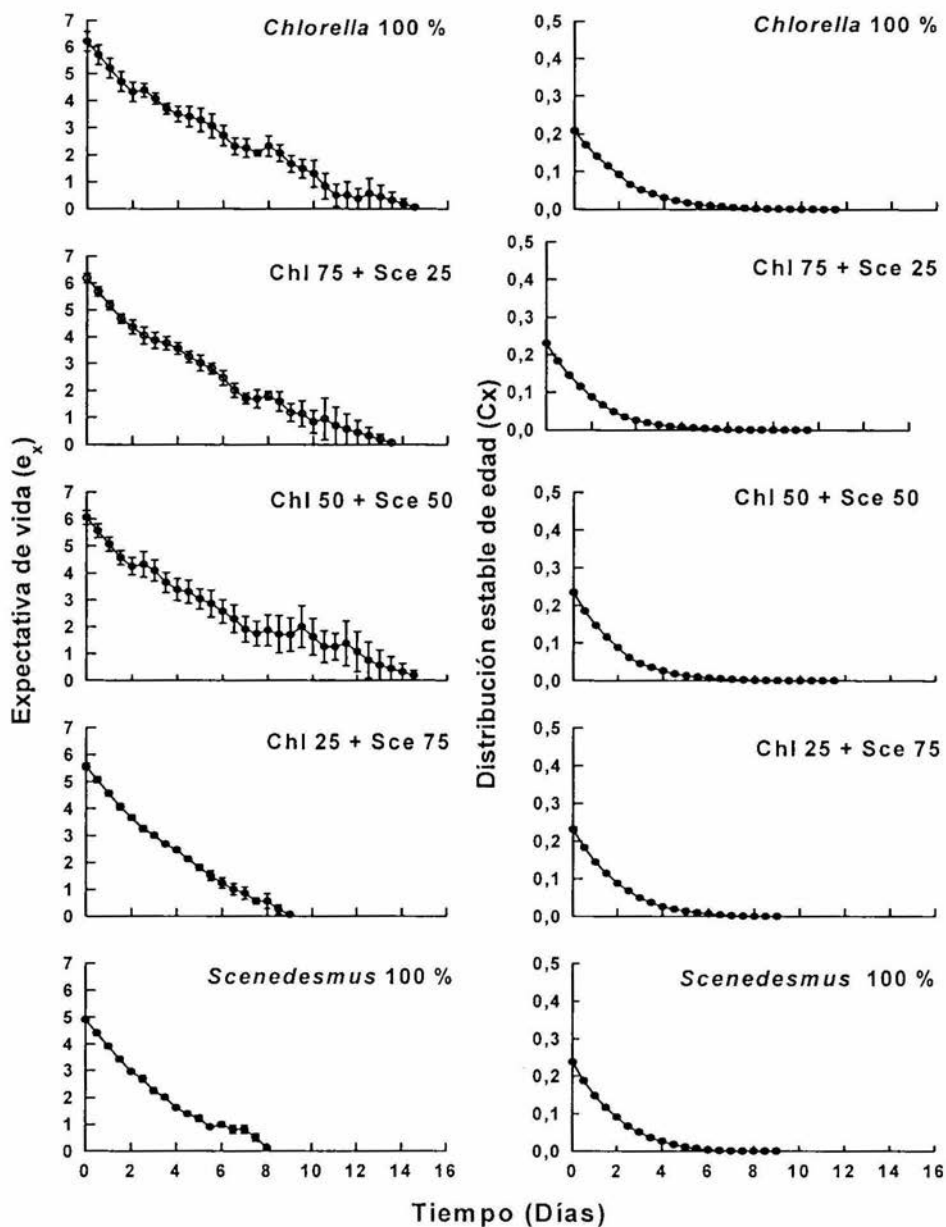


Fig. 8. Curvas de expectativa de vida al nacer (e_x) y distribución estable de edad (C_x) de *B. patulus* alimentado con una mezcla de *C. vulgaris* y *S. acutus* en diferentes proporciones. Los valores indican el promedio y el error estándar de cohortes con cuatro repeticiones.

Competencia entre las especies de rotíferos

De acuerdo con las curvas de crecimiento poblacional en competencia entre *B. calyciflorus* y *B. patulus* utilizando como alimento una mezcla al 50 % de ambas microalgas (*C. vulgaris* + *S. acutus*). *B. calyciflorus* sin competencia presentó dos días de establecimiento y posteriormente 11 días de una fase de crecimiento exponencial y a partir del día 13 empezó a declinar la población, mientras que *B. patulus* presentó un periodo de establecimiento mayor de 4 - 5 días y una fase de crecimiento exponencial de 15 días y finalmente decreció la población (Fig. 9)

La tendencia de las curvas de crecimiento poblacional cuando las dos especies fueron puestas bajo condiciones de competencia en las mezclas de las dos microalgas (Fig. 9) indican que independientemente de la densidad inicial de inoculación *B. patulus* influyó en el crecimiento poblacional en forma negativa sobre *B. calyciflorus*. De tal forma que en las tres diferentes densidades en competencia (*B. c* 75% + *B. p* 25%; *B. c* 50% + *B. p* 50%; *B. c* 25% + *B. p* 75%) se muestra que al disminuir la proporción de la densidad inicial de *B. calyciflorus* aunado al incremento de la densidad de inóculo de *B. patulus* decrece el número de días en que la segunda especie alcanzó una igualdad en la densidad poblacional a la primera especie (15 - 16, 14 - 15 y 11 - 12) respectivamente. A partir de este punto se marca claramente una diferencia en el desarrollo de las curvas de crecimiento de las dos especies y durante el experimento en las tres situaciones de competencia fue numéricamente más abundante *B. patulus* que *B. calyciflorus* resultando desplazado esta última especie al final del experimento.

B. calyciflorus alcanzó la máxima densidad poblacional el día 13 (119 ind ml^{-1}) y *B. patulus* el día 20 con un valor de 120 ind ml^{-1} . Por lo que el primero alcanzó su máxima densidad en un menor tiempo con respecto a la segunda especie. La máxima densidad alcanzada durante la competencia entre las dos especies (Fig. 10) muestra que al disminuir la proporción de la densidad inicial (75, 50 y 25 %) de *B. calyciflorus* decrecieron las máximas densidades (78; 63 y 45 ind ml^{-1}) respectivamente. Mientras que *B. patulus* en las correspondientes proporciones de (25, 50 y 75 %) las máximas densidades alcanzadas fueron 127; 136 y 115 ind ml^{-1} en el mismo orden. Esto representó en la máxima densidad alcanzada para *B. c* 75 % + *B. p* 25 % una abundancia de 1.5 veces más alta de *B. patulus*, en igualdad de proporciones (50 %) de ambas especies fue 2.2 veces también más abundante y el la última condición con el menor porcentaje de densidad inicial de *B. patulus* (25 %) fue 2.6 veces mayor su máxima densidad que *B. calyciflorus*.

En la figura 11 del día en que se alcanzó la máxima densidad de *B. calyciflorus* en ausencia de competencia y bajo condiciones de competencia siempre fueron en un menor número de días 13 en el control y de 13 a 16 días cuando compitió por el recurso. Mientras que *B. patulus* independientemente de

las diferentes densidades iniciales de inoculo e incluyendo el control no mostró una diferencia en el número de días (19-20) en alcanzar las máximas densidades.

Respecto a la tasa de incremento poblacional por día (r) (Fig. 12) *B. calyciflorus* e en los controles registro un valor más alto (0.39 d^{-1}) que *B. patulus* (0.25 d^{-1}). La tendencia observada cuando las dos especies estuvieron en competencia: en *B. calyciflorus* al disminuir la proporción de (75 a 25 %) y al aumentar el porcentaje de *B. patulus* (25 a 75 %) disminuyó su tasa de incremento poblacional por día. Mientras que para *B. patulus* al disminuir el porcentaje de 75 a 25 % la tasa de incremento poblacional fue mayor ($0.28 - 0.32 \text{ d}^{-1}$) incluso fueron mayores que su control (0.25 d^{-1}).

Al realizar un análisis de la variancia de una vía (ANDEVA) resultó que para *B. calyciflorus* la densidad de inoculo inicial influyo fuertemente sobre la máxima densidad alcanzada en forma significativa ($p < 0.001$), mientras que para *B. patulus* no fue significativo la densidad inicial para obtener su máxima abundancia. Respecto al tiempo necesario para alcanzar la máxima densidad poblacional sólo fue significativa para *B. calyciflorus* ($p < 0.01$) y no para *B. patulus*. Finalmente la tasa de incremento poblacional por día fue significativa para *B. calyciflorus* ($p < 0.01$) y también para *B. patulus* ($p < 0.001$) influyendo positivamente la densidad inicial de inoculo (Tabla IV).

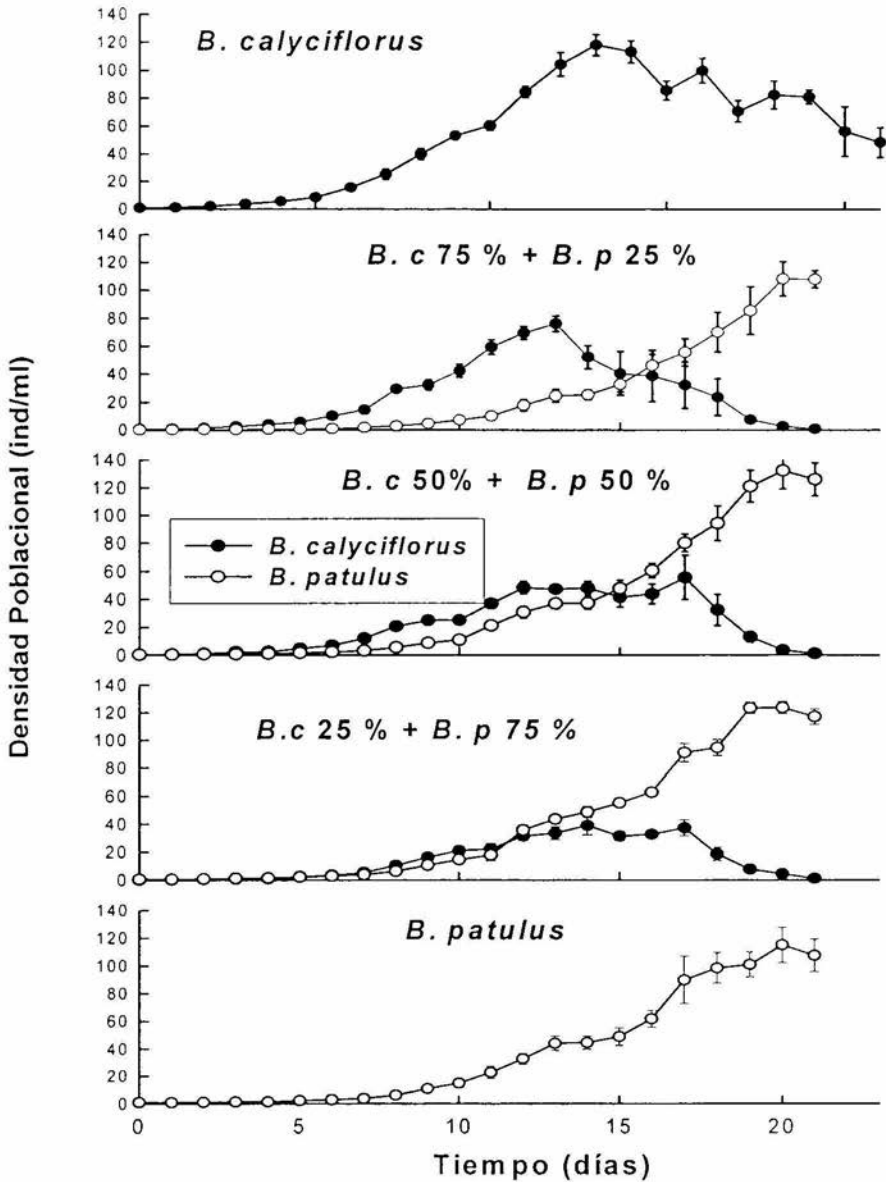


Fig. 9. Curvas de crecimiento poblacional de *B. calyciflorus* y *B. patulus* en competencia alimentados con una mezcla de algas (*C. vulgaris* 50 % + *S. acutus* 50 %). Los valores representan el promedio y el error estándar basados en cuatro repeticiones.

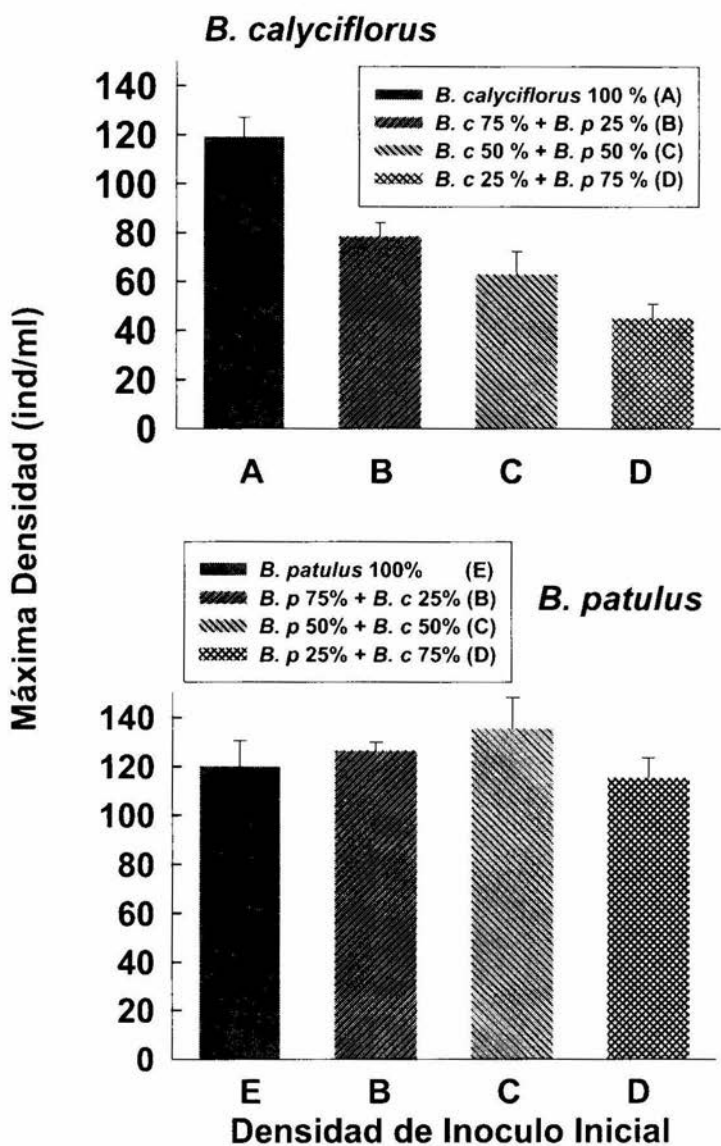


Fig. 10 Máxima densidad de *B. calyciflorus* y *B. patulus* alimentados con una mezcla de microalgas (*C. vulgaris* 50 % + *S. acutus* 50 %). Los valores representan el promedio y el error estándar basados en cuatro repeticiones.

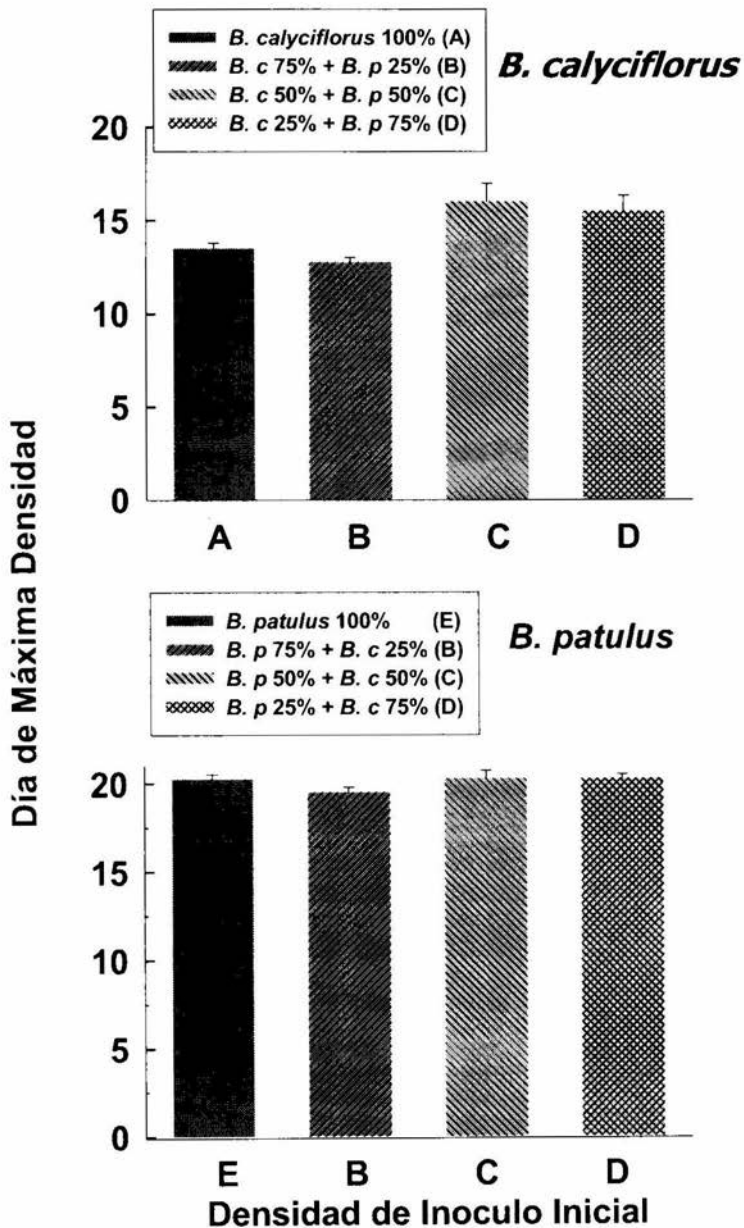


Fig. 11 Día de máxima densidad de *B. calyciflorus* y *B. patulus* alimentados con una mezcla de microalgas (*C. vulgaris* 50 % + *S. acutus* 50 %). Los valores representan el promedio y el error estándar basados en cuatro repeticiones.

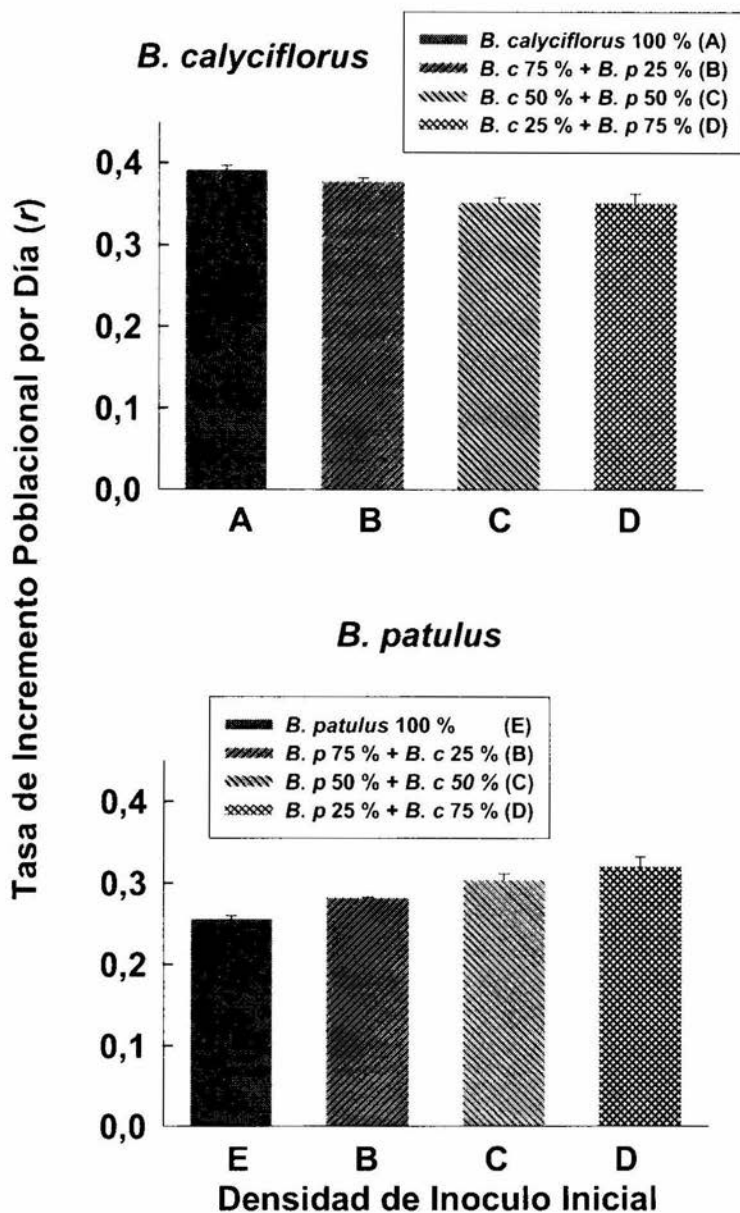


Fig. 12 Tasa de incremento poblacional por día de *B. calyciflorus* y *B. patulus* alimentados con una mezcla de microalgas (*C. vulgaris* 50 % + *S. acutus* 50 %). Los valores representan el promedio y el error estándar basados en cuatro repeticiones.

Crecimiento Poblacional en Cladóceros.

La especie *C. dubia* muestra en las curvas de crecimiento una mayor abundancia en las dietas de las diferentes mezclas que en los controles de las dos microalgas. El control de *C. vulgaris* (13 ± 1 ind ml^{-1}) presentó una abundancia máxima mayor que *S. acutus* (8 ± 1 ind ml^{-1}). Esta especie de cladóceros mostró una fase corta de aceleración positiva de 3 - 4 días en los diferentes tratamientos, posteriormente la fase exponencial con una duración de 8 - 10 días, siguió un periodo estacionario corto y finalmente la declinación de la población (Fig. 13). La máxima densidad resultó con la mezcla del 50 % de ambas microalgas (*C. vulgaris* y *S. acutus*) con 15 ± 1 ind ml^{-1} mientras que el control de cada microalga se obtuvieron 13 y 8 ind ml^{-1} para *C. vulgaris* y *S. acutus* respectivamente, resultando con la menor densidad esta última dieta (Fig. 14). También se observó una relación del día en alcanzar la máxima densidad para la dieta del 50 % de ambas microalgas en un menor número de días (14.8 ± 0.9) que la dieta de *S. acutus* (16.3 ± 0.8 días). La tasa de crecimiento poblacional por día (r) también fue la más alta con la mezcla del 50 % de las dos microalgas con un valor de $0.21^{d^{-1}}$ y la tasa más baja se registró con *S. acutus* con $0.14^{d^{-1}}$ (Fig. 14).

Con base en el resultado del análisis de la variancia existieron diferencias significativas tanto en la densidad máxima como en la tasa de crecimiento poblacional por día ($p < 0.001$), pero no en el día en que fueron alcanzadas las máximas densidades de la población ($p > 0.05$) (Tabla V)

En *M. macrocopa* las curvas de crecimiento poblacional muestran un corto periodo de aceleración positiva de un día sin considerar el tipo de tratamiento, continua una corta fase exponencial de 4 - 5 días, seguida de una fase con variaciones de incremento y decremento de la población y por último la etapa de declinación de la población (Fig. 13). La máxima densidad se registró en la dieta con la proporción de 25 % *C. vulgaris* + 75 % *S. acutus* con 11 ± 1 ind ml^{-1} y la menor densidad en el control con *S. acutus* (8 ± 0.5 ind ml^{-1}) (Fig. 14). En relación al día en que se alcanzó la máxima densidad fueron muy cercanas en las 3 primeras dietas de 6.3 a 7.5 días, mientras que al incrementarse la proporción de *S. acutus* se incrementó el número de días en alcanzar la máxima abundancia (9.3 - 12 días). Por último las tasas de crecimiento poblacional por día (r) resultaron con valores cercanos resultando mayor el control de *C. vulgaris* con $0.47^{d^{-1}}$ y la más baja con *S. acutus* con $0.40^{d^{-1}}$ (Fig. 14).

Al realizar el análisis de la variancia de una vía resultó que no existieron diferencias significativas estadísticamente en ninguna de las siguientes variables la máxima densidad, el día en que se alcanzó ésta y la tasa de incremento poblacional por día ($p > 0.05$) (Tabla V).

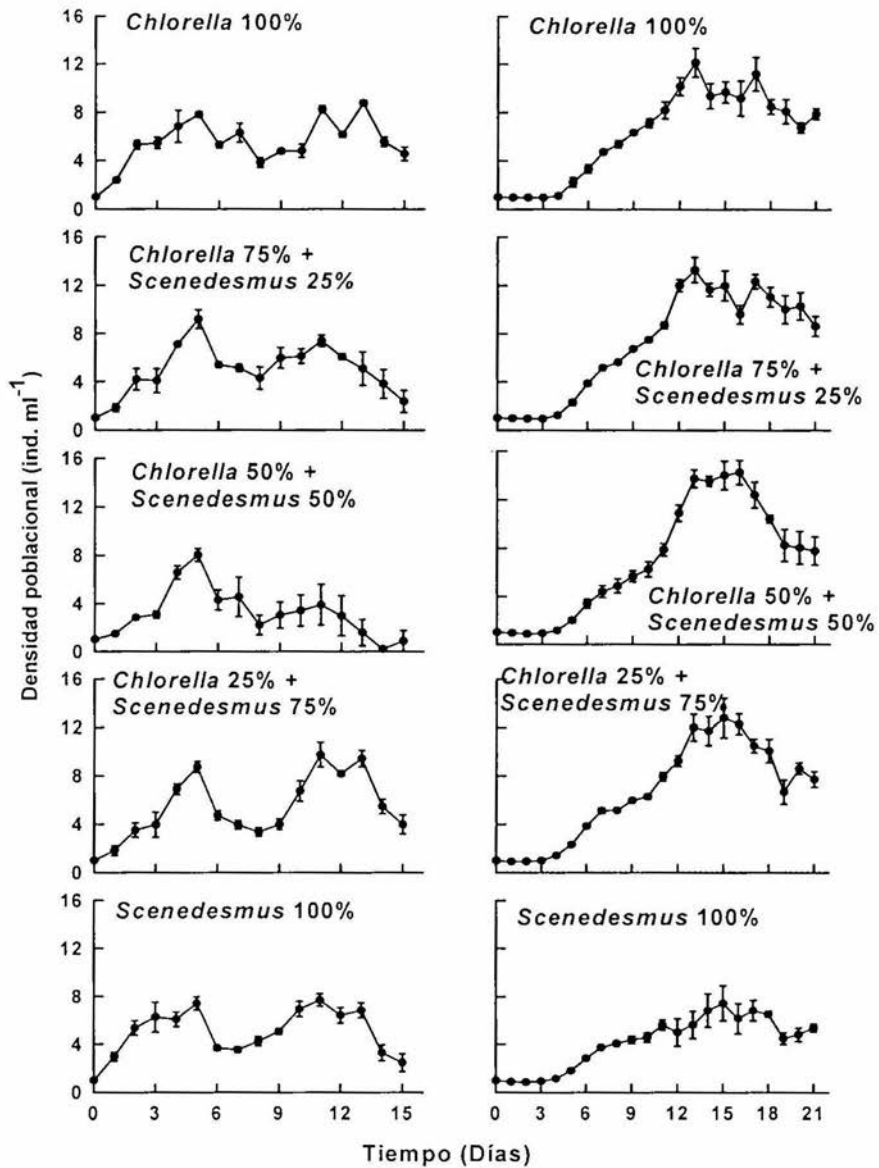


Fig. 13 Curvas de crecimiento poblacional de *C. dubia* (derecha) y *M. macrocopa* (izquierda) alimentadas con una mezcla de *C. vulgaris* + *S. acutus* en diferentes proporciones. Los valores indican el promedio y el error estándar de cuatro repeticiones.

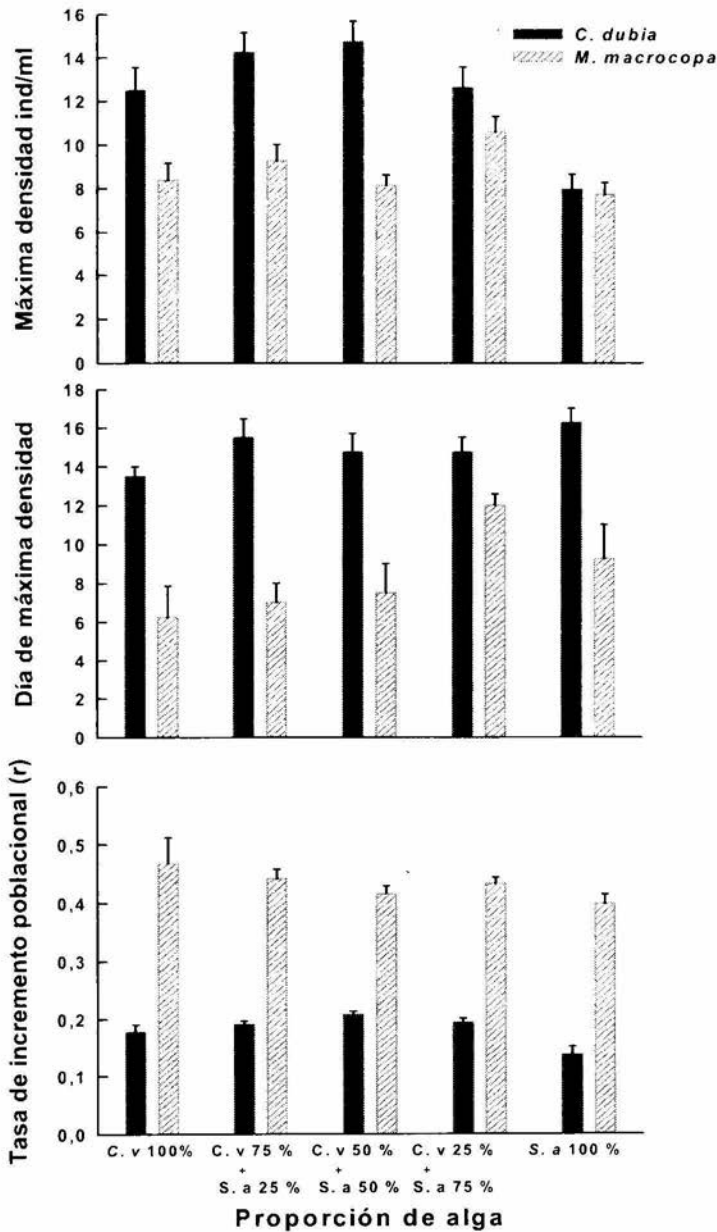


Fig. 14 Máxima densidad, día de máxima densidad y tasa de incremento poblacional por día (r) de *C. dubia* y *M. macrocopa* alimentadas con una mezcla de *C. vulgaris* + *S. acutus* en diferentes proporciones. Los valores indican el promedio y el error estándar de cuatro repeticiones.

Tabla de vida de las especies de cladóceros

En general las curvas de supervivencia (l_x) de las dos especies de cladóceros (Figs. 15 y 17) son de tipo convexas con una tendencia a las curvas rectangulares sesgadas negativamente especialmente en *C. dubia* (Fig. 15) y esto es más claro en la mezcla con mayor proporción de *Chlorella* 75 % + *Scenedesmus* 25 %, mientras que *M. macrocopa* presenta una mayor pendiente en las mezclas con más porcentaje de *Chlorella* y una forma más rectangular al incrementar la proporción de *S. acutus* (Fig. 17). Por lo que se muestra que existió una mayor mortalidad en el control con *Chlorella* así como en las siguientes proporciones hasta el 50 % de cada microalga y al incrementar la proporción de *Scenedesmus* (75 %) y especialmente en el control de esta alga se dio una mayor supervivencia de la cohorte hasta el día 17.

La curva fecundidad (m_x) de *C. dubia* indica una mayor producción de neonatos con *Chlorella* (100 %) y al incrementarse el porcentaje de *S. acutus* en las mezclas disminuye la producción de los neonatos siendo la producción más baja en *S. acutus*, por otra parte sin considerar el tipo de dieta la edad de primera reproducción fue el día 3 y se registró una regular oscilación durante la producción de neonatos a lo largo de la vida de esta especie (Fig. 15). Mientras que *M. macrocopa* registró altos valores en general en todas las combinaciones en su producción de neonatos, pero duro menos días en la mezcla con un mayor porcentaje de *Chlorella*, además registró también una oscilación durante la producción de neonatos y la edad de primera reproducción en todos los casos fue el día 2 y la dieta con el mayor número de días en etapa reproductiva fue con *Scenedesmus* al 100 % (Fig. 17).

Las curvas de expectativa de vida al nacer (e_x) en función de la edad son de tipo decreciente para las dos especies de cladóceros y son muy similares en las diferentes tratamientos para *C. dubia* (Fig. 16) y en *M. macrocopa* los valores son más altos al incrementarse la proporción de *S. acutus*. También se observa en las gráficas que existe un incremento en la expectativa de vida alrededor del día 6 en cada uno de las diferentes dietas y especialmente con *Scenedesmus* (100 %), esto se ve reflejado en las curvas de supervivencia donde se manifiesta un incremento en la mortalidad antes del día 6 en los diferentes tratamientos (Fig. 18).

Por otra parte, los valores de la distribución estable de edad (C_x) para *C. dubia* disminuyen al incrementar el porcentaje de *S. acutus* en las mezclas y el valor más alto fue en *Chlorella* y el más bajo con *S. acutus* (Fig. 16). Mientras que *M. macrocopa* los valores fueron muy similares en los diferentes tratamientos (Fig. 18). Como ya se menciona cuando una población se reproduce en un ambiente constante, finalmente alcanza una distribución estable de edades, es decir que las proporciones de los individuos que pertenecen a distintas edades se mantienen

constantes de generación en generación. Por lo que de acuerdo a los resultados mostraron un típico patrón de la distribución estable de edad.

El promedio de vida más largo y la expectativa de vida al nacer más altas fue en la mezcla de *C. vulgaris* 75 % + *S. acutus* 25 % (18.5 ± 1.3 días y 18 ± 1.3) respectivamente y para *M. macrocopa* el promedio de vida más largo fue con *S. acutus* de 8.0 ± 0.59 días y la expectativa de vida al nacer más larga 7.5 ± 0.59 días (Tabla VI). Existieron diferencias entre las dos especies en sus variables reproductivas. *C. dubia* mostró que las tasas de reproducción bruta y neta más altas fueron en *Chlorella* y al incrementar en la mezcla *S. acutus* disminuyen los valores y *M. macrocopa* la mayor tasa de reproducción bruta y neta fue en la mezcla con más porcentaje de *S. acutus* y la más baja en la combinación con más proporción de *Chlorella*. En *M. macrocopa* todas las variables de supervivencia y reproducción siempre fueron valores más altos en *Scenedesmus* que con *Chlorella*. (Tabla VI).

La ANDEVA de una vía para cada una de las variables de supervivencia y reproducción en *C. dubia* indicó que existieron diferencias significativas en las siguientes variables: tasa de reproducción bruta y neta, el tiempo de generación y la tasa de incremento poblacional por día ($p < 0.001$). Mientras que para *M. macrocopa* solo hubo diferencias significativas en el tiempo de generación y en la tasa de incremento poblacional por día (r) ($p < 0.01$) (Tabla VII).

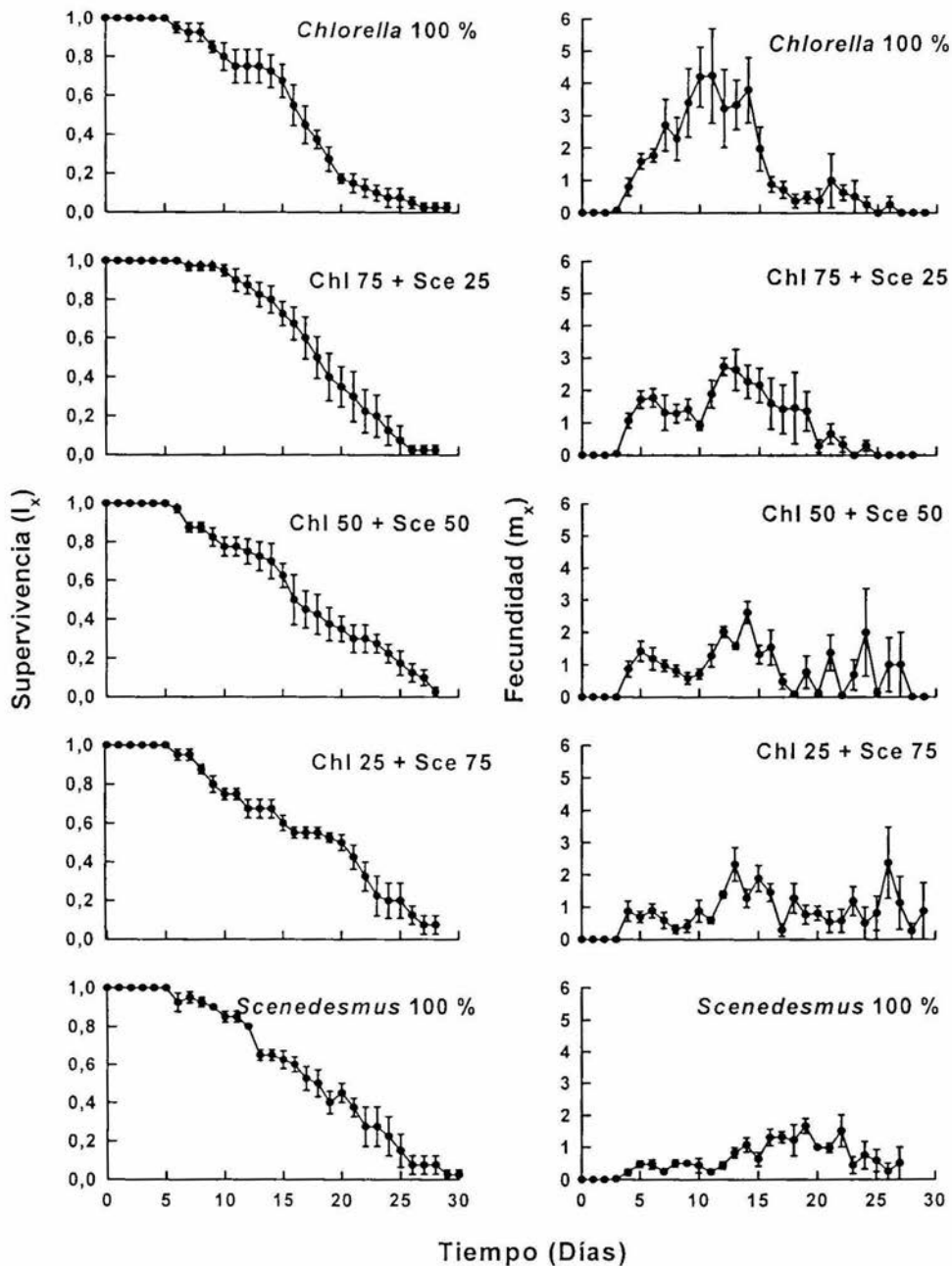


Fig. 15 Curvas de supervivencia (l_x) y fecundidad (m_x) de *C. dubia* alimentada con *C. vulgaris* y *S. acutus* en diferentes proporciones. Se muestran el promedio y el error estándar de cohortes de cuatro repeticiones.

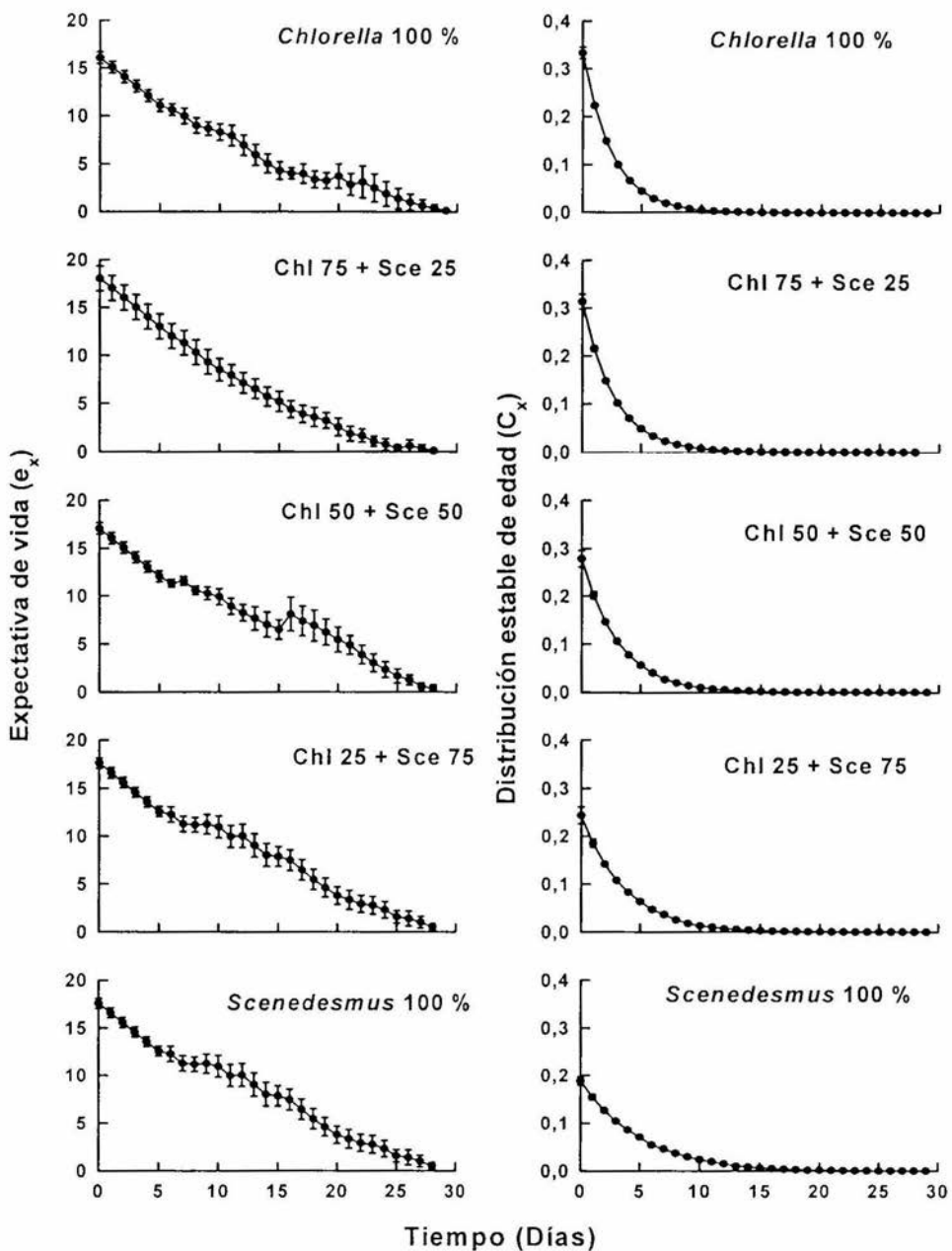


Fig.16 Curvas de expectativa de vida al nacer (e_x) y de la distribución estable de edad (C_x) de *C. dubia* alimentada con diferentes proporciones de *C. vulgaris* y *S. acutus*. Se representan los valores del promedio y el error estándar de cohortes con cuatro repeticiones.

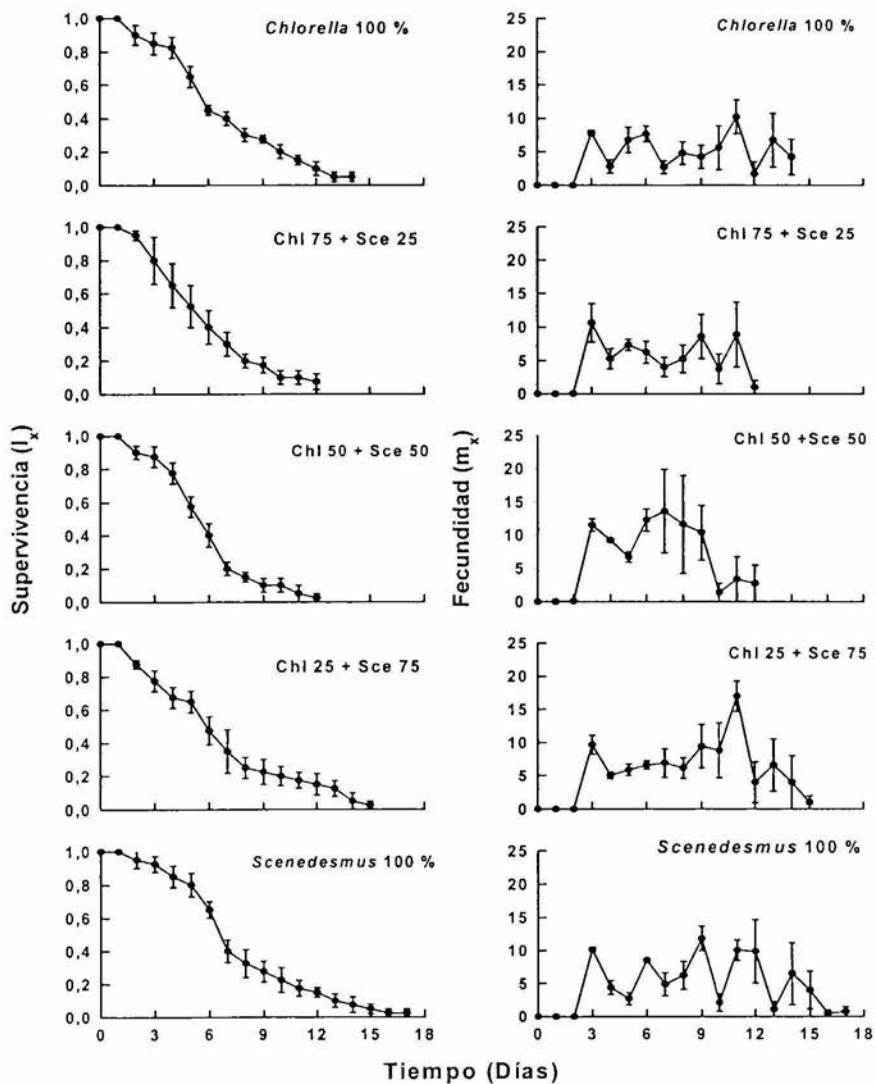


Fig. 17 Curvas de supervivencia (l_x) y fecundidad (m_x) de *M. macrocopa* alimentada con diferentes proporciones de *C. vulgaris* y *S. acutus*. Se muestran los valores del promedio y el error estándar de cohortes con cuatro repeticiones.

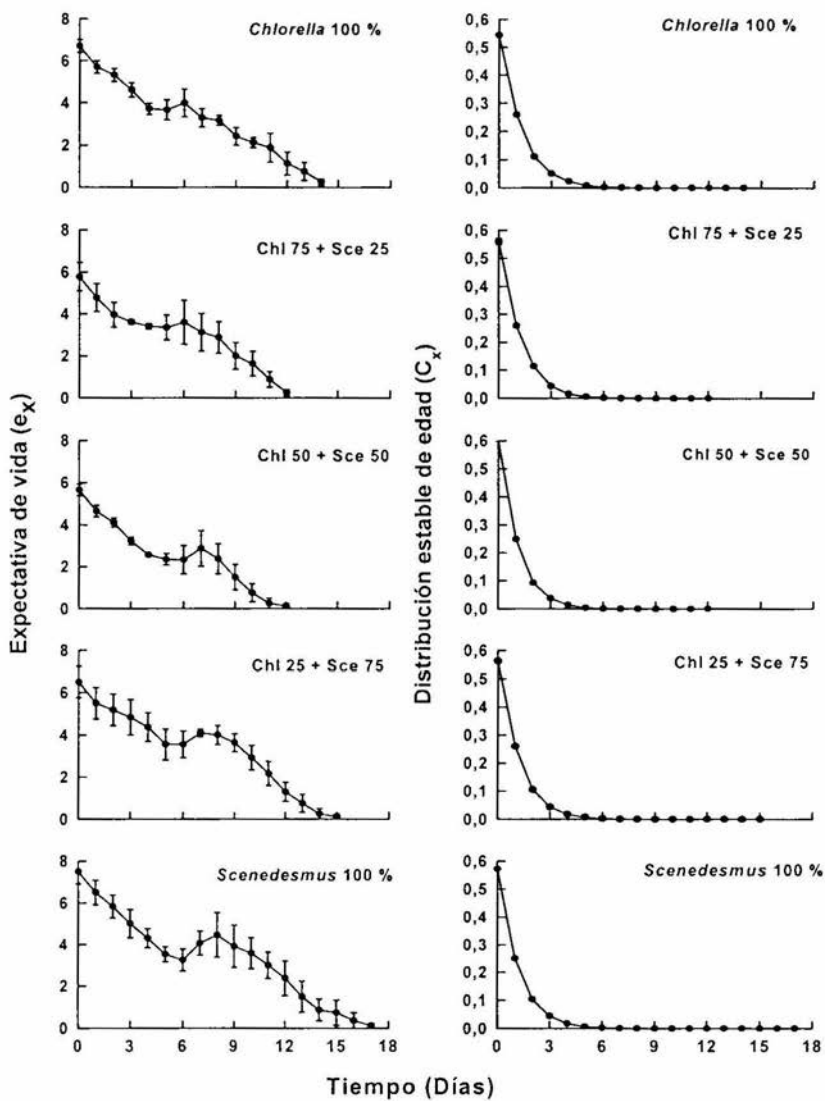


Fig. 18 Curvas de expectativa de vida al nacer (e_x) y la distribución estable de edad (C_x) de *M. macrocopa* alimentada con diferentes proporciones de *C. vulgaris* y *S. acutus*. Se muestran los valores del promedio y el error estándar.

Competencia entre las especies de cladóceros

La curva de crecimiento poblacional de *Ceriodaphnia dubia* (Fig. 19) cuando creció sin competencia mostró un corto periodo de establecimiento de 3 días a la mezcla de microalgas (*C. vulgaris* + *S. acutus*), después tuvo una fase exponencial de 13 días y posteriormente empezó a declinar la población. En el caso de *Moina macrocopa* la curva de crecimiento muestra tres picos de abundancia durante el periodo del experimento. Registró un corto periodo de establecimiento de 2 días, continúan los picos de abundancia en los días 4, 10 y 23 con decrementos entre cada uno de los picos de abundancia.

Cuando las dos especies crecieron en condiciones de competencia por el recurso *C. dubia* mostró la siguiente tendencia al disminuir la proporción de densidad inicial de inoculación 75, 50 y 25 % se incremento el número de días de aceleración positiva (4, 7 y 8) para empezar su fase de crecimiento exponencial. Mientras que *M. macrocopa* independientemente de la densidad inicial mostró un breve periodo de establecimiento de dos días antes de iniciar su crecimiento exponencial que duro poco (2 - 4 días) (Fig. 19).

La máxima densidad en el control de *C. dubia* fue mayor (3.8 ind ml^{-1}) que *M. macrocopa* (3.4 ind ml^{-1}) y cuando ambas especies compitieron mostraron el siguiente patrón ya que al disminuir el porcentaje de la densidad inicial de inoculo para *C. dubia* de 75, 50 y 25 % también disminuyeron los valores de las máximas densidades 3.0, 2.8 y 1.6 ind ml^{-1} respectivamente resultando con una diferencia significativa en *C. dubia* y también para *M. macrocopa* al disminuir la densidad inicial de inoculo (75 a 25 %) alcanzaron máximas densidades cada vez menores ($3.6, 3.0$ y 3.2 ind ml^{-1}) (Fig. 20).

El día de máxima densidad *C. dubia* no registró una variación apreciable entre el control y las diferentes densidades de inoculo, resultando la mayor abundancia en el día 13. Por otra parte en *M. macrocopa* al disminuir la proporción de densidad del inoculo inicial de 75 a 25 % aumento el número de días en alcanzar la máxima densidad. Esto es probablemente porque *M. macrocopa* fue afectada en su tasa de crecimiento poblacional por *C. dubia* (Fig. 21).

Respecto a las tasas de crecimiento (Fig. 22) para *C. dubia* al disminuir el porcentaje de la densidad inicial aumento ligeramente la tasa de crecimiento poblacional por día pero no existieron diferencias significativas estadísticamente ($p > 0.05$), y en *M. macrocopa* el resultado fue también semejante es decir a menor densidad inicial se incremento la tasa de crecimiento poblacional pero en una mayor proporción, pero si fue estadísticamente significativa ($p < 0.001$) (Tabla VIII).

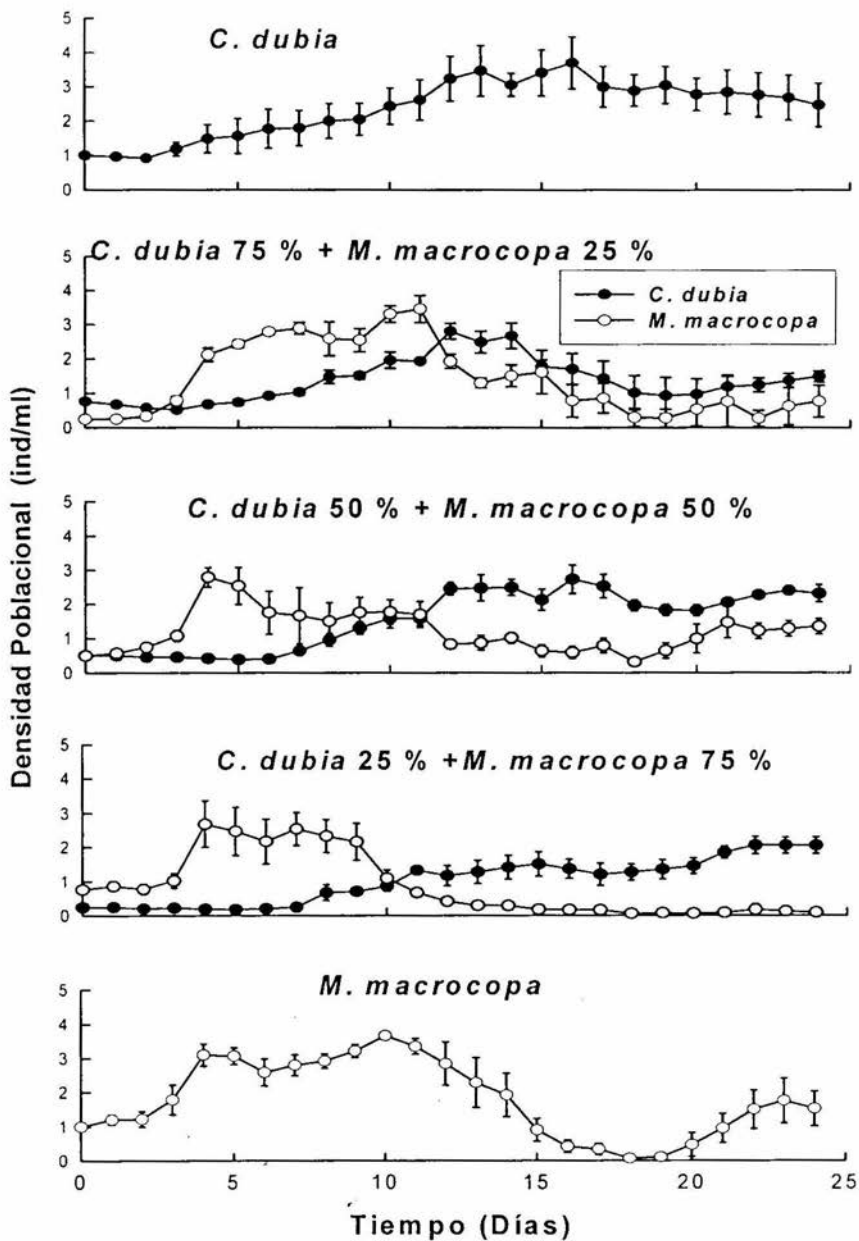


Fig. 19 Curvas de crecimiento poblacional de *C. dubia* y *M. macrocopa* en competencia alimentadas con una mezcla de microalgas (*C. vulgaris* 50 % + *S. acutus* 50 %). Los valores representan el promedio y el error estándar de cuatro repeticiones.

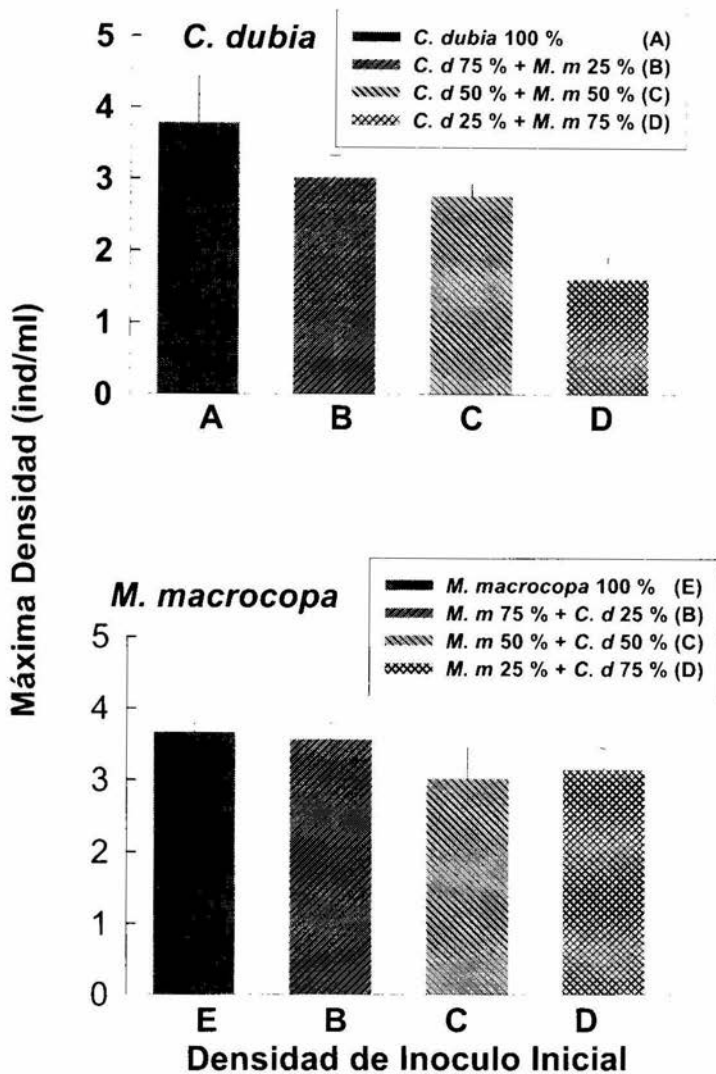


Fig. 20 Máxima densidad poblacional de *C. dubia* y *M. macrocopa* en competencia alimentadas con una mezcla de microalgas (*C. vulgaris* 50 % + *S. acutus* 50 %). Los valores representan el promedio y el error estándar de cuatro repeticiones.

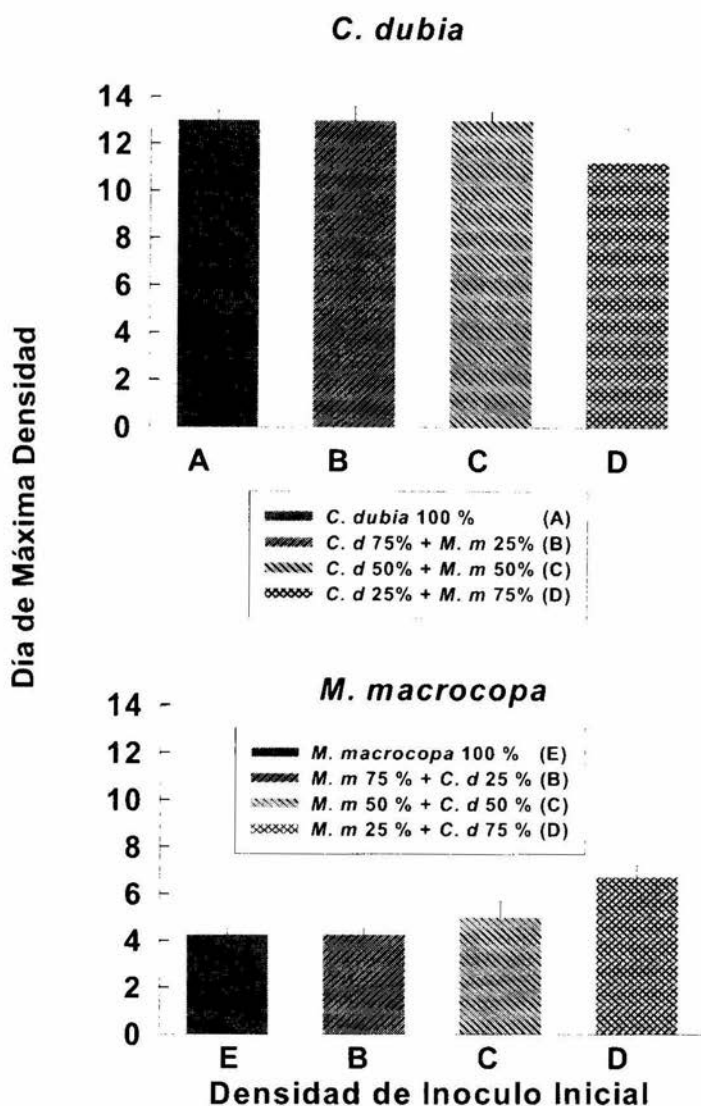


Fig. 21 Día de máxima densidad de *C. dubia* y *M. macrocopa* en competencia alimentadas con una mezcla de microalgas (*C. vulgaris* 50 % + *S. acutus* 50 %). Los valores representan el promedio y el error estándar de cuatro repeticiones.

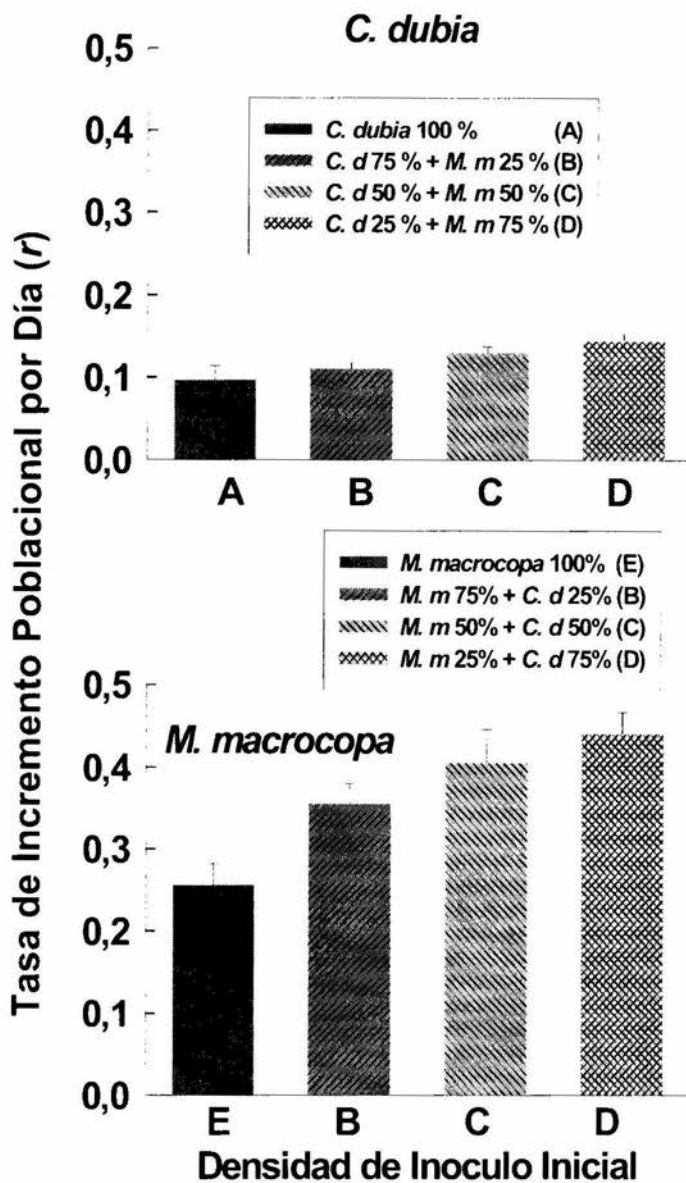


Fig. 22 Tasa de incremento poblacional por día (r) de *C. dubia* y *M. macrocopa* en competencia alimentadas con una mezcla de microalgas (*C. vulgaris* 50 % + *S. acutus* 50 %). Los valores representan el promedio y el error estándar de cuatro repeticiones.

DISCUSIÓN

Crecimiento Poblacional de rotíferos y cladóceros.

El crecimiento poblacional de los rotíferos planctónicos esta controlado fuertemente por varios factores que incluyen la disponibilidad de alimento, la temperatura, presencia de especies co-existentes y la densidad inicial de inculo (DeMott, 1989, Sarma *et al.*, 1996).

En general ambas especies de rotíferos crecieron alimentándose con las dos especies de microalgas (*C. vulgaris* y *S. acutus*). Sin considerar el tipo de proporción en la mezcla *B. calyciflorus* registró un fase inicial de establecimiento (2 días) y una fase de crecimiento exponencial (5-6 días) más cortas que *B. patulus* con 7 a 8 días y 13 a 15 días respectivamente, excepto con la dieta de *Scenedesmus* al 100 %. Ambas especies de rotíferos mostraron un mejor crecimiento poblacional con *C. vulgaris* que con *S. acutus*. Un decremento en la proporción de *C. vulgaris* con un incremento de *S. acutus* resultó con una reducción en los picos de abundancia de *B. calyciflorus* pero esto fue menos acentuado para *B. patulus*. Sin embargo, en cualquier combinación de las mezclas *B. patulus* ($55 - 113 \text{ ind ml}^{-1}$) registró valores de abundancia más altos que *B. calyciflorus* ($21 - 94 \text{ ind ml}^{-1}$).

Con relación a las máximas densidades promedio utilizando *C. vulgaris* a una concentración de 1×10^6 células ml^{-1} para *B. calyciflorus* el valor registrado fue de $94 \pm 3 \text{ ind ml}^{-1}$, resultando superior a las máximas densidades reportadas por Sarma *et al.*, 2001 con $77 \pm 12 \text{ ind ml}^{-1}$ y Peña (2003) con $89 \pm 4 \text{ ind ml}^{-1}$; y para *B. patulus* con $113 \pm 3 \text{ ind ml}^{-1}$ que es un valor semejante a citado por Sarma *et al.*, 2001 con 109 ind ml^{-1} y Pavón-Meza (2000) reportó una máxima densidad de $295 \pm 26 \text{ ind ml}^{-1}$, pero a una concentración de 1.5×10^6 células ml^{-1} , en esta variable de la máxima densidad promedio resultó con diferencias significativas entre los diferentes tratamientos ($p < 0.001$).

Respecto a los valores de las tasas de crecimiento poblacional por día (r) *B. calyciflorus* se encuentran en un intervalo de 0.17 a 0.48 d^{-1} dependiendo del tipo de microalga y combinación. Sin considerar el tipo de alga y combinación *B. calyciflorus* registro valores más altos que *B. patulus* (0.22 a 0.25 d^{-1}), excepto con *S. acutus* al 100 %. Estos valores de crecimiento poblacional por día se encuentran dentro del intervalo (0.10 - 2.13) reportado para otros cultivos de rotíferos en laboratorio (Stemberger y Gilbert, 1985; Miracle y Serra, 1989) y para aquellos reportados en una revisión de tasas de incremento poblacional por Sarma *et al.*, (2000, 2001). Es claro a partir de los resultados de crecimiento poblacional que *B. calyciflorus* alcanzó picos de abundancia más altos en un menor tiempo que *B. patulus*. Esto también es reflejado en sus tasas de incremento poblacional. Entre los rotíferos planctónicos es conocido que *B.*

calyciflorus tiene la tasa más alta de crecimiento poblacional (Bennet y Boraas, 1989). En la presente investigación bajo iguales condiciones de laboratorio *B. calyciflorus* ($175 \pm 18 \mu\text{m}$ de longitud y $128 \pm 16 \mu\text{m}$ de ancho) registró tasas de incremento poblacional más altas que *B. patulus* ($97 \pm 11 \mu\text{m}$ de longitud y $101 \pm 9 \mu\text{m}$ de ancho) (Sarma *et al.*, 1999), pero esta última especie alcanzó valores más altos de la máxima densidad promedio. Se sabe que la máxima densidad poblacional promedio alcanzada por una especie de rotífero es dependiente del tamaño de su cuerpo (Stemberger y Gilbert, 1985; Sarma *et al.*, 1999). Generalmente especies grandes de rotíferos tienen abundancias menores por unidad de volumen comparadas con especies pequeñas (Sarma *et al.*, 1999) y especies más grandes tienen tasas de incremento poblacional más altas que las pequeñas (Stemberger y Gilbert, 1985).

Estudios previos como el de Snell *et al.*, (1983) evaluaron las dietas mixtas y monoalgales entre *Chlorella*, *Dunaliella tertiolecta* y *Schizothrix calciola* en la especie de *B. plicatilis* encontraron que la dieta mixta *Shizothrix* + *Chlorella* incrementaron el crecimiento poblacional comparado con dietas monoalgales. Arévalo *et al.*, (1998) reportaron que la combinación de alga y nejayote produjo la mayor abundancia de *B. calyciflorus* y Sarma *et al.*, (2000) encontraron que *Chlorella* fue un alimento superior a *Saccharomyces* para *B. calyciflorus* y *B. patulus*. Sin embargo, la mezcla de *Chlorella* y levadura registro un crecimiento poblacional mayor comparado con alga como único alimento. En el presente estudio el mejor crecimiento poblacional de ambas especies fue con *Chlorella* a una concentración de 1×10^6 células ml^{-1} y en segundo término la mezcla con la mayor proporción de esta misma alga.

El crecimiento poblacional de los cladóceros, en general es mejor con niveles de alimento menores que en los rotíferos (Sarma *et al.*, 1996). Gran parte de las investigaciones sobre la hipótesis del umbral de alimento se ha concentrado en el género *Daphnia*. Aunque otros géneros como *Moina*, *Ceriodaphnia* y *Simocephalus* que son igualmente componentes importantes de los cuerpos de agua han sido raramente considerados (Lampert y Sommer, 1997). Para cualquier especie el pico de abundancia está directamente relacionado entre otros factores al tamaño del cuerpo y la disponibilidad de alimento. En una concentración de alimento dada, las especies más grandes tienen abundancias menos numerosas que las especies pequeñas, aunque esto puede no ser necesariamente cierto con respecto a las tasas de crecimiento poblacional (Nandini y Sarma, 2000).

En el presente estudio ambas especies de cladóceros: *C. dubia* y *M. macrocopa* crecieron en los dos tipos de algas en forma separada o mezcladas. Sin considerar el tipo de tratamiento, *C. dubia* necesitó un periodo más largo (casi dos semanas) para alcanzar su pico de abundancia, mientras que *M. macrocopa* mostró el primer pico de abundancia en menos de una semana. Independientemente del tipo de alga y combinación, *C. dubia* registró picos de máximas abundancias poblacional más altas que *M. macrocopa*, donde las

máximas densidades fueron 15 ± 0.9 ind ml^{-1} y 8 ± 0.7 ind ml^{-1} respectivamente. Sin embargo, *M. macrocopa* presentó una tasa de crecimiento poblacional más alta que *C. dubia*.

C. dubia registró la máxima densidad (15 ± 1 ind ml^{-1}) en la mezcla de 50 % de ambas microalgas, mientras que Peña (2003) reportó una máxima densidad de 10.1 ± 1.3 ind ml^{-1} en una proporción igual de la mezcla de microalgas. Por otra parte, al utilizar *C. vulgaris* alcanzó una densidad de 13 ± 1 ind ml^{-1} que es un valor superior al reportado por Alva (2001) con 7 ind ml^{-1} a una concentración de 0.75×10^6 células ml^{-1} y al de Peña (2003) de 7.3 ± 0.2 ind ml^{-1} a una concentración de 1×10^6 células ml^{-1} . Con respecto a *M. macrocopa* la máxima densidad obtenida en este estudio fue de 11 ± 0.7 ind ml^{-1} en la mezcla de mayor porcentaje de *S. acutus* (75 %) + *C. vulgaris* (25 %), mientras que Peña (2003) reporta una máxima de 14.1 ± 1.3 ind ml^{-1} en una mezcla del 50 % de ambas microalgas. Al comparar la máxima densidad utilizando *C. vulgaris* se alcanzó 8 ± 0.7 ind ml^{-1} por arriba del señalado por Alva (2001) con 4.7 ind ml^{-1} a una concentración mayor de alimento 1.5×10^6 células ml^{-1} y menor al reportado por Peña (2003) 9.3 ± 1.1 ind ml^{-1} a la misma concentración de alimento de este estudio. Otros estudios como el de Ovie y Egborge (2002) reportaron para *Moina micrura* una máxima densidad de 6.7 ind ml^{-1} alimentada con *Scenedesmus acuminatus* a una concentración de 1×10^6 células ml^{-1} . Por lo que de acuerdo con estos investigadores desde el punto de vista de producción, los picos de máxima abundancia alcanzados en el presente estudio para ambas especies de cladóceros se consideran satisfactorios, ya que ellos reportan aproximadamente 11 000 ind/litro. Cariaso en 1976 obtuvo una máxima población de 500 ind/litro utilizando una mezcla de estiércol y una infusión de paja, mientras que ARAC-NIORM en 1989 obtuvo un pico de producción de 550 ind/litro de *Moina sp* en un cultivo utilizando una mezcla del 50/50 de fertilizantes NPK/Urea. y Adeyemo *et al.*, 1994 registraron una producción de 25 000 ind/litro de *Moina dubia* en un cultivo de 10 litros de agua salobre (en Burak, 1997).

En relación a las tasas de incremento poblacional por día (r) resultaron en un intervalo de 0.13 - 0.20 d^{-1} para *C. dubia* y 0.39 - 0.46 d^{-1} para *M. macrocopa*. Estos resultados son semejantes a los reportados por Alva (2001), Peña (2003) y Nandini y Sarma (2000). Es importante mencionar que la carencia de la influencia estadísticamente significativa para *M. macrocopa* en las tres variables que fueron máxima abundancia, día de máxima densidad y tasa de incremento poblacional de los tipos de mezclas de algas sugiere que esta puede ser cultivada en cualquier tipo de microalga. Los resultados del experimento de crecimiento poblacional están de acuerdo a estudios previos como el de Nandini y Sarma (2000) donde indican que *Ceriodaphnia* aunque menor talla a *Moina*, tiene un ciclo de vida más largo y una tasa de crecimiento poblacional menor.

Es así como el alimento y los hábitos alimenticios de la mayoría de los rotíferos y cladóceros se han enfocado sobre la importancia de los componentes de las algas verdes especialmente en su forma viva (Dobberfuhl y Elser, 1999).

Por lo que estudios realizados sobre crecimiento poblacional tanto en corto tiempo como en cultivos masivos, han mostrado que los picos de abundancia y las tasas de crecimiento como algunas de las variables importantes consideradas para entender el papel de una dieta de algas sobre la vida del zooplancton. Cuando crecen en los tipos de algas comestibles, generalmente el zooplancton de cuerpo pequeño alcanza abundancias más altas en un nivel de alimento dado. Así que entre las cuatro especies empleadas en este estudio, *B. patulus* es la más pequeña mientras que *M. macrocopa* es la más grande. Estas diferencias fueron reflejadas en sus picos de abundancias. Por lo que sin considerar la combinación de algas, los picos de abundancia de los rotíferos y cladóceros están dentro del intervalo 50 - 200 ind/ml para el género *Brachionus* (Sarma *et al.*, 2001) y de 5 - 50 ind/ml para los cladóceros (Nandini y Sarma 2003) observados en estudios previos.

El mejor crecimiento poblacional de las especies de rotíferos *B. calyciflorus* y *B. patulus* se presentó en el control de la microalga *C. vulgaris* esto se debe a varios factores esta especie eleva la cantidad de aminoácidos y proteínas que asimilan los rotíferos (Kokova *et al.*, 1982). Por lo que esta especie posee características nutritivas óptimas para el crecimiento de los rotíferos. Vega-Quintero (1996) realizó un análisis químico proximal obteniendo los siguientes valores 24 pg/cél de proteínas, 28 pg/cél de carbohidratos y 6 pg/cél de lípidos lo que confirma su calidad nutricional. Por otra parte, la curva con el mejor crecimiento poblacional de las especies de rotíferos fue la que contenía un mayor porcentaje de *C. vulgaris*, un factor importante para obtener la máxima tasa de ingestión de *B. calyciflorus* es el tamaño óptimo de algas entre 5 - 10 μm (Routhaupt, 1990) y no obstante que *B. patulus* es más pequeño también se alimenta principalmente de *C. vulgaris*.

Tabla de vida de las especies de rotíferos y cladóceros

Hay diferentes variables las cuales afectan la supervivencia y reproducción de los rotíferos y cladóceros por ejemplo la temperatura, la calidad, densidad del alimento, la forma y tamaño de las algas comestibles. Diferentes investigadores han estudiado la historia de vida de rotíferos y cladóceros utilizando principalmente algas monoespecíficas como dietas. Por ejemplo, Sarma y Rao (1991) demostraron que al aumentar la concentración de alimento y temperatura promovió un incremento en la producción de neonatos, pero decreció el ciclo de vida para *B. patulus* con *Chlorella*. Sarma y Nandini (2001) encontraron que *B. variabilis* fue afectado significativamente en las diferentes variables de supervivencia y reproducción por la disponibilidad de algas comestibles. Tanto las variables de supervivencia y reproductivas fueron afectadas por el tipo de dieta.

Las respuestas de los rotíferos a distintos tipos de alimento reflejan sus estrategias adaptativas a diversas condiciones. Diferentes especies de rotíferos particularmente del género *Brachionus* crecen bien con clorofitas (Waltz, 1995). La tasa de crecimiento poblacional es utilizada para comparar el crecimiento de dos especies de rotíferos bajo condiciones similares en términos del tipo de alimento y disponibilidad (Sarma *et al.*, 1999). Sin embargo, otras variables de la historia de vida tales como la vida promedio y el tiempo de generación también pueden ser afectadas. Cuando dos tipos de algas son ofrecidas como alimento, entonces las respuestas de los rotíferos puede ser más variada, debido a que la tasa en la cual son ofrecidas puede ser un factor que influye en las variables de la historia de vida. Uno de los problemas de los tipos de alimento mezclados es ofrecerlos en términos cuantitativos si dos o más tipos de alimento tienen similar diámetro celular, ellas pueden ser ofrecidas como células/ml. Sin embargo, si las células difieren grandemente, el alimento puede ser ofrecido en términos iguales de peso seco, contenido de carbón o clorofila (Nandini y Sarma, 2003).

Basados en el estudio de la tabla de vida demográfica es evidente que mezcladas o separadas, ambas especies de algas apoyaron la supervivencia y reproducción de *B. calyciflorus* y *B. patulus*. Al comparar solo los controles de *Scenedesmus* y *Chlorella* la primera causó una respuesta reproductiva menor medida como las tasas reproductivas bruta y neta para ambas especies de rotíferos. En la dieta de algas mezcladas, el incremento en la proporción de *Chlorella* también soportó una mejor supervivencia y reproducción de *B. calyciflorus* y *B. patulus*. Sin embargo, esta tendencia no fue consistente a través de las combinaciones de prueba. Por ejemplo, *B. calyciflorus* presentó la tasa reproductiva neta más alta y la tasa de incremento poblacional por día con una dieta de *Chlorella* 75 % + *Scenedesmus* 25 % y *B. patulus* en igual proporciones de las dos algas resultó más apropiado.

La relativa baja aceptación de ambas especies de rotíferos cuando fueron alimentadas con *Scenedesmus* puede ser por varias razones. Este género tiene la capacidad de desarrollar adaptaciones contra el forrajeo tales como elongación de

espinas o formación de colonias (Hessen y Van Donk, 1993), las cuales son ausentes en los cultivos debido a que el alga fue cultivada en un medio libre de zooplancton o sus kairomonas. La relativa digestibilidad de la especie puede ser otro factor. También se menciona que *Scenedesmus* presenta una pared celular gruesa y que aún cuando son ingeridas no son bien digeridas (Wetzel, 2001). Por lo que la noción de que *Scenedesmus* es más adecuada que *Chlorella* es debatible (Flores-Burgos *et al.*, 2003b). En la naturaleza la baja abundancia de *Chlorella* comparada con *Scenedesmus* puede ser debido a su vulnerabilidad a los forrajeros debido a la ausencia de defensas antiforrajeo.

La relativa baja descendencia por *B. calyciflorus* y *B. patulus* cuando fueron alimentados con *Scenedesmus* puede ser relacionado a las diferencias en la calidad nutricional de las especies de algas y/o al consumo y la eficiencia de asimilación por lo rotíferos, las cuales no fueron evaluadas en este estudio. (Gulati y DeMott, 1999).

No obstante, las diferencias asociadas con los tipos de algas y sus combinaciones, ambas especies de rotíferos tuvieron variables de la historia de vida dentro del intervalo reportado anteriormente para estas especies en la literatura. Sarma y Rao (1991) cultivaron *B. patulus* utilizando 3 densidades de *Chlorella* (1×10^6 , 2×10^6 y 4×10^6 células ml^{-1}) a 3 temperaturas (15, 25 y 35°C). El promedio de vida varío de 8 a 14 días dependiendo de las condiciones de prueba. En el presente estudio, fueron menores pero en comparables condiciones estas están cerca de 7 días. Similarmente, las tasas de reproducción bruta y neta observadas en este estudio fueron más bajas pero dentro del intervalo documentado por Sarma y Rao (1991); la tasa de incremento poblacional observado fue ligeramente mayor (0.39 d^{-1}) que el reportado inicialmente (0.35 d^{-1}). Muchos de los datos de la tabla de vida demográfica de *B. calyciflorus* a partir de la literatura no son comparables con este trabajo debido al uso de diferentes especies de algas, densidades, niveles de temperatura y otras condiciones experimentales. Sin embargo, nuestros datos están de acuerdo con la tendencia previamente observada, donde *B. calyciflorus* tuvo una respuesta reproductiva más alta (tasas reproductivas bruta y neta y la tasa de incremento poblacional por día) que *B. patulus*.

En general, los rotíferos alimentados con *Scenedesmus* mostraron menores tasas reproductivas. No obstante el tipo de alga utilizada *B. calyciflorus* mostró tasas más altas de incremento poblacional que *B. patulus*. Nuestros resultados están de acuerdo con el intervalo de tasas documentadas por Sarma *et al.*, (2001). Las otras variables tales como tasas reproductivas bruta y neta también están dentro del intervalo observado para miembros de la familia Brachionidae documentado por Sarma *et al.*, (2002).

Los cladóceros responden rápidamente a cambios en el ambiente al tipo de alimento, calidad y cantidad, temperatura, competencia y depredación (Gulati y DeMott, 1997). La concentración de alimento ha sido demostrado que es uno de

los más importantes y comúnmente factores que afectan a los cladóceros tanto en el campo como bajo condiciones de laboratorio (Lampert y Sommer, 1997).

Para el caso de los cladóceros existieron diferencias entre la dos especies resultando que *C. dubia* mostró mejores resultados con la mezcla con mayor porcentaje de *Chlorella* y también con *Chlorella*, mientras que para *M. macrocopa* los mayores valores más altos se presentaron con las mezclas con mayor proporción de *S. acutus* y con *Scenedesmus* como alimento.

La vida promedio de *C. dubia* obtenida en este estudio fue de 16.6 a 18.5 días dependiendo del tipo de alga y mezcla muy cerca al estudio de Nandini y Sarma (2002) con *Chlorella vulgaris* en un intervalo de 19.9 a 24.7 días utilizando dos densidades 0.5 y 1.5×10^6 células ml^{-1} ; otro estudio realizado por Rose *et al.*, 2000 donde emplearon diferentes concentraciones de alimento del orden de 1×10^4 a 1.5×10^4 células ml^{-1} encontraron un intervalo de 16.7 a 42.9 días. Las tasas reproductivas bruta (17.63 - 28.75) y neta (9.2 - 28.8) de este estudio se encuentran cerca también dentro del intervalo señalado por Nandini y Sarma (2002) utilizando *Chlorella* (21 - 48) y (7.6 - 36.6) respectivamente. En relación al tiempo de generación los valores en este estudio fueron menores (10.42 - 14.28 días) a los citados por Nandini y Sarma (2002) en un intervalo de 18 - 21 días. Por último para la tasa de incremento poblacional vario de 0.19 - 0.40 neonatos día^{-1} siendo más altos a los obtenidos por Nandini y Sarma (2002) de 0.12 - 0.27 y en otro estudio de Rose *et al.*, (2000) indicaron un intervalo de 0.39 a 0.54 neonatos día^{-1} . Finalmente *C. dubia* mostró diferencias significativas en las tasas reproductivas bruta y neta, el tiempo de generación y la tasa de incremento poblacional por día.

En el caso de *M. macrocopa* las diferentes variables de supervivencia y reproductivas resultaron consistentemente con valores más altos en la mezcla con mayor porcentaje de *Scenedesmus* y el control de la misma alga y los valores más bajos con las proporciones más altas de *Chlorella*. La vida promedio de esta especie varió de 6.2 - 8 días valores que son mayores a los obtenidos por Nandini y Sarma (2002) con un intervalo de 6.7 - 6.97 días en su estudio utilizaron dos densidades de *Chlorella* 0.5 y 1.5×10^6 células ml^{-1} . En la esperanza de vida el valor más bajo fue con el control de *Chlorella* (6.7 días) y el más alto con *Scenedesmus* (7.5 días). Las tasas de reproducción bruta (61.16 - 91.12) y neta (23.45 - 32.62) obtenidos en el presente estudio fueron mayores a los obtenidos en un estudio previo realizado por Nandini y Sarma (2002) utilizando dos densidades de *Chlorella* (26.02 - 33.98) y (16.47 - 17.40) respectivamente. el tiempo de generación vario de 4.9 a 6.4 días que son valores cercanos a los obtenidos por Nandini y Sarma (2002) de 5.56 - 5.56 días. Por último en la tasa de incremento poblacional por día se obtuvieron valores más altos que variaron de 0.73 - 0.88 neonatos días^{-1} que los citados que van en un intervalo de 0.51 - 0.52 neonatos días^{-1} . Para este estudio el tiempo para la primera reproducción fue al cuarto día para las diferentes combinaciones y este valor esta de acuerdo con el estudio realizado por Martinez-Jeronimo (1991). Este mismo autor encontró una

alta supervivencia durante los primeros días utilizando *S. incrassatulus* y en el presente estudio se observó una mayor supervivencia con *Scenedesmus acutus* que con *Chlorella vulgaris*. Por lo que para esta especie todas las variables de la historia de vida de supervivencia y de reproducción fueron más altas al utilizar *Scenedesmus* como único alimento que con *Chlorella*. Finalmente al realizar la prueba de análisis de varianza de una vía indicó que no había diferencias significativas excepto en dos variables reproductivas que son el tiempo de generación y la tasa de incremento poblacional.

El presente estudio mostró que las especies de brachionidos seleccionadas mostraron algunas similitudes y diferencias en las variables de la historia de vida. Es importante mencionar que existió una tendencia en general para las tablas de vida de estos rotíferos ya que se obtuvieron valores mayores en las diferentes variables como el promedio de vida, la esperanza de vida, las tasas de reproducción bruta y neta, el tiempo de generación y la tasa de incremento poblacional utilizando como alimento *Chlorella* y su mezcla con la proporción más alta que con *Scenedesmus* o su mezcla en mayor proporción. Resultados similares se obtuvieron con el cladóceros *C. dubia* no así para *M. macrocopa* que resultó con mejores resultados con *Scenedesmus* y su mezcla con más porcentaje de la misma. Los resultados de las variables de la historia de vida en el estudio de la tabla de vida confirman los resultados de los experimentos de crecimiento poblacional donde se observó una preferencia por parte de las especies rotíferos (*B. calyciflorus* y *B. patulus*) y el cladóceros *C. dubia* por *Chlorella vulgaris* y de *M. macrocopa* por *Scenedesmus acutus*.

Por lo que de acuerdo con estos resultados solo algunas veces los parámetros reproductivos son afectados significativamente. Para el caso de *M. macrocopa* la cual presenta un ciclo de vida más corto, probablemente la supervivencia es más importante que la reproducción. La importancia de las dietas mezcladas en las características de la historia de vida de rotíferos y cladóceros ha sido enfatizada solo pocas veces en la literatura. Por lo que estos resultados serán de gran utilidad para tratar de entender el incremento poblacional que se da en la naturaleza y que la abundancia de estas especies del zooplancton no solo está relacionada con la concentración del alimento sino que también con el tipo y las abundancias relativas de las especies presentes.

Competencia entre las especies de rotíferos y cladóceros.

El zooplancton de agua dulce está constantemente sujeto a las fuerzas de competencia y depredación. La depredación entre el zooplancton ha recibido más atención de los ecólogos acuáticos comparado con la competencia entre el zooplancton y la facilitación (Kerfoot y Sih, 1987). La depredación es un proceso rápido, sus consecuencias ecológicas son notorias en un corto tiempo, mientras que la competencia es lenta y puede tomar varios años para observar sus efectos y la facilitación ocurre al menos en dos posibles situaciones. Cuando el alimento no es limitante, dos o más especies permaneciendo juntas pueden nulificar el efecto adverso de la alta densidad de algas a través del uso diferencial del alimento y también cuando una especie digiere parcialmente y excreta las células de las algas y la otra especie puede utilizar estas y crecer mejor que con las algas intactas (Nandini y Sarma, 2001).

La competencia por recursos es una interacción indirecta que afecta a las especies competidoras a través de la explotación de un recurso común, lo cual puede finalmente concluir con la coexistencia o la exclusión de una especie. En la competencia explotativa, el desplazamiento ocurre cuando una especie reduce el recurso por abajo del nivel requerido para sustentar el crecimiento de la especie competidora (Tilman, 1982).

La competencia de rotíferos y/o cladóceros es de considerable interés no solo debido a la cercana similitud en sus estrategias de vida (Allen, 1976), también por el traslape de sus hábitos alimenticios. La competencia entre organismos del zooplancton es influenciada por varios factores como el tamaño del cuerpo hábitos alimenticios, tipo y calidad del alimento, temperatura, concentración de alimento y densidad de inoculación (Rothhaupt, 1988, 1990; De Mott, 1989; Boraas *et al.*, 1990).

Las especies con mayores tasas de incremento poblacional dominan sobre aquellas con menores tasas cuando los niveles de alimento no son limitantes. Debido a que en la naturaleza, el zooplancton soporta condiciones de fluctuaciones y limitación de alimento, la influencia de la competencia determina la relativa abundancia de las especies individuales (Lampert y Sommer, 1997). Además del efecto de la densidad de alimento, la densidad inicial es también un factor importante que influye las tasas de crecimiento poblacional y controla el resultado de la competencia en rotíferos (Sarma *et al.*, 1996, 1997).

Un aspecto muy importante en los fenómenos de competencia es la concentración umbral de alimento (threshold food concentration) propuesto por Lampert y Schoeber (1980) para *Daphnia* y que hoy en día es ampliamente utilizado para explicar las relativas abundancias de las especies de la comunidad del zooplancton (Lampert y Sommer, 1997). De acuerdo con la definición de Stemberger y Gilbert (1985) es la concentración de alimento requerido para mantener en cero la tasa de crecimiento poblacional. Esto implica que en condiciones experimentales se presenta un decremento en la concentración de

alimento, por lo que especies con la habilidad para mantener al menos en cero la tasa de crecimiento poblacional podrá persistir sobre aquellas que no tienen la habilidad.

Las curvas de crecimiento poblacional de las dos especies de rotíferos fueron muy diferentes en ausencia de competencia. *B. calyciflorus* sin competencia y en condiciones de competencia alcanzó los picos de abundancia en un menor tiempo (13 - 16 días) que *B. patulus* (19 - 20 días), aunque en el control y en las diferentes densidades de competencia esta última especie siempre fue mayor numéricamente. Esto es debido a una biomasa mayor y una menor eficiencia de crecimiento de *B. calyciflorus*. También la máxima densidad y el día en que se alcanzaron estas fueron en un periodo de tiempo menor en *B. calyciflorus*. Además, se observa una relación cuando las dos especies están compitiendo ya que al disminuir la proporción de la densidad inicial decreció su máxima densidad (78 a 45 ind ml⁻¹) y aumento el tiempo en alcanzarla cada vez. Por su parte *B. patulus* no presentó grandes diferencias en los valores de las máximas densidades (115 - 136 ind ml⁻¹) y el día que alcanzaron estas (19 - 20 días) con respecto a la densidad inicial de inoculación. Esto se puede explicar porque esta especie posee una menor biomasa y una mayor eficiencia de crecimiento a través del tiempo.

La tasa de incremento poblacional por día (r) fue mayor para *B. calyciflorus* (0.39 día⁻¹) en ausencia de competencia y en todas las combinaciones de densidad inicial bajo condiciones de competencia que *B. patulus* (0.25 día⁻¹). Bennet y Boraas (1989) estimaron que *B. calyciflorus* tiene la tasa más alta de crecimiento entre los metazoarios ($r = 2$ día⁻¹). Pavón-Meza (2000) reportó un valor de 0.5 y 0.6 en concentraciones de *C. vulgaris* 0.5 y 1.0 x 10⁶ células ml⁻¹ y en el experimento de crecimiento poblacional de esta investigación fue 0.48 día⁻¹ utilizando *C. vulgaris* a una concentración de 1 x 10⁶ células ml⁻¹ con una máxima densidad de 94 ind ml⁻¹. Si comparamos la tasa de crecimiento del control de *B. calyciflorus* con *C. vulgaris* fue mayor (0.48 d⁻¹) que en la mezcla (50 % de *C. vulgaris* + 50 % *S. acutus*), pero la densidad máxima es mayor en la mezcla (119 ind ml⁻¹).

Finalmente bajo condiciones de competencia *B. patulus* resultó un mejor competidor que *B. calyciflorus* ya que sin considerar la densidad inicial de inoculación de *B. patulus* influyó de forma negativa sobre el crecimiento a *B. calyciflorus*. De tal forma que durante el periodo del experimento al final de cada combinación de las densidades iniciales siempre *B. patulus* desplazó a *B. calyciflorus*. En un estudio realizado por Sarma *et al.*, (1996) demostró que cuando un rotífero pequeño como *Anuraeopsis fissa* y una especie grande *B. calyciflorus* crecieron juntos, el primero desplazó al segundo solo en niveles de alimento bajos.

Entre las teorías de la competencia en ambientes variables asumen la existencia de las características que confieren el éxito en diferentes ambientes. Uno de los acuerdos es entre los recogedores y los oportunistas. Los recogedores

Uno de los acuerdos es entre los recogedores y los oportunistas. Los recogedores son especies con bajo umbral de alimento que crecen bien en bajos niveles de alimento, pero debido a su baja tasa de crecimiento poblacional (r), son incapaces de crecer rápidamente durante los pulsos de alta concentración de alimento y las especies oportunistas tienen altas r que pueden explotar muy rápido los periodos de disponibilidad de alta concentración de alimento, pero tiene un alto umbral de alimento y crecen pobremente cuando los niveles de alimento son crónicamente bajos (Kirk, 2002). Un estudio experimental de competencia entre especies de rotíferos (*Keratella cochlearis*, *B. calyciflorus* y *Synchaeta sp.*) bajo condiciones de variación temporal en el ambiente *K. cochlearis* siempre gana porque tiene el umbral de alimento más bajo y mayor habilidad para almacenar recursos y racionalizar su uso durante los tiempos de extrema escasez de alimento (Kirk, 2002).

Bajo un nivel específico de alimento, la especie de cladóceros con un tamaño del cuerpo más pequeño alcanza una abundancia numérica más alta que las especies de mayor tamaño (Downing y Rigler, 1984). Los factores que afectan la competencia son la tasa de crecimiento, la disponibilidad de alimento, la habilidad para soportar el estrés, la resistencia a la inanición y la densidad inicial de los taxa que compiten (Matveev, 1985; Romanosky y Feniova, 1985).

En el experimento de competencia entre *C. dubia* y *M. macrocopa* utilizando una mezcla de dos microalgas al 50 % de cada una (*C. vulgaris* y *S. acutus*) no ocurrió la eliminación de una de las especies. Esto es probable porque cada una presenta un ciclo de vida diferente, siendo más largo el de *C. dubia*. La competencia explotativa es más importante entre especies de talla similar que por interferencia (Lampert y Sommer, 1997). *C. dubia* tiene una talla de $951 \pm 57 \mu\text{m}$ de longitud y *M. macrocopa* mide $1286 \pm 49 \mu\text{m}$ de longitud (Alva-Martínez *et al.*, 2001). Las curvas de crecimiento de las dos especies que compiten ya sea en ausencia de competencia y con ella podemos dividir las en dos etapas a partir del día de inicio y no obstante la densidad inicial se observa claramente que hasta el día número 10 es más abundante *M. macrocopa*, pero después de este punto hay un cambio y *C. dubia* pasa a ser la más abundante. Sin embargo, se muestra una tendencia en las tres situaciones de competencia entre estas dos especies no se observa claramente una eliminación de *M. macrocopa* por parte de *C. dubia*, sino que coexisten aun cuando esta última fue numéricamente más abundante al final del experimento.

C. dubia mostró un ciclo de vida más largo que *M. macrocopa* pues la última alcanzó en menor tiempo su pico de abundancia, así como su máxima densidad (4 - 7 días), mientras que *C. dubia* lo logra hasta el día 13.

Un estudio reciente de competencia de Sarma *et al.*, (2003) entre estas especies pero además relacionando la toxicidad de amonio indican para los controles de cada especie alimentados con una concentración de 1×10^6 células ml^{-1} de *C. vulgaris* los siguientes valores del pico máximo de abundancia del

control de *C. dubia* 8.9 ind ml⁻¹ y en competencia con *M. macrocopa* 6.5 ind ml⁻¹, para esta última especie el pico de abundancia del control fue 4.8 ind ml⁻¹ y compitiendo con *C. dubia* fue 4.2 ind ml⁻¹. Para este experimento utilizando una mezcla de algas como alimento los valores de los picos de máxima abundancia fueron menores tanto en los controles de las dos especies (3.8 ind ml⁻¹ en *C. dubia* y 2.7 ind ml⁻¹ *M. macrocopa*) como también en las tres condiciones de competencia.

Los valores de incremento poblacional reportados por Sarma *et al.*, (2003) indican para *C. dubia* del control 0.3 d⁻¹ y en competencia con *M. macrocopa* 0.22 d⁻¹, y para el control de esta última especie fue 0.23 d⁻¹ y en competencia con *C. dubia* 0.18 d⁻¹. Los valores de incremento poblacional en este experimento de competencia resultaron del control de *C. dubia* 0.09 ± 0.01 d⁻¹ y para *M. macrocopa* 0.20 ± 0.03 d⁻¹, y cuando estuvieron en competencia los valores de cada especie se incrementaron conforme disminuyó la densidad inicial de inóculo de cada especie y situación de competencia. La mayoría de los cladóceros tienen valores que varían de 0.1 - 0.5 por día (Nandini y Sarma, 2000) y los valores obtenidos en este estudio caen dentro del intervalo. *M. macrocopa* usualmente tiene los valores más altos de incremento poblacional (*r*) que otros cladóceros (Mangas-Ramírez *et al.*, 2002). En el presente estudio *M. macrocopa* obtuvo los valores más altos tanto en el control como en condiciones de competencia.

En el presente experimento de competencia entre las dos especies de cladóceros no se registró la eliminación de una especie, por el contrario la tendencia fue la coexistencia de ambas especies produciéndose el fenómeno de la facilitación. Goulden *et al.*, (1982) indica que los cladóceros de mayor tamaño no siempre excluyen a los más pequeños en los experimentos de competencia y pueden coexistir como es el caso de *Daphnia galeata* y *Bosmina longirostris*. Por su parte Nandini *et al.*, (1999) demostraron que en ocasiones la competencia entre dos especies de cladóceros zooplanctónicas que crecen juntas no es evidente; por otro lado, el beneficio mutuo de la facilitación puede ocurrir y concluyen que ambas especies pueden coexistir beneficiándose mutuamente, sin embargo el impacto negativo de la competencia implica que eventualmente una de las dos especies será eliminada. De acuerdo con los resultados previos del crecimiento poblacional y de tablas de vida *C. dubia* tiene una preferencia por *C. vulgaris* y *M. macrocopa* por *S. acutus*, por lo que al alimentarse de una mezcla de ambas microalgas es probable que *C. dubia* prefiriera alimentarse principalmente de *C. vulgaris* y *M. macrocopa* de *S. acutus* evitando con ello la competencia por el mismo tipo de alga, sin embargo podría darse la eliminación de una especie posteriormente. Por lo que la habilidad competitiva y la coexistencia de las especies que explotan un recurso similar no solo dependen de la supervivencia en un ambiente limitado de alimentos también de la estructura de edades de las poblaciones. La sobreexplotación de los recursos por la especie competitiva

dominante puede brindar una oportunidad a un competidor menos exitoso para coexistir y aún llegar a ser dominante numéricamente (Goulden *et al.*, 1982).

CONCLUSIONES

* La alga *C. vulgaris* tiene un efecto positivo sobre el crecimiento poblacional de *B. calyciflorus*, *B. patulus* principalmente y *C. dubia*, mientras que *S. acutus* tiene un efecto menor excepto para *M. macrocopa* el cual se alimenta de ambas tipos de algas.

* La presente investigación no apoya el punto de vista que *Scenedesmus* es consistentemente superior a *Chlorella* como alimento básico para todos los cladóceros. En las especies de rotíferos *Chlorella* promovió mejores picos de abundancia máxima y tasas de crecimiento poblacional por día. En el caso de *C. dubia* mostró una tendencia similar a los rotíferos, mientras que *M. macrocopa* no mostró diferencias significativas al alimentarse de una u otra microalga o la mezcla.

* La tendencia general en las tablas de vida de las especies de rotíferos es que se obtuvieron valores más altos en las diferentes variables como el promedio de vida, la esperanza de vida, las tasas de reproducción bruta y neta, el tiempo de generación y la tasa de incremento poblacional utilizando como alimento *Chlorella* y la mezcla con mayor porcentaje de esta alga y resultados similares fueron para *C. dubia*. *M. macrocopa* obtuvo los mejores resultados en las diferentes variables de supervivencia y de reproducción con *Scenedesmus acutus* y su mezcla con mayor porcentaje.

* Para el presente estudio *B. patulus* resultó un mejor competidor eliminando a *B. calyciflorus* en las diferentes densidades de inoculación inicial debido a varios factores como: el menor tamaño, tener un bajo umbral de alimento y una baja tasa de incremento poblacional por día, también hay que considerar que tiene un ciclo de vida más largo que *B. calyciflorus*.

* En los experimentos de competencia entre las especies *C. dubia* y *M. macrocopa* no se registró la eliminación de una especie por otra sino que existió el fenómeno de la facilitación de esta forma pudieron coexistir en las diferentes densidades de inoculación del experimento. Por lo que de acuerdo a su preferencia alimenticia *C. dubia* se alimenta de *C. vulgaris* y *M. macrocopa* de *S. acutus* principalmente y así poder coexistir aunque posteriormente podría suceder la eliminación de una especie.

LITERATURA CITADA

- Ahlgreen, G., G. Inga-Britt & M. Boberg, 1992. Fatty acid content and chemical composition of freshwater microalgae. *Journal of Phycology* 28:37-50
- Allan, J. D., 1976. Life history patterns in zooplankton. *Am. Nat.* 110:165-180
- Alva-Martinez, A. F., 2001. Crecimiento poblacional de tres especies de cladóceros (*Daphnia pulex*, *Moina macrocopa*, y *Ceriodaphnia dubia*) utilizando una cianobacteria (*Microcystis aeruginosa*) y un alga verde (*Chlorella vulgaris*) como alimento. Tesis de Maestría. UNAM, Facultad de Ciencias, México
- Alva-Martinez, A. F., S. S. S. Sarma & S. Nandini, 2001. Comparative population dynamics of three species of cladocera in relation to different levels of *Chlorella vulgaris* and *Microcystis aeruginosa*. *Crustaceana* 74:749-764
- Anónimo, 1985 Methods of Measuring the Acute Toxicity of Effluents to Freshwater and Marine Organism. U.S. Environmental Protection Agency. EPA/600/4-85/013
- Arévalo-Stevenson. R. A., S. S. S. Sarma & S. Nandini, 1998. Population dynamics of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera: Brachionidae) in waste water from food processing industry in Mexico. *Rev. Biol. Trop.* 43:595-600
- Becker, E. W., 1986. Nutritional properties of microalgae potentials and constraints. In: handbook of microalgal mass culture. Richmond, A. (eds) CRC Press, Inc Florida 339-420
- Bennet, W. N. & M. E. Boraas, 1989. Isolation of fast-growing strain of the rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas. Using turbidostat culture *Aquaculture* 73:27-36
- Boraas M.E., D.B. Seale & J.B. Horton, 1990. Resource competition between two rotifer species (*Brachionus rubens* and *B. calyciflorus*): an experimental test of mechanistic model. *J. Plankton Res.* 12:77-87
- Borowitzka M. A. & L. J. Borowitzka, 1988. Micro-algal biotechnology. Cambridge University Press, London
- Burak, E. S., 1997 Life tables of *Moina macrocopa* (Straus) in successive generations under food and temperature adaptation. *Hydrobiologia* 360:101-108

- Castellanos-Páez, Ma. E., G. Garza y S. Marañón, 1999. Aislamiento, caracterización, biología y cultivo de *Brachionus plicatilis* (O. F. Müller), Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. 119 pp.
- Ciros-Pérez, J., Ma. J. Carmona & M. Serra, 2001. Resource competition between sympatric sibling rotifer species. *Limnol. Oceanogr.* 46:1511-1523
- DeMott, W. R., 1989. The role of competition in zooplankton succession. In: Sommer U. (ed) *Plankton Ecology: Succession in Plankton Communities*. 195-252 pp Springer-Verlag, Berlin.
- Dobberfuhl, D. R. & J. J. Elser, 1999. Use of dried algae as a food source for zooplankton growth and nutrient release experiments. *J. Plankton Res.* 21:957-970
- Downing, J. A. & F. H. Rigler, 1984. A manual on methods for the assessment of secondary productivity in fresh waters. 2nd ed. IBP Handbook Blackwell Scientific Publications. London, England 501 pp
- Dumont, H. J. & S. S. S. Sarma, 1995. Demography and population growth of *Asplanchna girodi* (Rotifera) as a function of prey (*Anuraeopsis fissa*) density. *Hydrobiologia* 306:97-107
- Duncan, A., 1989. Food limitation and body size in the life cycles of planktonic rotifers and cladocerans. *Hydrobiologia* 186/187:11-28
- Edmonson W. T., 1965. Reproductive rate of planktonic rotifers as related to food and temperature in nature. *Ecol. Monogr.* 35:61-111
- Flores Burgos, J. 1997. Estudio sobre los rotíferos como indicadores de calidad de agua. Tesis de Licenciatura. UNAM, ENEP Iztacala 99 pp.
- Flores-Burgos, J., S. S. S. Sarma y S. Nandini, 2003a. Estudio preliminar sobre la fauna de rotíferos de Xochimilco (México). *Proceedings of International Conference on Xochimilco, D. F., México*
- Flores-Burgos, J., S. S. S. Sarma & S. Nandini, 2003b. Population growth of zooplankton (Rotifers and cladocerans) fed *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus acutus* in different proportions. *Acta hydrochim. hydrobiol* 31: 1-9
- Gliwics, Z. M., 1990. Food thresholds and body size in cladocerans. *Nature* 343:638-640
- Gilbert, J. J., 1985. Competition between rotifers and *Daphnia*. *Ecology* 66:1943-1950

- Goulden, C. E., L. L. Henry & A. J. Tessier, 1982. Body size, energy reserves and competitive ability in three species of Cladocera. *Ecology* 63:1780-1789
- Gulati, R. D. & W. R. DeMott., 1999. The role of food quality for zooplankton: remarks on the state-of-the-art, perspectives and priorities. *Freshwat. Biol.* 38:753-768
- Halbach, U., 1979. Introductory remarks. Strategies in population research. Exemplified by rotifer population dynamics. *Fortschr Zoologie* 25:1-27
- Hazanato T. & M. Yasuno, (1984) Growth, reproduction and assimilation of *Moina macrocopa* fed on *Mycrocistis* and/or *Chlorella*. *Jap. J. Ecol.* 34:195-202
- Hessen, D. O. & E. Van Donk, 1993. Morphological changes in *Scenedesmus* induced by substances released from *Daphnia*. *Arch. Hydrobiol.* 127:129-140
- Hutchinson, G. E., 1967. A Treatise on Limnology. Vol. II Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton. John Wiley & Sons., Inc. New York, U.S.A.
- Kerfoot W. C. y A. Sih., 1987. Predation direct and indirect impacts on aquatic communities. University Press of New England, Hanover.
- Kirk, K. L., 2002. Competition in variable environments: experiments with planktonic rotifers. *Freshwater Biol.* 47:1089-1096
- Krebs, J., 1985. *Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance.* 3rd. edición. Harper and Row, New York, 789 pp.
- Lampert, W. & Schoeber, 1980. The importance of "threshold" food concentration. In: W.C. Kerfoot (ed), *Evolution and Ecology of Zooplankton Communities.* (pp 264-267) University Press of New England, Hanover
- Lampert; W. & U. Sommer, 1997. *Limnoecology. The ecology of lakes and streams.* Oxford University Press. New York 382 pp.
- Mangas-Ramirez, E., S.S.S.Sarma & S. Nandini, 2002. Combined effects of algal *Chlorella vulgaris* density and ammonia concentration Ecotoxicology and Environmental Safety
- Matveev, V., 1985. Delayed density dependence and competitive ability in two cladocerans. *Arch. Hydrobiol. Beith. Ergenbn. Limnol.* 21:453-459.
- Martínez-Jeronimo, F. & A. Gutierrez-Valdivia, 1991. Fecundity, reproduction, and growth of *Moina macrocopa* fed different algae. *Hydrobiologia* 222:49-55

- Miracle, M. R. & M. Serra, 1989. Salinity and temperature influences in rotifer life history characteristics. *Hydrobiologia* 146/147:81-102
- Muro Cruz G., 2002. Estudio experimental sobre tablas de vida y competencia entre dos especies de cladóceros (Crustacea: Cladocera). Tesis de Maestría. UNAM. Facultad de Ciencias, México, 61 pp.
- Nandini S. & T. R. Rao, 1998. Somatic and population growth in selected cladoceran and rotifer species offered the cyanobacterium *Mycrocystis aeruginosa* as food. *Aquatic Ecology* 31:283-298.
- Nandini S. and S.S.S. Sarma, 2000. Life table demography of four cladoceran species in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) density. *Hydrobiologia* 435:117-126
- _____, 2002. Competition between the rotifers *Brachionus patulus* and *Euchlanis dilatata*: effect of algal food concentration and relative initial densities of competing species. *Russian J. Ecol.* 33:291-295
- _____, 2003. Population growth of some genera of Cladocerans (Cladocera) in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) levels. *Hydrobiologia* 491:1-9
- Nandini, S., 2000. Responses of rotifers and cladocerans to *Mycrocystis aeruginosa* (Cyanophyceae): A demographic study. *Aquatic Ecology* 34: 227-242
- Nogrady, T., R. L. Wallace & T. W. Snell, 1993. Rotifera 1. Biology, Ecology and Systematics. SPB Academic Publishing, The Hague. 142 pp.
- Oltra, R., R. Todoli, T. Bosque, L. M. Lubian & J. C. Navarro, 2000. Life history and fatty acid composition of the marine rotifer *Synchaeta cecilia valentina* fed different algae. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 193:125-133
- Ovie, S. I. & A. B. M Egborge, 2002. The effect of different algal densities of *Scenedesmus acuminatus* on the population growth of *Moina micrura* Kurz (Crustacea: Anomopoda, Moinidae). *Hydrobiologia* 477: 41-45
- Pavón-Meza, L., 2000. Efecto de *Chlorella vulgaris* viva y muerta sobre el crecimiento poblacional de *Brachionus calyciflorus* PALLAS y *Brachionus patulus* (MÜLLER) (Rotifera: Brachionidae) en laboratorio. Tesis de Maestría, UNAM, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. 47 pp.
- Pavón-Meza, L., S.S.S. Sarma & S. Nandini, 2001. Effect of different densities of live and dead *Chlorella vulgaris* on the population growth of rotifers *Brachionus calyciflorus* and *Brachionus patulus* (Rotifera). *Rev. Biol Trop.* 49:821-828

- Peña Aguado, F., 2003. Crecimiento Poblacional de tres rotíferos y dos cladóceros planctónicos en relación con el tipo de dieta. Tesis de Maestría. UNAM, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, 55 pp
- Pianka, E. R., 1988. Evolutionary ecology. Harper and Row Publishers Inc. New York 468 pp
- Ravinovich, J. E., 1980. Introducción a la Ecología de Poblaciones Animales. CECSA, México. 313 pp.
- Romanovski, Y. E. & I. Y. Fenova, 1985. Competition among Cladocera: effect of different levels of food supply. *Oikos* 44:243-252
- Rose, R. M., M. St. J. Warne & R. P. Lim, 2000. Life history responses of the cladoceran *Ceriodaphnia* cf. *dubia* to variation in food concentration. *Hydrobiología* 427:59-64
- Rothhaupt, K. O., 1988. Mechanistic resource competition theory applied to laboratory experiments with zooplankton. *Nature* 333:660-662
- Rothhaupt, K. O., 1990a. Population growth rates of two closely related rotifer species effects of food quantity particle size and nutritional quality. *Freshwater Biol.* 23:561-570
- Rothhaupt, K. O., 1990b. Resource competition of herbivorous zooplankton: a review of approaches and perspectives. *Arch. Hydrobiol.* 118:1-29
- Sánchez Martínez M., 2002. Interacción entre zooplancton herbívoro y *Scenedesmus*: Un estudio sobre la morfología como mecanismo de defensa. Tesis de Maestría UNAM, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, 65 pp
- Sarma, S. S. S. & T. R. Rao, 1987. Effect of level on body size in a growing population of the rotifer *Brachionus patulus* Muller. *Arch. Hydrobiol.* 111:245-253
- Sarma, S. S. S. & T. R. Rao, 1991. The combined effects of food and temperature on the life history parameters of *Brachionus patulus* Muller (Rotifera). *Int. Revue. ges. Hydrobiol.* 76:225-239
- Sarma, S. S. S., 1991 Rotifers and Aquaculture. *Environment & Ecology* 9:414-428
- Sarma, S. S. S., 1996. Rotifer culture systems. In: International workshop on rotifer culture systems. UNAM Campus Iztacala, México. 28-56 pp.

- Sarma, S.S.S., N. Iyer, & H. J. Dumont, 1996. Competitive interactions between herbivorous rotifers: important of food concentration and initial population density. *Hydrobiologia* 331: 1-7
- Sarma, S.S.S., M. A. Araiza & R. J. López, 1997. Influence of food concentration and inoculation density of the population growth of *Brachionus calyciflorus* Pallas Rotifera. *En Ecol.* 15:435-441
- Sarma, S. S. S. & M. Elías-Gutierrez, 1998. Rotifer diversity in a central Mexican pond. *Hydrobiologia* 387/388:47-54
- Sarma, S.S.S., P. S. Larios-Jurado & S. Nandini, 2001. Effect of three food types on the population growth of *Brachionus calyciflorus* and *Brachionus patulus* (Rotifera: Brachionidae). *Rev. Biol. Trop.* 49:75-82
- _____. 2002. Population growth of *Asplanchna sieboldi* fed two *Brachionus* spp. (Rotifera) raised on green alga and baker's yeast. *Hydrobiologia* 467:63-69
- Sarma, S.S.S. & S. Nandini, 2002. Comparative life table demography and population growth of *Brachionus macracanthus* Daday, 1905 and *Platyias quadricornis* Ehrenberg, 1832 (Rotifera, Brachionidae) in relation to algal (*Chlorella vulgaris*) food density. *Acta Hydrochimica et Hidrobiologica* 30: 128-140
- Snell, T. W., C. J. Biebrich & R. Fuerst, 1983. The effects of green and blue-green algal diets on the reproductive rate of the rotifer *Brachionus plicatilis*. *Aquaculture* 3:21-30
- Sokal, R. R. & F. J. Rohlf, 2000. *Biometry*. 2nd. W. H. Freeman and Company. San Francisco 589 pp.
- Stemberger, R. & J. Gilbert, 1985. Body size, food concentration and population growth in planktonic rotifers. *Ecology* 66:1151-1159
- Tilman, D., 1982. *Resource competition and community structure*. Princeton University Press.
- Vega Quintero, M. S., 1996. Caracterización y análisis bromatológico de una cepa monoalgal: *Chlorella vulgaris* Beijerinck colectada de la atmósfera con posible uso en acuicultura. Tesis de Licenciatura UNAM, ENEP Iztacala
- Xi Y-L., X-F. Huang & H-J. Jin, (2001). Life history of three types of females in *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotifera) fed different algae. *Hydrobiologia* 446/447:95-98

- Yúfera, M., 2001 Studies on *Brachionus* (Rotifera): an example of interaction between fundamental and applied research. *Hydrobiologia* 446/447: 383-392
- Waltz, N., 1987. Comparative population dynamics of the rotifers *Brachionus angularis* and *Keratella cochlearis*. *Hydrobiologia* 147:209-213
- Waltz, N., 1995. Rotifer populations in plankton communities: Energetics and life history strategies. *Experientia* 51:437-453
- Waltz N. & T. Gschloessl, 1998. Functional response of ingestion and filtration rate of the rotifer *Brachionus angularis* to the food concentration. *Verhandlungen der internationale Vereinigung für Limnologie* 23:1993-2000
- Weithoff, G. & N. Waltz, 1995. Influence of the filamentous cyanobacterium *Planktothrix agardhii* on population growth and reproductive pattern of the rotifer *Brachionus calyciflorus*. *Hydrobiologia* 313/314:381-386
- Wetzel, R. G., 2001. *Limnology*. 3rd. (ed.) CBS College Publishing. 1006 pp.

ANEXO

Tabla 1. Análisis de la varianza (ANDEVA) de una vía que muestra la máxima densidad poblacional, el día de máxima densidad y la tasa de incremento poblacional por día (r) con relación al crecimiento poblacional de *Brachionus calyciflorus* y *Brachionus patulus* alimentados con una mezcla de microalgas en diferentes proporciones (*Chlorella vulgaris* + *Scenedesmus acutus*). gl = grados de libertad, SC = suma de cuadrados, MC = media cuadrática, F = F – relación; *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, ns: $p > 0.05$

Fuente de variación	Gl	SC	MC	F
	Máxima		Densidad	
<i>B. calyciflorus</i>				
Proporción de mezcla	4	14600.758	3650.19	61.19***
Error	15	894.859	59.66	
<i>B. patulus</i>				
Proporción de mezcla	4	10365.672	2591.42	40.00***
Error	15	971.859	64.79	
	Día de	Máxima	Densidad	
<i>B. calyciflorus</i>				
Proporción de mezcla	4	68.500	17.13	14.89***
Error	15	17.250	1.15	
<i>B. patulus</i>				
Proporción de mezcla	4	36.800	9.20	6.34**
Error	15	21.750	1.45	
	Incremento	Poblacional	por Día (r)	
<i>B. calyciflorus</i>				
Proporción de mezcla	4	0.236	0.06	128.69***
Error	15	0.007	0.00	
<i>B. patulus</i>				
Proporción de mezcla	4	0.002	0.00	7.54***
Error	15	0.001	0.00	

Tabla II. Variables seleccionadas de la historia de vida de *Brachionus calyciflorus* y *Brachionus patulus* basadas en la tabla de vida demográfica con relación a diferentes mezclas de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*. Se muestran las variables de duración de vida (d) expectativa de vida al nacer (e), tasa reproductiva bruta (TRB), tasa reproductiva neta (Ro), tiempo de generación (T) y tasa de incremento poblacional (r). Los valores representan la media \pm error estándar entre paréntesis basados en cohortes con cuatro repeticiones .

Proporción de algas	d	e	TRB	Ro	T	r
<i>B. calyciflorus</i>						
<i>Chlorella</i> 100 %	5.76 (0.30)	5.51 (0.30)	47.30 (5.58)	20.38 (1.35)	3.96 (0.32)	1.10 (0.02)
Chl 75% + Sce 25%	6.07 (0.46)	5.82 (0.46)	70.77 (7.89)	23.98 (2.44)	4.24 (0.31)	1.15 (0.02)
Chl 50% + Sce 50%	5.39 (0.25)	5.14 (0.25)	49.15 (6.66)	20.30 (1.73)	3.86 (0.19)	1.07 (0.02)
Chl 25% + Sce 75%	5.49 (0.40)	5.24 (0.40)	48.64 (3.36)	19.71 (1.62)	4.01 (0.26)	1.05 (0.01)
<i>Scenedesmus</i> 100 %	4.24 (0.14)	4.24 (0.14)	44.73 (6.93)	14.73 (0.61)	3.53 (0.21)	1.04 (0.02)
<i>B. patulus</i>						
<i>Chlorella</i> 100 %	6.45 (0.37)	6.20 (0.37)	10.61 (0.56)	4.99 (0.35)	4.85 (0.11)	0.39 (0.01)
Chl 75% + Sce 25%	6.43 (0.18)	6.18 (0.18)	10.94 (0.34)	5.79 (0.09)	4.56 (0.11)	0.46 (0.01)
Chl 50% + Sce 50%	6.31 (0.26)	6.06 (0.26)	13.81 (1.35)	5.93 (0.50)	4.64 (0.20)	0.47 (0.02)
Chl 25% + Sce 75%	5.81 (0.12)	5.56 (0.12)	12.47 (0.75)	5.90 (0.38)	4.34 (0.09)	0.47 (0.02)
<i>Scenedesmus</i> 100 %	5.16 (0.09)	4.91 (0.09)	12.60 (0.17)	5.09 (0.18)	3.90 (0.06)	0.45 (0.01)

Tabla III. Análisis de la varianza (ANDEVA) de una vía de las variables seleccionadas de la historia de vida de *B. calyciflorus* y *B. patulus* alimentados con una mezcla de microalgas en diferentes proporciones (*Chlorella vulgaris* + *Scenedesmus acutus*). gl = grados de libertad, SC = suma de cuadrados, MC = media cuadrática, F = F – relación. *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, ns: $p > 0.05$

Fuente de variación	Gl	SC	MC	F
<i>B. calyciflorus</i>				
<i>Promedio de vida</i>				
Proporción de alga	4	5.615	1.40	3.23*
Error	15	6.515	0.43	
<i>Expectativa de vida</i>				
Proporción de alga	4	5.616	1.40	3.23*
Error	15	6.528	0.44	
<i>Tasa Reproductiva Bruta</i>				
Proporción de alga	4	2052.668	513.17	3.62*
Error	15	2128.500	141.9	
<i>Tasa Reproductiva Neta</i>				
Proporción de alga	4	182.844	45.71	4.12*
Error	15	166.274	11.08	
<i>Tiempo de generación</i>				
Proporción de alga	4	1.421	0.36	1.35ns
Error	15	3.947	0.26	
<i>Tasa Incremento Poblacional</i>				
Proporción de alga	4	0.035	0.01	4.23*
Error	15	0.031	0.00	
<i>B. patulus</i>				
<i>Promedio de vida</i>				
Proporción de alga	4	4.848	1.21	5.91*
Error	15	3.078	0.21	
<i>Expectativa de vida</i>				
Proporción de alga	4	4.848	1.21	5.91*
Error	15	3.078	0.21	
<i>Tasa Reproductiva Bruta</i>				
Proporción de alga	4	27.578	6.89	3.03ns
Error	15	34.105	2.27	
<i>Tasa Reproductiva Neta</i>				
Proporción de alga	4	3.396	0.85	1.92ns
Error	15	6.648	0.44	
<i>Tiempo de generación</i>				
Proporción de alga	4	2.057	0.51	8.29***
Error	15	0.931	0.06	
<i>Tasa Incremento Poblacional</i>				
Proporción de alga	4	0.018	0.00	4.43*
Error	15	0.015	0.00	

Tabla IV. Análisis de la varianza (ANDEVA) de una vía que muestra la máxima densidad poblacional, el día de máxima densidad y la tasa de incremento poblacional por día (r) de *Brachionus calyciflorus* y *Brachionus patulus* en competencia alimentados con una mezcla de microalgas (*Chlorella vulgaris* + *Scenedesmus acutus*). gl = grados de libertad, SC = suma de cuadrados, MC = media cuadrática, F = F – relación; *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, ns: $p > 0.05$

Fuente de variación	Gl	SC	MC	F
	Máxima		Densidad	
<i>B. calyciflorus</i>				
Densidad inicial	3	12049.156	4016.39	18.31***
Error	12	2631.867	219.32	
<i>B. patulus</i>				
Densidad inicial	3	911.547	303.85	0.85ns
Error	12	4273.563	356.13	
	Día de	Máxima	Densidad	
<i>B. calyciflorus</i>				
Densidad inicial	3	29.188	9.73	5.13**
Error	12	22.750	1.90	
<i>B. patulus</i>				
Densidad inicial	3	2.188	0.73	1.84ns
Error	12	4.750	0.40	
	Incremento	Poblacional	por Día (r)	
<i>B. calyciflorus</i>				
Densidad inicial	3	0.005	0.00	7.07**
Error	12	0.003	0.00	
<i>B. patulus</i>				
Densidad inicial	3	0.009	0.00	13.67***
Error	12	0.003	0.00	

Tabla V. Análisis de la varianza (ANDEVA) de una vía que muestra la máxima densidad poblacional, el día de máxima densidad y la tasa de incremento poblacional por día (r) con relación al crecimiento poblacional de *Ceriodaphnia dubia* y *Moina macrocopa* alimentadas con una mezcla de microalgas en diferentes proporciones (*Chlorella vulgaris* + *Scenedesmus acutus*). gl = grados de libertad, SC = suma de cuadrados, MC = media cuadrática, F = F – relación; *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, ns: $p > 0.05$

Fuente de variación	Gl	SC	MC	F
	Máxima		Densidad	
<i>C. dubia</i>				
Proporción de mezcla	4	120.403	30.10	8.60***
Error	15	52.474	3.50	
<i>M. macrocopa</i>				
Proporción de mezcla	4	18.947	4.74	2.73ns
Error	15	25.994	1.73	
	Día de	Máxima	Densidad	
<i>C. dubia</i>				
Proporción de mezcla	4	16.700	4.18	1.64ns
Error	15	38.250	2.55	
<i>M. macrocopa</i>				
Proporción de mezcla	4	84.300	21.08	2.86ns
Error	15	110.500	7.37	
	Incremento	Poblacional	por Día (r)	
<i>C. dubia</i>				
Proporción de mezcla	4	0.012	0.00	7.23**
Error	15	0.006	0.00	
<i>M. macrocopa</i>				
Proporción de mezcla	4	0.011	0.00	1.23ns
Error	15	0.033	0.00	

Tabla VI. Variables seleccionadas de la historia de vida de *Ceriodaphnia dubia* y *Moina macrocopa* basadas en la tabla de vida demográfica con relación a diferentes mezclas de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*. Se muestran las variables de duración de vida (d) expectativa de vida al nacer (e), tasa reproductiva bruta (TRB), tasa reproductiva neta (Ro), tiempo de generación (T) y tasa de incremento poblacional (r). Los valores representan la media \pm error estándar entre paréntesis basados en cohortes con cuatro repeticiones.

Proporción de algas	d	E	TRB	Ro	T	r
<i>C. dubia</i>						
<i>Chlorella</i> 100 %	16.6 (0.62)	16.1 (0.63)	38.9 (4.35)	28.8 (3.02)	10.42 (0.41)	0.40 (0.01)
Chl 75% + Sce 25%	18.5 (1.30)	18.0 (1.30)	28.75 (4.82)	22.75 (3.60)	11.05 (0.37)	0.37 (0.02)
Chl 50% + Sce 50%	17.5 (0.59)	17.1 (0.59)	24.63 (3.19)	14.85 (1.67)	11.42 (0.55)	0.31 (0.02)
Chl 25% + Sce 75%	18.1 (0.53)	17.6 (0.53)	25.0 (4.64)	13.67 (2.06)	13.50 (0.74)	0.26 (0.02)
<i>Scenedesmus</i> 100 %	18.2 (0.83)	17.7 (0.86)	17.63 (0.75)	9.2 (0.75)	14.28 (0.43)	0.19 (0.01)
<i>M. macrocopa</i>						
<i>Chlorella</i> 100 %	7.2 (0.30)	6.7 (0.30)	65.49 (11.22)	24.38 (2.41)	5.92 (0.35)	0.73 (0.02)
Chl 75% + Sce 25%	6.3 (0.67)	5.8 (0.67)	61.16 (7.11)	23.45 (4.89)	5.71 (0.25)	0.77 (0.04)
Chl 50% + Sce 50%	6.2 (0.27)	5.7 (0.27)	82.93 (10.81)	31.48 (2.14)	4.88 (0.26)	0.88 (0.01)
Chl 25% + Sce 75%	7.0 (0.74)	6.5 (0.74)	91.12 (13.50)	31.0 (6.22)	6.39 (0.53)	0.76 (0.02)
<i>Scenedesmus</i> 100 %	8.0 (0.59)	7.5 (0.59)	83.64 (14.61)	32.62 (2.62)	6.22 (0.28)	0.83 (0.02)

Tabla VII. Análisis de la varianza (ANDEVA) de una vía de las variables seleccionadas de la historia de vida de *C. dubia* y *M. macrocopa* alimentadas con una mezcla de microalgas en diferentes proporciones (*Chlorella vulgaris* + *Scenedesmus acutus*). gl = grados de libertad, SC = suma de cuadrados, MC = media cuadrática, F = F – relación. *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, ns: $p > 0.05$

Fuente de variación	Gl	SC	MC	F
<i>C. dubia</i>				
<i>Promedio de vida</i>				
Proporción de alga	4	9.293	2.32	0.84ns
Error	15	41.592	2.77	
<i>Expectativa de vida</i>				
Proporción de alga	4	9.293	2.32	0.84ns
Error	15	41.593	2.77	
<i>Tasa Reproductiva Bruta</i>				
Proporción de alga	4	980.560	245.14	4.11*
Error	15	895.146	59.68	
<i>Tasa Reproductiva Neta</i>				
Proporción de alga	4	980.663	245.14	10.30***
Error	15	357.048	23.80	
<i>Tiempo de generación</i>				
Proporción de alga	4	44.364	11.09	10.24***
Error	15	16.250	1.08	
<i>Tasa Incremento Poblacional</i>				
Proporción de alga	4	0.110	0.03	15.08***
Error	15	0.027	0.00	
<i>M. macrocopa</i>				
<i>Promedio de vida</i>				
Proporción de alga	4	15.947	3.99	2.56ns
Error	15	23.315	1.55	
<i>Expectativa de vida</i>				
Proporción de alga	4	19.5	4.88	3.17*
Error	15	23.078	1.54	
<i>Tasa Reproductiva Bruta</i>				
Proporción de alga	4	3457.586	864.40	1.59ns
Error	15	8153.539	543.57	
<i>Tasa Reproductiva Neta</i>				
Proporción de alga	4	480.456	120.11	2.15ns
Error	15	839.914	55.99	
<i>Tiempo de generación</i>				
Proporción de alga	4	3.307	0.83	1.38ns
Error	15	8.998	0.60	
<i>Tasa Incremento Poblacional</i>				
Proporción de alga	4	0.046	0.01	1.69ns
Error	15	0.101	0.01	

Tabla VIII. Análisis de la varianza (ANDEVA) de una vía que muestra la máxima densidad poblacional, el día de máxima densidad y la tasa de incremento poblacional por día (r) de *Ceriodaphnia dubia* y *Moina macrocopa* en competencia alimentadas con una mezcla de microalgas (*Chlorella vulgaris* + *Scenedesmus acutus*). gl = grados de libertad, SC = suma de cuadrados, MC = media cuadrática, F = F – relación; *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, ns: $p > 0.05$

Fuente de variación	Gl	SC	MC	F
	Máxima		Densidad	
<i>C. dubia</i>				
Densidad inicial	3	9.832	3.28	5.27*
Error	12	7.463	0.62	
<i>M. macrocopa</i>				
Densidad inicial	3	1.174	0.39	1.14ns
Error	12	4.105	0.34	
	Día de	Máxima	Densidad	
<i>C. dubia</i>				
Densidad inicial	3	9.188	3.06	1.12ns
Error	12	32.750	2.73	
<i>M. macrocopa</i>				
Densidad inicial	3	71.688	23.90	7.98**
Error	12	10.250	0.85	
	Incremento	Poblacional	por Día (r)	
<i>C. dubia</i>				
Densidad inicial	3	0.001	0.00	0.68ns
Error	12	0.003	0.00	
<i>M. macrocopa</i>				
Densidad inicial	3	0.240	0.08	27.55***
Error	12	0.035	0.00	