



**SELECTIVIDAD DE PRESA Y RESPUESTA FUNCIONAL POR
LARVAS (PRIMERAS 5 SEMANAS) DE MOENKHAUSIA
SANCTAEFILOMENAE (STEINDACHNER, 1907) (PISCES:
CHARACIDAE), UTILIZANDO ZOOPLANCTON (ROTÍFEROS) COMO
ALIMENTO**

TESIS

que para optar por el grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS

PRESENTA

JORGE GALLARDO ALANÍS

Tutor principal:

Dr. Singaraju Sri Subrahmanya Sarma

Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM

Miembros del Comité tutor:

Dr. Javier Alcocer Durand.

Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM

Dr. Felipe Amezcua Linares.

ICMyL, UNAM

Dra. Nandini Sarma Iyer.

Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM

Dr. Marcelo Silva Briano

Universidad Autónoma de Aguascalientes

Los Reyes Iztacala, Tlalnepanitla, Estado de México, 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



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

Selectividad de presa y respuesta funcional por larvas (primeras 5 semanas) de *Moenkhausia sanctaefilomenae* (Steindachner, 1907) (Pisces: Characidae), utilizando zooplancton (Rotíferos) como alimento

TESIS

Para obtener el grado académico de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS

PRESENTA:

JORGE GALLARDO ALANÍS

Los Reyes Iztacala, Tlalneapantla, Estado de México, 2024

Dedicatoria:

Al señor Justino Gallardo Sánchez, a la señora Francisca Alanís Dávila.
A Roberto, Teresa, Guadalupe, Justino, Adrián, Luis y todos lo que me dieron la oportunidad de enseñarles y aprender de ellos a lo largo de las generaciones en la UNAM.

Agradecimientos Institucionales:

Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

A la Facultad de Estudios Superiores Iztacala

A los miembros de mi comité.

Dr. Singaraju Sri Subrahmanya Sarma

Dr. Javier Alcocer Durand

Dr. Felipe Amezcua Linares

Dra. Nandini Sarma Iyer

Dr. Marcelo Silva Briano

También agradezco a todas y todos los que me apoyaron desde el CCH Oriente Y Azcapotzalco.

Parte de este estudio fue posible con el apoyo del proyecto PAPIIT-IN208223.

Índice

Resumen	5
Introducción	6-20
Hipótesis	21
Objetivos (general y particulares)	22
Materiales y Métodos	23-28
Resultados	29-36
Discusión	37-40
Conclusiones	41
Referencias	42-48

Resumen

El cultivo de peces ornamentales depende fuertemente de la relación ecológica entre estos y su alimentación. Los cambios ontogénicos en la selección de la dieta por las larvas de peces en crecimiento se pueden usar de manera efectiva para manejar los cultivos de peces en tanques. La producción de larvas de peces ornamentales sufre mortalidad alta durante las primeras etapas debido principalmente a la ausencia del tipo y cantidad necesarios de alimento vivo. La investigación actual muestra dos enfoques en la ecología alimentaria de los peces: selectividad de presas y respuesta funcional. El primero da una idea de qué presas se consumen preferentemente; el segundo enfoque proporciona la densidad óptima que se requiere para un consumo máximo. Ambos métodos fueron utilizados en este trabajo. *Moenkhausia sanctaefilomenae* es una especie de carácido de los comúnmente llamados "tetras", por ser de importancia decorativa, este pez tropical es extensamente cultivado. En el presente trabajo se cuantificó la respuesta funcional y la selectividad presa de sus larvas (1-5 semanas de edad) utilizando cuatro especies de rotíferos (*Brachionus calyciflorus*, *Brachionus havanaensis*, *Plationus patulus* y *Brachionus rubens*) como presa. A pesar de la edad de la larva, *B. havanaensis* no fue seleccionado, mientras que *B. rubens* y *B. calyciflorus* fueron seleccionados. *P. patulus* no fue seleccionado las primeras 3 semanas, pero después si lo fue. Cuando se les proporcionó *B. calyciflorus* como alimento a las larvas, estas aumentaron el consumo de presa conforme tenían más edad, consumiendo un promedio de 80 presas por larva en 45 min. *M. sanctaefilomenae* consumió en general mucho menos a individuos de *B. havanaensis* y *P. patulus*. *B. rubens* fue el rotífero consumido en una cantidad más alta desde la primera semana (cerca de 35 ind./larva/45 min.). El consumo de la presa fue casi asintótico cuando *B. rubens* fue ofrecido en una densidad de 800 individuos. Así, el número máximo de individuos de cada especie de *Brachionus/Plationus* consumida por las larvas de *M. sanctaefilomenae* mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tipos de presa. Este estudio proporcionó datos cuantitativos sobre la selección de presas y el consumo de presas en relación con la edad de las larvas que tienen aplicación en la producción de piscicultura ornamental.

Introducción

El zooplancton es un componente importante en la estructura de las comunidades acuáticas que interactúa con el fitoplancton y el ictioplancton (Lampert y Sommer, 1997). Son el sustento de diferentes poblaciones de invertebrados y de vertebrados como las larvas de pez. Los invertebrados depredadores por lo general prefieren presas pequeñas y los vertebrados usualmente son depredadores visuales por lo que prefieren organismos de mayor tamaño (Kerfoot y Sih, 1987). Por lo general los estudios de depredación describen las interacciones de vertebrados como peces, aves y mamíferos (Krebs y Davies, 1991).

Las estrategias ecológicas de los depredadores pueden cuantificarse utilizando diferentes métodos, que incluyen selectividad de presas, respuesta funcional, respuesta numérica y comportamiento de alimentación (Braga et al., 2012). Tanto las observaciones de campo como el análisis del contenido intestinal de los depredadores y los experimentos de laboratorio son útiles para comprender el papel de los depredadores en el control de la abundancia de sus presas (Gerking, 1994). Muchas de estas características fueron desarrolladas para diferentes depredadores, tanto para vertebrados como para invertebrados. Los depredadores de vertebrados acuáticos como los anfibios y los peces han recibido considerable atención de los investigadores debido a su aplicación en la conservación y la explotación comercial (Nandini y Sarma, 2000; Chaparro-Herrera et al., 2011; Sarma et al., 2017).

Los estudios de selectividad de presas basados en las observaciones de campo generalmente incluyen análisis de contenido intestinal de diferentes presas presentes en los depredadores de tamaño conocido. Además, la información relacionada con los datos de presas en el campo, como el tipo y la densidad de especies, también se recopilan simultáneamente (Krebs, 1993). Estos datos suelen estar sujetos al uso de índices y algunos de los más comunes incluyen el índice de Chesson y α de Manly. Ambos índices se basan en datos de campo en los que la densidad de presas básicamente no cambia durante un período breve, a pesar de que los depredadores eliminaron los elementos de presa. Sin embargo, ambos

índices se interpretan de manera diferente según el tipo de datos obtenidos del campo (Krebs, 1993). Por ejemplo, los valores de α de Manly se ven afectados cuando las especies de presas disponibles son raras. Además, α de Manly también es susceptible a cambios en la diversidad de presas, es decir, cambios en el número de especies de presas durante el tiempo de alimentación. Sin embargo, es un índice robusto que no varía significativamente con los cambios en la proporción de presas (Confer y Moore, 1987).

Dado que los estudios basados en trabajos de laboratorio, generalmente ofrece una densidad y composición conocidas de los elementos de presa, el α de Chesson o índices de selectividad similares, como el α de Manly, también se usan ampliamente (Krebs, 1993). Los problemas del análisis del contenido intestinal de las muestras recolectadas en el campo a veces son demasiados, especialmente para presas más pequeñas que no poseen estructuras corporales fuertes como los rotíferos (Sarma, 1993). El tiempo de recolección de presas de zooplancton puede verse fuertemente afectado por su migración vertical. Aunque se sabe que en los estanques sin peces la migración vertical por el zooplancton está casi ausente, en la mayoría de los cuerpos de agua dulce en las regiones tropicales y subtropicales, los peces son un depredador dominante durante todo el año (Lazzaro, 1987). Otros problemas asociados con el contenido intestinal son la identificación y cuantificación de presas fácilmente digeribles, como los rotíferos. Si bien muchos braquiúridos se identifican por su lorica en muestras fijas, lo mismo no es aplicable para la lorica parcialmente digerida (Nogrady et al., 1993).

La cuantificación del zooplancton presente en el intestino de los peces también presenta errores. Algunas presas se digieren con rapidez, generalmente en unos pocos minutos (por ejemplo, *Liliferotrocha*) o cuando son consumidas por un depredador, se contraen y, por lo tanto, no se pueden identificar (por ejemplo, bdelloideos) (Wallace y Snell, 1991). En tales casos, las estimaciones de densidad definitivas basadas en el contenido intestinal pueden ser a menudo poco confiables.

En otros casos, un depredador acuático como lo son los peces hace una selección peculiar de presas, donde los depredadores se alimentan selectivamente de una o más presas que no están disponibles (o son raras) en comunidad del zooplancton (Gerking, 1994).

La selectividad de la presa también cambia con los niveles de saciedad de los depredadores. Se sabe que ciertas larvas de peces se alimentan de cladóceros cuando los niveles de hambre son altos, pero más tarde, a medida que disminuyen sus niveles de hambre, se alimentan de presas energéticamente rentables como los copépodos (Juanes, 1994). Esto también influye fuertemente en los patrones de selectividad de presa de los peces en función de las colecciones de campo. Por lo tanto, en la mayoría de los estudios de laboratorio, los estudios de selectividad de presas se realizan generalmente en 20 a 30 minutos. Una mayor duración también puede provocar cambios en el nivel de hambre a través de la digestión de las presas (Zaret, 1980).

Las pruebas de laboratorio que involucran selectividad de presas suelen ser más ventajosas ya que se conocen las especies y la densidad de presas ofrecidas. En tales pruebas, por lo general, se introducen individuos depredadores de una edad o tamaño conocido, sin haberlos alimentado (con hambre) por un período corto (1-4 h), en los frascos de prueba que contienen especies de presas deseadas en las densidades elegidas. Durante un período específico, los depredadores se eliminan y las presas no consumidas se fijan en formalina, que luego se cuantifica. Las diferencias entre la densidad inicial y final de las presas que quedan en los frascos se consideran consumo (Pavón-Meza et al., 2020).

La pérdida de individuos de presa debido a errores de manejo o la reproducción de especies de presas durante el tiempo de alimentación suele ser baja o rara y posiblemente insignificante. Si la reproducción de la presa durante el período de

descanso es posible, entonces se configura un control (presa sin depredadores) y se tiene en cuenta el incremento de la densidad de población (Pavón-Meza et al., 2020). También hay algunas sugerencias relevantes disponibles en la literatura (Ali et al., 1996). Por ejemplo, (1) es posible probar la selectividad de la presa utilizando los elementos de presa separados del campo, (2) tanto la presa como el depredador coexisten en el mismo cuerpo de agua, se pueden separar y probar (3), según análisis del contenido intestinal de los depredadores, se pueden elegir especies de presa. Sin embargo, depende del objetivo de estudio. Por ejemplo, en las prácticas de acuicultura, las presas (por ejemplo, quistes de *Artemia*) son externas (compradas en una localidad diferente) a las especies de peces que se cultivan (por ejemplo, carpas, especies de peces ornamentales). El objetivo en tales casos es minimizar la mortalidad larval y mejorar la producción (Lucas et al., 2018).

Para el depredador, la selectividad de la presa está fuertemente influenciada por la capacidad visual de este para detectar a la presa. Por lo tanto, los depredadores visuales, como los peces, pueden distinguir una presa con estructuras de colores de la presa transparente, la primera es capturada por el depredador (Lazzaro, 1987). Los depredadores visuales no seleccionan presas cuando las diferentes especies de presas se encuentran en la oscuridad completa. Por lo tanto, para el depredador visual, la luz es esencial para seleccionar presas. La selección de presas por parte de los depredadores no visuales, como los peces ciegos o los invertebrados inferiores, como *Asplanchna*, implica diferentes mecanismos (Sarma et al., 2003). La mayoría de los depredadores no visuales acuáticos detectan la presa a través del movimiento del agua producido por la misma presa en movimiento. Por lo tanto, se puede esperar que una presa grande produzca corrientes de agua de mayor intensidad y, por lo tanto, se selecciona positivamente. El tamaño del cuerpo de un elemento de presa es importante en la selección de presas, no solo para los depredadores visuales sino también para los depredadores no visuales (Sarma y Nandini 2007). Es probable que los depredadores encuentren especies de presas grandes con más frecuencia que las presas pequeñas. Algunos de estos se detallan en los componentes del comportamiento de alimentación, más adelante en el texto.

Muchas características de las presas, como la velocidad de natación, las estructuras defensivas como las espinas, las toxinas a menudo están implicadas en los comportamientos de evasión hacia los depredadores (Espinosa-Rodríguez et al., 2021). Las presas de movimiento extremadamente rápido como *Polyarthra* no son capturadas fácilmente y, por lo tanto, evitadas por depredadores como *Asplanchna* (Gilbert, 2014).

Los estudios sobre respuestas numéricas generalmente se realizan con depredadores que tienen una vida útil corta o tiempos de generación cortos. Además, es deseable si el depredador tiene un ciclo de vida simple (por ejemplo, sin etapas larvarias, desarrollo directo). Los depredadores con etapas larvarias complejas (p. ej., copépodos) pueden ser problemáticos para realizar experimentos, ya que las diferentes etapas de desarrollo pueden necesitar un tipo diferente de presa (Valencia-Vargas et al., 2020). Holling (1959) fue el primero en documentar que la tasa de consumo de un depredador es mayor al aumentar la densidad de presas y como consecuencia la densidad de depredadores también aumenta. El primero se conoce como respuesta funcional y el segundo se llama respuesta numérica. El aumento en la densidad del depredador con una mayor disponibilidad de presas también es aplicable para las interacciones planta-herbívoro. Para Dumont et al. (1995) han demostrado que las abundancias máximas del herbívoro rotífero *Anuraeopsis fissa* fueron mayores con el aumento de la densidad de algas, casi de manera proporcional. Dichas observaciones han sido documentadas con *Asplanchna*, un rotífero depredador, utilizando otro rotífero (*Brachionus*) como presa. Sin embargo, para este depredador, el aumento de su abundancia tiene efectos dependientes de la densidad, donde la abundancia mayor de la población del depredador da como resultado la producción de machos y huevos en reposo que reducen las poblaciones (Pourriot y Snell, 1983). Los ejemplos de respuestas numéricas con peces son raros ya que el tiempo necesario para cuantificar tales efectos es largo, años en muchos casos (Gerking, 1994).

Existe información exhaustiva sobre las respuestas funcionales con depredadores invertebrados y también con depredadores vertebrados (Sarma et al., 2017). Con el aumento de la disponibilidad de presas, el tiempo de búsqueda de presas de los depredadores disminuye y, por lo tanto, aumenta el número de ataques y capturas. Esto da como resultado mayores tasas de consumo de presas por parte del depredador a medida que aumenta el número de presas. Esta es la base de la ecuación clásica de Holling (1959) que es equivalente al modelo de cinética enzimática de Michaelis y Menten (Krebs, 1993). Aunque los modelos básicos (Tipo I, II y III) son comunes, se observan algunas desviaciones en las tendencias en condiciones experimentales. Por ejemplo, los modelos no consideran los niveles de saciedad del depredador. El aumento en la tasa de captura también aumenta la tasa de consumo y, por lo tanto, los niveles de saciedad disminuyen (Li et al., 2018). Es poco probable que los depredadores con niveles de saciedad más altos ataquen a las presas para el consumo. En los experimentos de respuesta funcional, en densidad muy baja de presas, el tiempo de búsqueda del depredador aumenta. Si el tiempo de búsqueda es demasiado prolongado, el depredador puede perder más energía que la obtenida de una presa capturada. La incapacidad de capturar una presa en densidades bajas a veces se interpreta como una de las estrategias de defensa de la presa contra la depredación (Gliwicz y Maszczyk, 2006).

El método más común para evaluar las respuestas funcionales de un depredador acuático consiste en ofrecer al depredador hambriento con diferentes densidades de una especie de presa determinada (Pawar et al., 2012). Después de permitir un tiempo fijo de alimentación, los depredadores se separan y se cuentan las presas sin comer de cada densidad de presas. Las diferencias en las densidades iniciales y finales de presas indican que la cantidad de presas consumidas se considera como el consumo de presas a una densidad dada. Luego, los datos se grafican en función de la densidad de presas para generar las curvas de respuesta funcional (Li et al., 2018).

El comportamiento de alimentación de un depredador puede dividirse en diferentes series de componentes o eventos interconectados (Greene, 1983). Los componentes principales para muchos depredadores acuáticos diferentes incluyen encuentro (E), ataque (A), captura (C), ingestión (I) o rechazo de presas (Pr). Otras variables que están menos estudiadas incluyen el escape de presas (Pe). Gilbert (1980) definió los primeros 4 eventos para el depredador no visual, *Asplanchna*. El encuentro se considera cuando una presa entra en contacto con la corona del depredador. El ataque ocurre cuando el depredador muestra una respuesta distinta en su movimiento y expande la corona. Cuando un depredador sostiene una presa usando las mandíbulas, entonces se trata como captura. La ingestión suele ser muy corta cuando la presa capturada se transfiere al intestino. Estas diferentes etapas también se denominan tiempo de manipulación en la alimentación de peces. El rechazo de presas ocurre cuando se libera un elemento capturado y no ocurre un segundo intento de captura por parte del depredador.

El comportamiento de alimentación en peces involucra aspectos adicionales donde una distancia reactiva es una variable importante (Beardsell et al., 2021). Una distancia reactiva es la distancia longitudinal máxima entre la presa y el pez donde el depredador muestra un movimiento activo hacia la presa. La distancia reactiva varía no solo con la edad del pez, sino también con el tamaño de la presa. Por lo general, la distancia reactiva aumenta con el aumento de la edad de los peces larvarios. La distancia reactiva también aumenta con presas más grandes como *Daphnia* (Gerking, 1994).

Los rotíferos y los cladóceros junto con los copépodos constituyen la mayor parte de la composición de zooplancton en agua dulce (Hutchinson, 1967). Tanto rotíferos como cladóceros son la dieta ideal para una gran variedad de peces de importancia alimenticia como de importancia ornamental (Dominguez-Dominguez et al., 2002; Escalera-Vázquez et al., 2018). Los peces depredadores tienen una buena capacidad visual, pero aun cuando la utilicen, también emplean otro tipo de

sentidos. Cuando utilizan el contacto visual con la presa como su forma de localizarlas, también se valen de otros sentidos como el oído o el sistema de línea lateral (Mogdans, 2019). Zaret (1980) demostró que algunos peces charales (Atherinidae) seleccionan entre diferentes presas de tamaños similares de pulgas de agua (*Ceriodaphnia*), a aquellas con un diámetro de ojo mayor relacionado con mayor pigmentación del cuerpo, las que posiblemente sean más visibles.

Debido a que esta especie coexiste en forma natural con estas especies de rotíferos, resulta apropiada para el tamaño de estas larvas de pez y proporciona los nutrimentos necesarios para su desarrollo (Hagiwara et al., 1998). En muchas prácticas de acuicultura, la mortalidad de las larvas es de suma importancia ya que las larvas en ese periodo sufren una altísima mortalidad convirtiéndose en un problema grave (Juanes, 1994).

El uso de zooplancton como alimento también desencadena una serie de comportamientos específicos en las larvas (etiología) (Rao, 2003). Por ejemplo, cuando están en contacto con las presas en edades tempranas desarrollan una mayor habilidad en la captura de estas que cuando son alimentados inicialmente con alimento de otro tipo, pero inerte (hojuelas, encapsulados, etc.) (Juanes, 1994).

Por lo tanto, una de las prioridades de la acuicultura es tener una alta sobrevivencia en la etapa larval, lo cual es el cuello de botella para casi todas las actividades en acuicultura. La mayoría de las crías no sobrevive. Una de las causas por la cual perecen estas larvas es por no contar con una alimentación adecuada y suficiente, principalmente zooplancton (Lazzaro, 1987). En este sentido el uso de diferentes especies de zooplancton, de diferentes tamaños y con la suficiente abundancia para evitar su alta mortalidad, está ampliamente justificado, aunque puede ocurrir que las especies zooplanctónicas proporcionadas como presas no se encuentren necesariamente en contacto en ambientes naturales con el depredador, en este caso el pez (Rosenthal y Hempel, 1970).

Las larvas de peces en el medio natural pueden encontrar una gran diversidad de presas en cuanto al tamaño y características morfológicas, por lo que la larva del pez escoge el tipo de presa que sea más adecuada para ser consumido en función de su velocidad, tamaño, disponibilidad y facilidad de captura. Selectividad de presa se le llama cuando un organismo depredador, dentro de una gama de opciones tiende a consumir una presa de manera preferencial sobre otras (Mogdans, 2019).

La importancia del zooplancton como alimento vivo:

Uno de los medios para reducir la mortalidad de las larvas es el de utilizar zooplancton como alimento, principalmente durante las primeras etapas larvianas (es decir, después de la absorción del saco vitelino), este alimento vivo, como pueden ser rotíferos y cladóceros (géneros *Brachionus* o *Moina*) es empleado ampliamente (Radhakrishnan et al., 2020).

Como se ha mencionado, la mayoría de las larvas de peces depende de una cierta cantidad de alimento vivo disponible en el medio (Rao, 2003). Basándose en sus características biológicas, los rotíferos tienen las siguientes como alimento vivo (Wallace y Snell, 1991):

- Tienen una distribución global y fácilmente pueden ser colectados.
- El tamaño de sus cuerpos es de entre 50 a 500 μm . Lo cual es adecuado para ser capturado por la mayoría de las larvas.
- Tienen altas tasa de crecimiento poblacional.
- Tienen un corto tiempo generacional.
- Fácilmente cultivables y con altas densidades.
- Su capacidad de evasión es baja por no ser veloces por lo que las larvas de peces las capturan con facilidad.
- Tienen un alto valor nutritivo y se puede aumentar su calidad nutricional sometiéndolos a diversos tipos de alimento antes de ser proporcionados como presas.

Como se ha mencionado las larvas del pez son depredadores predominantemente visuales, por lo tanto, son activos al seleccionar los diferentes tipos de presa presentes en el zooplancton. Ellos demuestran también una variedad de comportamientos al atacar o capturar su presa (Sarma et al., 2003). Durante este proceso, existe un periodo de aprendizaje lo que contribuye al incremento de eficiencia en la captura de las presas conforme aumenta la edad de la larva. Por lo tanto, la cantidad de presas consumidas por una larva dada de pez es dependiente en su edad (Gerking, 1994).

La interacción entre las larvas y sus presas zooplanctónicas puede evaluarse usando diferentes métodos, los más comunes son: una evaluación etológica (comportamiento alimenticio), respuesta funcional, selectividad de presa o métodos energéticos (Rao, 2003). La tasa del consumo de la presa es evaluada en curvas de respuesta funcional (Winkler & Orellana, 1990). Los depredadores responden cuando se incrementa el número de presas disponibles, aumentando el consumo de estas conforme aumenta su concentración en el medio hasta que se sacia: respuesta funcional (Krebs, 1985).

La respuesta funcional se describe usando las curvas generadas por la cantidad de presa ofrecida y la cantidad de presas consumidas por el depredador en cierto tiempo. Dependiendo del tipo de curva, se pueden distinguir tres tipos (Fig. 1): Cuando aparece la respuesta funcional de Tipo 1, es característica de sistemas vivos filtradores, que demuestra un incremento lineal, tanto como aumente la densidad de presa. La respuesta funcional de Tipo 2 la presentan depredadores invertebrados, tiene un crecimiento asintótico con una tasa continua de decrecimiento. Finalmente, la Respuesta funcional de tipo 3 es típica de los organismos vertebrados (Modelo de Holling). Esta última se describe con una función sigmoideal (Winkler y Orellana, 1990).

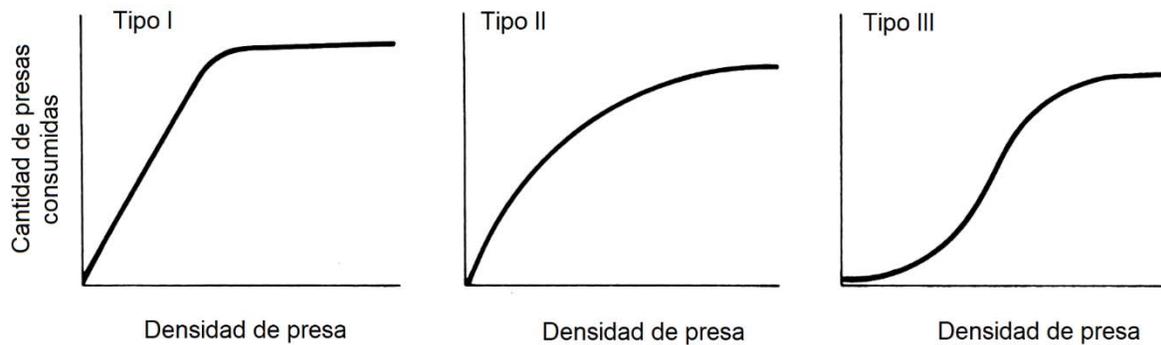


Fig. 1. Curvas de respuesta funcional (Holling, 1959)

Se puede evaluar la selectividad de presa revisando el contenido estomacal u ofreciendo una combinación de diferentes presas y después de cierto tiempo, ya que comieron, podemos determinarlo basándose en el número de las presas restantes, cuáles y cuantas fueron consumidas (Beardsell et al., 2021).

El problema en el análisis de contenido estomacal es que se requiere el sacrificio de las larvas, lo cual es complicado en sí mismo, además de que, al querer determinar las especies e individuos difícilmente se podría, cuando el alimento ha sido parcial o totalmente digerido. Por esta razón la mayoría de los trabajos en laboratorio lo han hecho adaptando el segundo método (Morales-Ventura et al., 2004).

Varias especies de zooplancton han desarrollado estrategias para evitar la depredación por peces, entre ellas han desarrollado espinas caudales como los rotíferos como *Brachionus* o cladóceros como *Daphnia* pueden desarrollar también una especie de yelmos o cascos, o han incrementado el tamaño del cuerpo, con ello pueden llegar a dificultar el manejo del depredador o el rechazo de ellas (Kerfoot y Sih, 1987).

Definitivamente, la morfología de la presa determina la posibilidad de ser consumida o no. El movimiento de las presas, especialmente copépodos calanoideos, influye en su captura pues son difíciles de capturar por las larvas de peces por su extrema rapidez y evasivo modo de locomoción (Rao, 2003).

En los años 30's se llevaron a cabo investigaciones dirigidas a determinar el papel de las comunidades de peces en la regulación de las comunidades del zooplancton. Hrbacek et al (1961) fueron unos de los primeros en realizar investigaciones para indagar la influencia de los peces en la estructura zooplanctónica de los ecosistemas acuáticos. Esto fue fundamental para comprobar que la estructura del ecosistema puede cambiar si estos organismos sufren una depredación fuerte por peces (Dawidowicz y Pijanowska, 1984).

Los peces recién eclosionados pueden estar un lapso pequeño alimentándose de su saco vitelino, pero al ser consumido este "extra", el alimento debe de tenerlo disponible, con buena abundancia y consumirlo sin mucho esfuerzo, pues su capacidad de movimiento es limitada (Zaret, 1980). Por esta razón en trabajos enfocados con el uso de la interacción ecológica depredador-presa (zooplancton-larvas de pez) son con el fin de reducir la mortalidad existente durante las primeras etapas de desarrollo de pez y garantizar un óptimo crecimiento, rápido y sano (Boyd et al., 2020).

Se ha sugerido que la selección de presas de gran tamaño tiene como consecuencia un mayor tiempo de manipulación antes de lograr su ingestión (Greene, 1983). Generalmente, las presas grandes son más fáciles de detectar, pero la probabilidad de capturar a la presa disminuye y como aumenta el tiempo de manejo, la eficiencia de captura disminuye también.

Según Brooks y Dodson (1965), cuando se da una selección por depredación, se observa que desaparecen del medio en donde se encontraban. La presión provocada por la depredación puede resultar en un cambio en los fenotipos de la población que sufre presión por depredación o un cambio en la producción de neonatos de los cladóceros (Sarma et al., 2004). Cuando se desarrollaban trabajos en campo, se cuantificaba el número de presas consumidas, sin embargo, se concluyó que era más importante la relación entre la disponibilidad de presa en el ambiente y el número de individuos consumidos (Morales-Ventura et al., 2004).

Para cuantificar la selección de presa, se han empleado una amplia variedad de índices de preferencia basándose en la diferencia de frecuencias de diversos tipos de presa en la dieta de un depredador y el ambiente (Chesson, 1978). Dos de los índices de selectividad usados frecuentemente son el E_i de Ivlev (1961) o el de Jacobs (1974). Chesson (1978) propone un índice de selectividad conocido como α_i , el cual se basa en un modelo estocástico.

Durante el proceso de alimentación, las larvas de pez de edad conocida se les proporcionan densidades diferentes de presas hasta el punto en el cual las larvas no aumentan su tasa del consumo pese al incremento en el número de estas. Desde el momento en que las presas son consumidas por las larvas las curvas de respuesta funcional son hechas periódicamente, es decir a intervalos semanales (Peredo-Alvarez et al., 2004). La selectividad de la presa permite determinar la presa preferida, la respuesta funcional nos da información de las densidades apropiadas para obtener el crecimiento óptimo de las larvas. El ataque que se lleva a cabo durante la selección de las presas por parte de las larvas del pez depende, entre otros factores, de las abundancias relativas de las presas de zooplancton ofrecidas, la especie, sus caracteres morfológicos, inclusive el tamaño del cuerpo y rasgos en su comportamiento tal como la velocidad de la natación (Lazzaro, 1987).

Las larvas de pez empleadas como depredador en este trabajo fue *Moenkhausia sanctaefilomenae* (Steindachner, 1907), comúnmente conocido como tetra de ojo rojo, perteneciente al Orden Caraciformes, Familia, Characidae. Esta especie presenta las siguientes sinonimias: *Tetragonopterus sanctaefilomenae*, *Moenkhausia agassizi*, *M. australis*, *M. filomenae* y *Poecilurichthys agassizi*.

El género *Moenkhausia* es básicamente sudamericano, esta especie tiene una distribución en Paraguay, Bolivia oriental, Perú oriental, Brasil occidental. Sin embargo, esta especie tiene una importancia comercial a nivel mundial incluyendo México con acerca de 60 especies conocidas (Lima y Toledo-Piza, 2001). Esta es una de las especies más ampliamente utilizadas por su atractivo estético y su mayor resistencia al confinamiento en acuarios en comparación con otras especies de su grupo (la localidad tipo es La laguna de Santa Filomena en el Río Parnahyba, Brasil).

Es un pez relativamente pequeño (generalmente hasta 5 cm longitud) y con un valor comercial moderado en muchos países incluyendo México (Fig. 2).



Fig. 2 Macho adulto de *M. sanctaefilomenae*.

Como muchos otros peces de ornato de la familia Characidae, *M. sanctaefilomenae* experimenta también un gran porcentaje (>60%) de individuos muertos en los primeros días, especialmente después de la absorción del saco vitelino (que dura cerca de una semana). Aunque la alimentación y los hábitos alimenticios en adultos son sabidos, teniendo varias opciones a la mano entre alimentos vivos, congelados, en hojuelas y encapsulados (Esteves y Galetti, 1995), no hay casi información disponible con respecto a la selectividad de presa ni la cantidad de zooplancton que consumen durante su etapa larvaria. También se escogió esta especie de pez por ser una especie con un buen nivel de comercialización, donde las tallas comerciales pueden ser de juveniles a bien desarrollados.

Dado que el comportamiento alimenticio, selectividad de presa y la respuesta funcional de *Moenkhausia sanctaefilomenae* no está disponible en la literatura, en mi trabajo se planteó conocer el comportamiento alimenticio de las larvas de esta especie por lo que resulta indispensable utilizar presas zooplanctónicas para realizar las diferentes pruebas que nos permitan estimar dicho comportamiento. En el trabajo presente, se pretende cuantificar la selectividad de presa y la respuesta funcional de larvas de *Moenkhausia sanctaefilomenae* proporcionando rotíferos como presa viva.

Hipótesis:

Si existe una relación entre la morfología y/o densidad de las presas con respecto a la edad de las larvas de los peces, entonces se reflejará en la preferencia y el consumo.

Objetivos:

Objetivo general.

- Evaluar las diferentes interacciones entre las larvas de *Moenkhausia sanctaefilomenae* (depredador) y diferentes especies de zooplancton (presa).

Objetivos particulares.

- Estudiar la respuesta funcional de *Moenkhausia sanctaefilomenae* las primeras 5 semanas de vida utilizando presas zooplanctónicas (rotíferos).
- Determinar la selectividad de presa (rotíferos) *Moenkhausia sanctaefilomenae* las primeras 5 semanas de vida.
- Comparar la pertinencia de emplear alimento vivo en las primeras semanas de vida de las larvas con respecto a uso de alimento líquido comercial preparado (marca TETRA).

Materiales Y Métodos

Obtención de larvas

Los reproductores de *Moenkhausia sanctaefilomenae* se obtuvieron de una piscifactoría comercial en Morelos (México), mantenidos en acuarios de vidrio de 40L al 50% de volumen con agua desionizada y otros fueron reproducidos de la siguiente manera:

Se utilizaron 4 tanques (acuarios) de cristal de 40 litros también al 50% y 6 de 20 litros al 80% para los adultos y las crías respectivamente. En el momento en que alcanzaron una talla mayor de 4 cm las hembras, con los vientres prominentes por las gónadas casi maduras y por la acumulación de huevos y los machos con una talla de 3 cm, se procedió a aislarlos en una pecera de 20 l de capacidad al 80% de llenado, con una temperatura de 28° C, con agua blanda (filtración por turba o desmineralización), un pH ligeramente neutro (7.2), canicas de cristal en el fondo de color oscuro y varios “setos” de *Elodea densa*, para proporcionarles refugio y cobertura (Fig. 3).



Fig. 3 Acuario con adultos de *Moenkhausia sanctaefilomenae* (vista lateral y por encima).

Las hembras de esta especie desovan en cardúmenes. El desove lo realizan entre raíces de plantas flotantes o acuáticas. Los huevos eclosionan luego de 12 a 14 horas.

Con un aireador de burbujeo fino y moderado. La proporción fue de tres machos por

cada hembra y se colocaron tres hembras y 9 machos por la noche.

Al día siguiente aparecen esparcidos los huevos, los cuales son aislados con cuidado para evitar ser comidos por los reproductores; se le añade también una pequeña cantidad de azul de metileno o verde malaquita para evitar la infestación por hongos a los huevos no fecundados mismos que se retiran y se supervisa su desarrollo (Fig. 4).



Fig. 4 Desove de pez *Moenkhausia sanctaefilomenae* (bajo condiciones de laboratorio).

Se procede a los ensayos a partir del momento en que agoten su reserva alimenticia contenida en su saco vitelino y puedan consumir las presas (a los siete días de nacidos) y luego cada 7 días, por 5 semanas con el zooplancton seleccionado y algas con las que se alimentaba este.

Producción de microalga y selección de zooplancton

La selección de las especies de zooplancton se basó en los siguientes criterios:

Coexistencia de las especies zooplanctónicas (presa) y *Moenkhausia sanctaefilomenae* en su hábitat natural (Fernandes et al., 2020).

El tamaño de la boca de las larvas.

Pruebas preliminares de laboratorio utilizando zooplancton mixto (rotíferos y cladóceros), donde no se consumieron cladóceros.

Dado que el tamaño de las larvas aumenta con la edad, ofrecimos rotíferos de diferentes tamaños (de 110 μm a 160 μm) (Koste, 1978).

Para el desarrollo de las poblaciones de rotíferos (*Brachionus calyciflorus*, *Brachionus havanaensis*, *Brachionus rubens* y *Plationus patulus*) se utilizan también 4 tanques de vidrio (peceras) de 10 litros.

El fitoplancton utilizado para el mantenimiento y desarrollo de las poblaciones de rotíferos fue la microalga *Chlorella vulgaris*, utilizando un medio Bold (Borowitzka y Borowitzka, 1988) (Fig. 5).



Figura 5. Cámaras de cultivo de algas.

Las larvas y el zooplancton se mantuvieron en agua con dureza moderada (medio EPA), que fue preparada disolviendo 96 mg NaHCO_3 , 60 mg CaSO_4 , 60 mg MgSO_4 , Y 4 mg KCl en un litro de agua destilada (Weber, 1993).

Las condiciones del medio en las pruebas fueron semejantes para mantener las larvas de pez y las especies de zooplancton (la temperatura $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$, la iluminación con luz fluorescente difusa y el pH de 7.0-7.5).

Los cultivos de zooplancton se son lavados y filtrados cada tercer día, se alimentan de *Chlorella vulgaris* y constantemente son aireados con un burbujeo lento. *Chlorella vulgaris* es un alga unicelular que ha sido muy utilizada como alimento de zooplancton. El cultivo fue desarrollado en botellas transparentes de 2 litros con luz artificial fluorescente difusa, cosechada en su fase exponencial y concentrada por centrifugación a 4000 rpm, separada y lavada con agua destilada, posteriormente refrigerada a 5°C para su almacenamiento. Con una densidad aproximada de 1×10^6 cels/ml.

A las larvas del pez le fueron ofrecidas cuatro especies de rotíferos (*Brachionus calyciflorus*, *Brachionus havanaensis*, *Brachionus rubens* y *Platyonus patulus*), todos los cuales fueron a su vez cultivados y alimentados con algas verdes unicelulares (*Chlorella vulgaris*). Estas algas se cultivaron utilizando medio Bold (Borowitzka y Borowitzka, 1988).

Las pruebas contemplan tres aspectos: a) Respuesta funcional; b) Selectividad de presa y c) evaluación de la conveniencia en el uso de alimento líquido en comparación al uso de zooplancton.

Fundamentalmente se llevaron a cabo dos experimentos diferentes: selectividad de presa y respuesta funcional. La comparación para confirmar la pertinencia en la aplicación de zooplancton como alimento en las primeras semanas en lugar de alimento líquido comercial para alevines fue con el propósito de asegurar la validez general de este trabajo.

Respuesta Funcional.

Con respecto a la respuesta funcional, 40 larvas de *Moenkhausia sanctaefilomenae*

son colocadas por pares, en 20 recipientes con 25 ml de medio EPA, ahí permanecen durante dos horas para que eliminen de su tracto digestivo cualquier material alimenticio y tengan mayor disposición a alimentarse después de ese periodo. En otros 20 recipientes, divididos en 3 réplicas, se agregan 25 ml de medio EPA y una de las especies de rotíferos (en el experimento cuatro especies fueron utilizadas: *Brachionus calyciflorus*, *B. havaenensis*, *Brachionus rubens* y *P. patulus*) con las siguientes cantidades por lote 25, 50, 100 y 200 individuos con tres réplicas para cada una de las densidades.

Son añadidas unas gotas de alga para disminuir el estrés o una potencial mortandad por inanición, posteriormente, se vacían los recipientes de larvas en los recipientes de los rotíferos y se mide un tiempo de 45 minutos después de los cuales los peces son retirados, se cuentan los rotíferos sobrevivientes y se obtiene la diferencia entre la cantidad inicial y final para determinar el número de individuos consumidos por los peces, y se realizan gráficas utilizando la siguiente fórmula de Michaelis-Menten (Lampert y Sommer, 1997):

$$v_0 = \frac{V_{\max} [S]}{K_m + [S]}$$

Cuando las larvas tuvieron cuatro semanas de edad se aumentó una densidad adicional de presas (es decir 800 individuos) para una especie de rotífero (*Brachionus rubens*) para larvas de 4 y 5 semanas de edad).

Selectividad de presa

Con respecto a la selectividad de la presa, se realizaron seis pruebas consecutivas. El día cero fue cuando las larvas comenzaron a alimentarse. Se utilizaron en las pruebas larvas de 0, 7, 14, 21 y 28 días.

Se colocaron diez larvas de *Moenkhausia sanctaefilomenae* en pares, en 5 contenedores con 25 ml de medio EPA. Luego permanecieron durante dos horas para eliminar cualquier material alimenticio de su tracto digestivo. En otros 5 contenedores, divididos en lotes de 5, se agregaron 100 individuos de las especies de rotíferos seleccionadas.

Se agregaron unas gotas de alga *Chorella* para evitar el estrés y la posible muerte por inanición de la presa. Posteriormente, se añadió el pez al recipiente con plancton. Después de 45 minutos, se retiraron los peces, se contaron los individuos y se obtuvo la diferencia entre la cantidad inicial y la cantidad final para determinar el número de individuos consumidos por los peces. Para el reporte de resultados, los datos obtenidos se procesaron mediante el índice α de Manly (Krebs, 1993).

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

Donde:

α_i = alfa de Manly para la presa tipo i,

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

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

m = número de tipos de presas posibles.

En caso de que:

$\alpha_i = 1 / m$. La alimentación es no selectiva.

$\alpha_i > 1 / m$. La especie i es preferida en la dieta.

$\alpha_i < 1 / m$, La especie i es evitada en la dieta.

Resultados

Las curvas de respuesta funcional de *M. sanctaefilomenae* alimentados con *B. calyciflorus* mostraron aumento del consumo de presas al aumentar la edad de las larvas. Así, cuando las larvas eran de una semana de edad, se estabilizó la cantidad de presas consumidas a 20 ind./larva. Por otro, cuando las larvas tenían 5 semanas de edad, el consumo de presas se estabilizó a alrededor de 80 ind./larva (Fig. 6).

Las curvas de respuesta funcional de larvas de *M. sanctaefilomenae* en general disminuyó mucho más el consumo de presas (*B. havanaensis*) con aumento de la densidad de rotíferos. Así, cuando las larvas tenían tan solo cinco semanas, el consumo de presas alcanzó una asíntota de aproximadamente 50 ind./larva (Fig.7).

Cuando se utilizó *P. patulus* como presa, las curvas de respuesta funcional fueron similares a las obtenido para *B. havanaensis*, aunque cuando las larvas tenían una semana de edad, fueron capaces de consumir menos de 5 presas por larva, incluso cuando la densidad de presas ofrecida fue de 400 individuos por frasco (Figura 8).

Brachionus rubens se consumía, en general, en números más altos a partir de la primera semana (aproximadamente 35 ind./larva). El consumo de presas fue casi se estabilizó cuando la densidad de presas ofrecida fue de 800 individuos por frasco (Fig. 9).

Un análisis de varianza nos indica, en que el máximo número de individuos de cada rotífero consumido por las larvas de cinco semanas de edad tiene significancia ($p < 0.05$, F- prueba, Tabla 1) entre las diferentes especies de presas. Pero cuando estos datos fueron sujetos a un análisis más específico no hubo diferencias

significativas entre las especies *B. havanaensis* y *P. patulus*, pero para el resto si fueron significativas tales diferencias ($p < 0.05$, prueba de Tukey).

Table 1 Resultados del análisis de varianza unidireccional (ANOVA) realizado sobre el consumo máximo de presas por las larvas de *Moenkhausia sanctaefilomenae* (5 semanas de edad) alimentadas con *B. calyciflorus*, *B. havanaensis*, *P. patulus* y *B. rubens*. GL = grados de libertad, SC = suma de cuadrados, MS = medio de suma de cuadrados, relación F (Fischer), *** = $p < 0,001$.

Fuente	GL	SC	MS	F-relación
Entre presas	3	52784.5	17594.8	837.8***
Error	16	336	21	

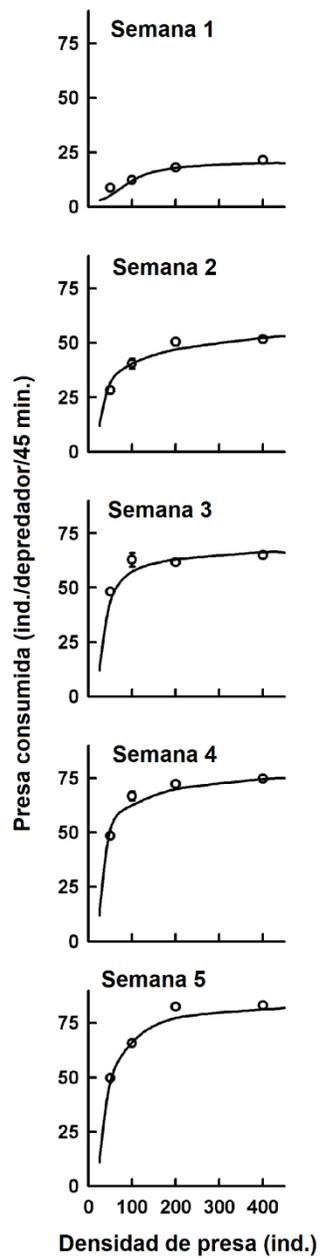


Figura 6. Relación entre la tasa de ingestión de presa *Brachionus calyciflorus* (media \pm error estándar, basada en 5 repeticiones) por larvas de *Moenkhausia sanctaefilomenae* y la densidad de rotíferos.

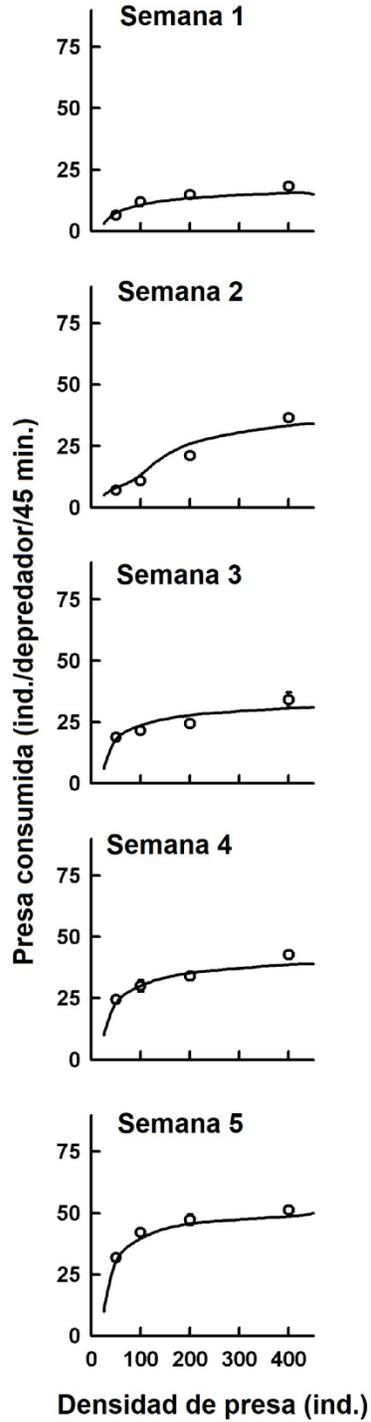


Figura 7. Relación entre la tasa de ingestión de presa *Brachionus havanaensis* (media \pm error estándar, basada en 5 repeticiones) por larvas de *Moenkhausia sanctaefilomenae* y la densidad de rotíferos.

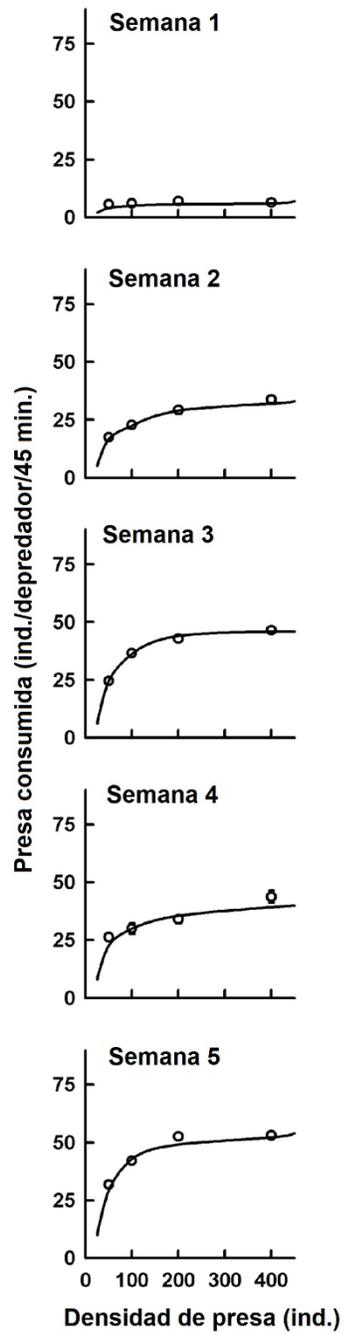


Figura 8. Relación entre la tasa de ingestión de presa *Platyonus patulus* (media \pm error estándar, basada en 5 repeticiones) por larvas de *Moenkhausia sanctaefilomenae* y la densidad de rotíferos.

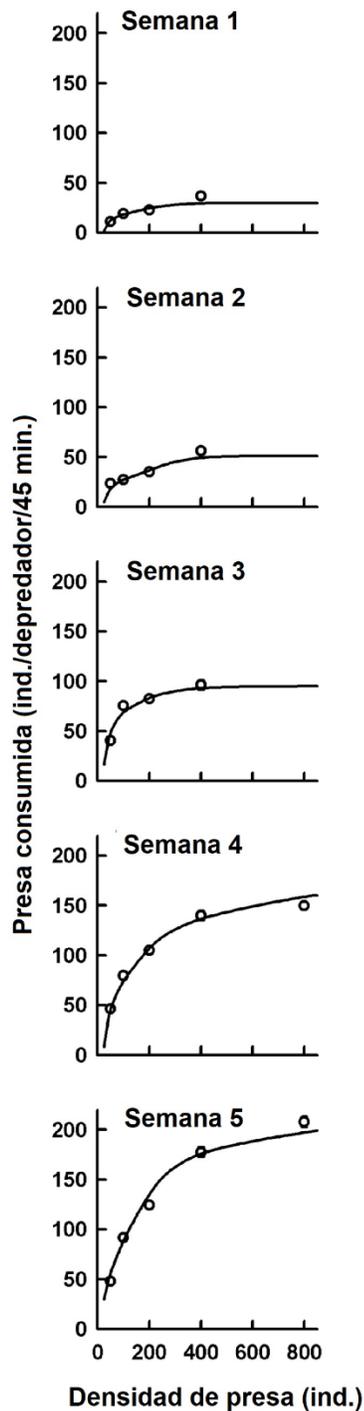


Figura 9. Relación entre la tasa de ingestión de presa *Brachionus rubens* (media \pm error estándar, basada en 5 repeticiones) por larvas de *Moenkhausia sanctaefilomenae* y la densidad de rotíferos.

La tendencia en la respuesta funcional fue ampliamente reflejada en las pruebas, de selectividad de presa en donde a pesar de las diferentes edades, *B. havanaensis* no fue seleccionado, pero en el caso de *B. rubens* y *B. calyciflorus* fueron

seleccionados positivamente a pesar de la edad por *M. sanctaefilomenae*. Por otro lado *P. patulus* no lo fue por tres semanas, pero más tarde fue positivamente seleccionado. (Fig. 10).

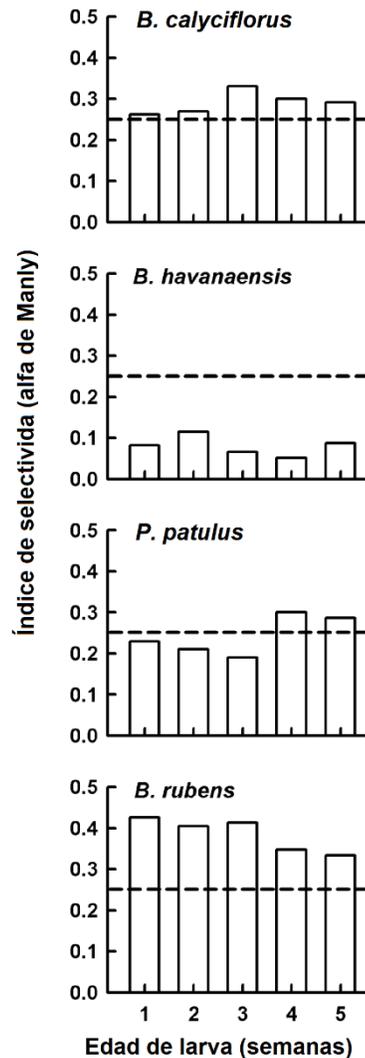


Figura 10. Selectividad de presa (*Brachionus*, *Platinius* y α de Manly) por *Moenkhausia sanctaefilomenae* en relación con la edad larvaria (semanas). Las barras de datos que se encuentran debajo de la línea horizontal indican ausencia de selectividad. Los valores representan la media \pm error estándar, basados en 5 repeticiones.

Considerando todas las presas ofrecidas se observó que *B. rubens* fue consumido en números más altos. Esto se basa en la biomasa y las abundancias numéricas.

Discusión

Las larvas de peces consumen zooplancton desde los primeros días después de la eclosión. En un estudio preliminar, observamos que *M. sanctaefilomenae* no consumía cladóceros posiblemente debido por un tamaño de boca limitado. Las especies de rotíferos en este trabajo tienen el contenido energético cercano a 20 J/mg/ind (peso seco) (Romero-Romero y Yúfera, 2012). El alimento y los hábitos alimenticios de estos peces ornamentales de la familia Characidae son sabidos en su mayor parte por estudios de contenido estomacal en adultos colectados en cuerpos de agua naturales por temporadas (Peretti y Fatima-Andrian, 2004). Aunque la variedad de presas disponibles para una larva dada de pez en cuerpos de agua naturales es mucho más alta que el proporcionado por los estudios del laboratorio, basado en los estudios de contenido del sistema digestivo es a menudo difícil de identificar la presa hasta el nivel de la especie, especialmente cuando la presa es de cuerpo suave, que es el caso de toda especie de rotífero y unos pocos cladóceros (por ejemplo, *Moina*) (Gerking, 1994). Por lo tanto, en este estudio, no sacrificamos a las larvas para el análisis del contenido del estómago. Dependiendo de la especie de pez, o rotífero o cladóceros o a veces ambos, son utilizados para alimentar larvas de pez (Domínguez-Domínguez et al., 2002). Por ejemplo, en un estudio de la preferencia de zooplancton por larvas de *Mollynesia* (*Poecilia sphenops*) y *Pterophyllum scalare* (pez ángel), Nandini y Sarma (2000) han observado que prefieren rotíferos, primeramente, mientras al final cladóceros. En este estudio también, se proporcionaron cladóceros (*Moina macrocopa* y *Ceriodaphnia dubia*) como presa para larvas de *M. sanctaefilomenae*, pero apenas fueron consumidas por larvas de edad. Por lo tanto, nosotros restringimos nuestro estudio sólo a la presa de rotífero. *Brachionus* es un género pantropical y coexiste con *Moenkhausia* (Arcifa et al., 1996; Lima & Toledo-Piza, 2001). Por lo tanto, el uso de *Brachionus* y *Platonus* en este estudio puede reflejar las interacciones naturales depredador-presa, aunque nosotros no hemos probado especies de rotíferos de la localidad tipo de *M. sanctaefilomenae*.

Las densidades de la presa de rotífero ofrecidas para la respuesta funcional o el estudio de la selectividad de presa se basaron en la información disponible en la literatura. Por ejemplo, Morales-Ventura et al. (2004) han utilizado densidades diferentes (25 a 800 individuos) de *Brachionus rotundiformis* y *B. rubens* para derivar las curvas de respuesta funcional del pez charal *Chirostoma riojai*. Ellos obtuvieron el pico máximo de consumo con acerca de 300 a 450 rotíferos por larvas de 6 semana de edad. Además, comparado a *B. rotundiformis*, la larva de charal consumió el número mucho más alto de *B. rubens*. En el estudio presente también, se observó que *B. rubens* fue consumido en números más alto que las otras especies. Con base en este y estudios previos, *B. rubens* es una especie presa útil en la acuicultura debido a su alta aceptabilidad por las larvas de peces y sus altas tasas de crecimiento en una variedad de dietas fácilmente disponibles (Schlüter y Groeneweg, 1981). De las 4 especies de presa utilizadas del presente trabajo, *B. havanaensis* y *P. patulus* tienen espinas dorsales más desarrolladas, mientras *B. rubens* y *B. calyciflorus* las tienen más pequeñas (cerca de 10 μm) (Koste, 1978). Aquí se muestra nuevamente que las larvas del pez se alimentan más eficientemente de presas sin espinas dorsales o muy pequeñas como *B. plicatilis*, *B. rubens* y *B. calyciflorus* (Zaret, 1980). *B. calyciflorus* puede desarrollar espinas posteriores y posterolaterales largas en la presencia de depredadores invertebrados tales como *Asplanchna* y copépodos cyclopoideos. Sin embargo, cuando están bajo condiciones de laboratorio, *B. calyciflorus* no desarrolla espinas grandes y fuertes, lo que es una ventaja adicional en el cultivo de este rotífero.

En general muchas especies de pez tienen una respuesta funcional de tipo 2, es decir, la tasa de consumo se incrementa al aumenta la disponibilidad de presas, pero disminuye esta tasa gradualmente hasta que, alcanzada una meseta, momento en que la tasa del consumo se queda constante a pesar de incremento en la densidad de presas disponibles (Morales-Ventura et al., 2004). La mayoría de las larvas de peces experimentan problemas en el manejo de las presas cuando están

en grandes cantidades en el medio, especialmente cuando las larvas son 1 o 2 dos semanas de edad. Conforme las larvas aumentan de edad la captura de las presas y sus habilidades mejoran, por lo que pueden consumir cantidades más grandes en densidades crecientes de presas y así la tasa de consumo alcanza un nivel más alto que en larvas más jóvenes (Rao, 2003). Esto fue también evidente en el presente estudio para todas las especies de presa. La densidad asintótica del consumo de presas de las larvas varió según a) el tamaño de la presa ofrecida y b) la edad de las larvas. Por ejemplo, cuando se utilizó *B. calyciflorus* como presa, la asíntota de consumo de presas varió de 23 ind. durante la primera semana y alrededor de 76 ind. cuando las larvas tenían 5 semanas de edad. De misma manera, cuando se utilizó *B. havanaensis* como presa, la asíntota de consumo de presas varió de 10 ind. durante la primera semana y alrededor de 25 ind. cuando las larvas tenían 5 semanas de edad. *Platyonus patulus* como presa, la asíntota de consumo por larva de pez varió de 5 ind. durante la primera semana y alrededor de 50 ind. cuando las larvas tenían 5 semanas de edad. Al emplear *B. rubens* la variación observada fue de 25 ind. a 200 ind. en el mismo intervalo de edad de larvas mencionado arriba. Según Lubzens (1987), cada larva de pez requiere entre 150 y 300 rotíferos por hora. En este trabajo los datos mostraron que para *M. sanctaefilomenae* las presas consumidas fueron a partir de 5 ind. por hora/larva hasta 150 ind., dependiendo de la especie de presa y la edad de las larvas.

La preferencia de la presa es la medida cuando todos los tipos de alimento están igualmente disponibles para un depredador en el medio (Greene, 1983). En este estudio, se ofrecieron todas las especies de presa en números iguales y por lo tanto fueron considerados igualmente disponibles para las larvas de *M. sanctaefilomenae*. Este trabajo cubrió cinco semanas por lo que es posible que puedan variar las preferencias de las tres edades. Las cuatro especies de *Brachionus* y *Platyonus* utilizadas aquí son adultos y tienen una talla corporal (espinas dorsales excluida) en un rango de 120-160 μm y su velocidad de natación es semejante (acerca de 1 mm/sec.) (Sarma, 1991). Por lo tanto, la selección activa por las larvas dependió de la morfología (es decir, la presencia o la ausencia de estructuras de defensa). Cuando analizamos la prueba de respuesta funcional en

las larvas de *M. sanctaefilomenae*, esta prefirió *B. rubens* y *B. calyciflorus*. *B. havanaensis* fue evitado mientras *P. patulus* fue preferido por grupos de larvas de más edad. Al comparar las pautas de la selectividad de presa, Nandini y Sarma (2000) ha observado que larvas de peces del género *Mollynesia* prefirieron *B. calyciflorus*. En este estudio no se midió el tamaño de boca en intervalos regulares. Sin embargo, tuvimos las medidas de boca de unas pocas larvas de edades diferentes (hasta 5 semanas de edad) que varió de 200 a 350 μm . Este confirmó nuestra observación preliminar en el sentido de que las larvas de *M. sanctaefilomenae* no consumieron estas presas. Sin embargo, el análisis de contenido estomacal de individuos colectados podría ampliar los componentes en la dieta de *M. sanctaefilomenae* durante sus etapas larvarias.

Conclusiones

La producción de larvas de peces ornamentales sufre mortalidad alta durante las primeras etapas debido principalmente a la ausencia del tipo y cantidad necesarios de alimento vivo (Gerking, 1994). La investigación actual muestra dos enfoques en la ecología alimentaria de los peces: selectividad de presas y respuesta funcional (Krebs, 1993). El primero da una idea de qué presas se consumen preferentemente; el segundo enfoque proporciona la densidad óptima que se requiere para un consumo máximo. Ambos métodos fueron utilizados en este trabajo.

El realizar este estudio permitió confirmar que aumento la sobrevivencia de larvas de esta especie en las primeras semanas, generó una mayor eficiencia en los métodos de producción. En las especies de ornato como es este el caso, se consigue la talla comercial en semanas, por lo que el intercambio económico es más dinámico con los beneficios que esto conlleva, a diferencia de una producción de especies para consumo humano, que implicaría meses o años para tal caso. Un individuo de una especie comercial de ornato basta con que llegue a juvenil o si esperamos un poco más, a adulto, cuya talla no va más allá de 5 cm y un peso de 20-30 gr. Un individuo de una especie comestible comercial tendría que medir aproximadamente 10 cm o más alcanzando un peso de 600 gramos en adelante. La reconversión de biomasa es en un lapso más corto, además el valor monetario es mucho mayor en un pez de ornato, aproximadamente 10 peces de ornato sería equivalente en costo monetario a un 1kg de una especie comercial de valor alimenticio. Naturalmente esto puede variar dependiendo de las especies a comparar. Otra ventaja es que se usan instalaciones mucho más pequeñas. Este estudio también cuantificó el consumo de rotíferos como presa a través de larvas de diferentes edades. Esto ayudará a la producción programada de zooplancton. La producción programada ayudará a minimizar el costo de producción.

Referencias

- Ali AJ, Sarma SSS, Murugan G y Dumont HJ 1996 Effect of zooplankton type and abundance on prey consumption by the fairy shrimp, *Streptocephalus proboscideus* (Anostraca: Crustacea). *Hydrobiologia* 319: 191-202
- Arcifa MS, Castilho MSM y Carmouze JP 1996 Composition and evolution of zooplankton in a Brazilian coastal lagoon during a period characterised by a fish kill. *Revue D'Hydrobiologie Tropicale* 27: 1996. 251-263.
- Beardsell A, Gravel D, Berteaux D, Gauthier G, Clermont J, Careau V, Lecomte N, Juhasz CC, Royer-Boutin P y Bêty J 2021 Derivation of predator functional responses using a mechanistic approach in a natural system. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8: 630944.
- Borowitzka MA y Borowitzka LJ 1988 *Micro-algal biotechnology*. Cambridge University Press, United Kingdom, 477.
- Boyd CE, D'Abramo LR, Glencross BD, Huyben DC, Juarez LM, Lockwood GS, McNevin AA, Tacon AGJ, Teletchea F, Tomasso JR, Tucker CS y W.C. Valenti WC 2020 Achieving sustainable aquaculture: historical and current perspectives and future needs and challenges. *J. World Aquacult. Soc.*, 51: 578-633
- Braga RR, Bornatowski H y Vitule JRS 2012 Feeding ecology of fishes: an overview of worldwide publications. *Rev Fish Biol Fisheries* 22: 915-929.
- Brooks JL y Dodson SI 1965 Predation, body size, and composition of plankton. *Science* 150: 28-35.
- Chaparro-Herrera D, Nandini S, Sarma SSS y Zambrano L 2011 Feeding behaviour of larval *Ambystoma mexicanum*. *Amphibia-Reptilia* 32: 509-517
- Chesson J 1978 Measuring preference in selective predation. *Ecology* 59 (2): 211–215.

- Confer JL y Moore MV 1987 Interpreting selectivity indices calculated from field data or conditions of prey replacement. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 44: 1529-1533.
- Dawidowicz P y Pijanowska J 1984 Population dynamics in cladoceran zooplankton in the presence and absence of fishes. *Journal of Plankton Research* 6: 953–959.
- Domínguez-Domínguez O, Nandini S y Sarma SSS 2002 Larval feeding behaviour of the endangered fish golden bubblebee goodeid, *Allotoca dugesi* (Bean) (Goodeidae) offered zooplankton: implications for conservation. *Fisheries Management and Ecology* 9: 285-291.
- Dumont HJ, Sarma SSS y Ali AJ 1995 Laboratory studies on the population dynamics of *Anuraeopsis fissa* (Rotifera) in relation to food density. *Freshwater Biol.* 33: 39-46.
- Escalera-Vázquez LH, Domínguez-Domínguez O, Molina-Domínguez E, Sarma SSS y Nandini S 2018 Determination of optimal prey for rearing tropical gar *Atractosteus tropicus* (Lepisosteiformes: Lepisosteidae). *Revista de Biología Tropical* 66(3): 1018-1033.
- Espinosa-Rodríguez CA, Sarma SSS, Nandini S y Wallace RL 2021 Substratum selection and feeding responses influence the demography of the sessile rotifer *Cupelopagis vorax* (Collothecacea: Atrochidae). *International Review of Hydrobiology* 106(1): 18-28.
- Esteves KE y Galetti PM Jr 1995 Food partitioning among some characids of a small Brazilian floodplain lake from the Parana River basin. *Environmental Biology of Fishes* 42: 375-389.
- Fernandes UL, Casas G, Lopes TM, Palheta L, Rodrigues L y Dunck B 2020 Eating at the edges: the feeding mode and the individual-resource networks of a characid fish in the periphyton. *Acta Limnologica Brasiliensia* 32: e303
- Gerking SD 1994 *Feeding ecology of fish*. Academic Press, London. 416 pp.

- Gilbert JJ 1980 Feeding in the rotifer *Asplanchna*: behavior, cannibalism, selectivity, prey defenses, and impact on rotifer communities. In: Evolution and ecology of zooplankton communities (WC Kerfoot, ed.). Univ. Press of New England. pp. 158-172.
- Gilbert JJ 2014 Morphological and behavioral responses of a rotifer to the predator *Asplanchna*. J. Plankton Res. 36: 1576-1584.
- Gliwicz ZM y Maszczyk P 2006 Low-density anti-predation refuge in *Daphnia* and *Chaoborus*? Arch Hydrobiol 167: 101-114
- Greene CH 1983 Selective predation in freshwater zooplankton communities. International Revue der gesamten Hydrobiologie 68: 297-315.
- Hagiwara A, Snell TW, Lubzens E y Tamaru CS (eds) 1997 Live Food in Marine Larviculture. Hydrobiologia vol. 358.
- Holling CS 1959 The components of predation as revealed by a study of small mammal predation of the European pine sawfly. Canad. Entomol. 91: 293-320.
- Hutchinson GE 1967 A treatise on limnology. 2. Introduction to lake biology and limnoplankton. John Wiley, New York.
- Ivlev VS 1961 Experimental ecology of the feeding of fishes. Yale Univ. Press, New Haven, 302 p.
- Jacobs J 1974 Quantitative measurement of food selection: a modification of the forage ratio and Ivlev's electivity index. Oecologia 14: 413-417.
- Juanes F 1994 What determines prey size selectivity in piscivorous fishes? In DJ Stouder, KL Fresh y RJ Feller (eds) Theory and application in fish feeding ecology. The Belle W. Baruch Library in Marine Science No. 18, University of South Carolina Press. USA. Pp. 79-100.
- Kerfoot WC y Sih A 1987 (editors). Predation: Direct and Indirect Impacts on Aquatic Communities. University Press of New England, 386 pp.

- Krebs CJ 1985 Ecology. The Experimental Analysis of Distribution and Abundance Harper & Row. 800 pages.
- Krebs JR 1993 Ecological Methodology. Harper Collins Publ., New York: 654 pp.
- Koste W 1978 Rotatoria. Die Radertiere Mittel-europas, 2nd ed. Gebruder Borntraeger, Berlin and Stuttgart. V. 1, text, 673 p.; V. 2, plates, 476 p.
- Lampert W y Sommer U 1997 Limnoecology. The ecology of lakes and streams. Oxford University Press, New York
- Lazzaro X 1987 A review of planktivorous fishes: Their evolution, feeding behavior, selectivities and impacts. Hydrobiologia 146: 97-167.
- Li Y, Rall BC y Kalinkat G 2018. Experimental duration and predator satiation levels systematically affect functional response parameters. Oikos 127: 590–598, 2018
- Lima FCT y Toledo-Piza M 2001 New species of *Moenkhausia* (Characiformes: Characidae) from the Rio Negro of Brazil. Copeia 2001(4): 1058-1063
- Lucas JS, Southgate PC y Tucker CS 2018 Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants. Wiley, New York
- Mogdans J 2019 Sensory ecology of the fish lateral-line system: Morphological and physiological adaptations for the perception of hydrodynamic stimuli. Journal of Fish Biology 95: 53-72.
- Morales-Ventura J, Nandini S y Sarma SSS 2004 Functional responses during the early larval stages of the charal fish *Chirostoma riojai* (Pisces: Atherinidae) fed zooplankton (rotifers and cladocerans). Journal of Applied Ichthyology 20: 417-421.
- Nandini S y Sarma SSS 2000 Zooplankton preference by two species of freshwater ornamental fish larvae. J. Appl. Ichthyol. 16: 273-275.
- Nogrady T, Wallace RL y Snell TW 1993 Rotifera. Volume 1 Biology, Ecology and Systematics. Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the

Continental Waters of the World (Dumont HJ, ed.). SPB Academic Publishers
bv, The Hague, The Netherlands. 142 pp

Pavón-Meza EL, Sarma SSS, Nandini S y Ramírez-Pérez T 2020 Prey selectivity,
functional response and population growth of *Asplanchna girodi* de Guerne
(Rotifera) fed four different brachionid prey. *Inland Waters* 10 (1): 118-127

Pawar S, Dell AI y Savage VM 2012 Dimensionality of consumer search space
drives trophic interaction strengths. *Nature* 486: 485–489

Peredo-Alvarez VM, Sarma SSS y Nandini S 2004 Studies on the functional
responses of the Mexican live bearer fish *Allotoca meeki* (Goodeidae:
Cyprinodontiformes). In: B. L. Kaul (ed.). *Advances in fish and wildlife ecology
and biology*. Vol. 3. ISBN 81-7035-327-0. Daya Publishing House, Tri Nagar,
Delhi, India: 27-40

Peretti D y Fatima-Andrian I 2004 Trophic structure of fish assemblages in five
permanent lagoons of the High Parana River floodplain, Brazil. *Environmental
Biology of Fishes* 71: 95-103.

Pourriot R y Snell TW 1983 Resting eggs in rotifers. *Hydrobiologia* 104: 213-224

Radhakrishnan DK, Akbar Ali I, Schmidt B, John EM, Sivanpillai S y Vasunambesan
ST 2020 Improvement of nutritional quality of live feed for aquaculture: An
overview. *Aquaculture Research*, 51: 1-17

Rao TR 2003 Ecological and ethological perspectives in larval fish feeding. *Journal
of Applied Aquaculture* 13: 145-178.

Romero-Romero S y Yúfera M 2012 Contribution of gut content to the nutritional
value of *Brachionus plicatilis* used as prey in larviculture. *Aquaculture* 364–
365: 124-129.

Rosenthal H y Hempel, G. 1970. Experimental studies in feeding and food
requirements of herring larvae (*Clupea harengus* L.). In: *Marine food chains*.
Ed. by J. H. Steele. Oliver & Boyd, Edinburgh, 344-364.

Sarma SSS 1991 Rotifers and aquaculture (Review). *Environ. Ecol.* 9: 414-428

- Sarma SSS 1993 Feeding responses of *Asplanchna brightwelli* (Rotifera): laboratory and field studies. *Hydrobiologia* 255/256: 275-282
- Sarma SSS, Dumont HJ y Nandini S 2004 Interactions between the anomopod cladocerans *Ceriodaphnia dubia*, *C. cornuta*, *Simocephalus vetulus* and *S. serrulatus*, and the worm *Aeolosoma* sp.: neither predation nor competition, or both? *Hydrobiologia* 526: 147-156
- Sarma SSS y Nandini S 2007 Small prey size offers immunity to predation: a case study on two species of *Asplanchna* and three brachionid prey (Rotifera). *Hydrobiologia* 593: 67-76
- Sarma SSS, Fuentes-Barradas AE, Nandini S y Chaparro-Herrera DJ 2017 Feeding behaviour of larval *Ambystoma granulorum* (Amphibia: Caudata). *Journal of Environmental Biology* 38 (6): 1241-1248
- Sarma SSS, López-Rómulo JA y Nandini S 2003 Larval feeding behaviour of blind fish *Astyanax fasciatus* (Characidae), black tetra *Gymnocorymbus ternetzi* (Characidae) and angel fish *Pterophyllum scalare* (Cichlidae) fed zooplankton. *Hydrobiologia* 510: 207-216.
- Schlüter M y Groeneweg J 1981 Mass production of freshwater rotifers on liquid wastes: I. The influence of some environmental factors on population growth of *Brachionus rubens* Ehrenberg 1838. *Aquaculture* 25: 17-24.
- Valencia-Vargas MA, Nandini S y Sarma SSS 2020 Demographic characteristics of two freshwater cyclopoid copepods in Mexico, fed a plankton diet: the native *Mesocyclops longisetus* Thiébaud and the invasive *Mesocyclops pehpeinsis* Hu. *Inland Waters* 10 (1): 128-136.
- Wallace RL y Snell TW 1991 Rotifera. Chapter 8. Pages 187–248, in *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates* (J Thorp & A Covich, eds.). Academic Press. New York
- Weber CI 1993 *Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms*. 4th ed. United States

Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, EPA/600/4-90/027F, xv + 293 pp.

Winkler H y Orellana C 1990 Functional responses of five cyprinid species to planktonic prey. *Environ. Biol. Fish.* 33: 53 – 62.

Zaret TM 1980 *Predation and freshwater communities*. Yale University Press, New Haven, USA, 187 pp.