



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

“ESTIMACIÓN DE LA TASA DE DIGESTIÓN EN *Xiphophorus helleri* (Poeciliidae) BAJO CONDICIONES DE ALIMENTACIÓN EN LABORATORIO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

EUNICE RAMÍREZ ZALDÍVAR

M. EN C. ADOLFO CRUZ GÓMEZ
DIRECTOR

BIOL. ASELA RODRÍGUEZ VARELA
CODIRECTORA



LOS REYES IZTACALA, TLALNEPANTLA 2003



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.

DEDICATORIAS

A DIOS

*"Cuando veo tus cielos, obra de tus dedos,
la luna y las estrellas que tú formaste,
Digo: ¿Qué es el hombre,
para que tengas de él memoria,
y el hijo del hombre, para que lo visites?"*

*Le hiciste señorear sobre las obras de tus manos;
todo lo pusiste debajo de sus pies:
Las aves de los cielos y los peces del mar;
todo cuanto pasa por los senderos del mar.*

*¡Oh! Jehová, Señor nuestro,
Cuán grande es tu nombre en toda la tierra!*

Salmo 8 : 3-9.

*Tu guardarás en completa paz a aquel cuyo pensamiento en ti persevera;
Porque en ti ha confiado.*

Isaías 26 : 3

*Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes,
Porque Jehová tu Dios estará contigo en donde quiera que vayas.*

Josué 1 : 9

A MIS PADRES

Juan Ramírez y Rosalinda Zaldívar por ser los mejores papás del mundo, por su amor, su cuidado y por el apoyo que me han dado en todo momento, aún hasta el día de hoy.

A MIS HERMANOS

Suriel y Arelly, por ser tan buena onda conmigo, por su apoyo en las prácticas de campo, en los trabajos escolares y en la vida diaria.

A MIS FAMILIARES

A mi Abuelita Elvira, tíos y primos, por sus palabras de aliento y apoyo durante la carrera y en mi vida.

A MIS AMIGOS

En especial a mi amiga Carina por su amistad y confianza y por estar siempre pendiente de esta tesis.

A mis amigos de la carrera que me han ayudado en los trabajos escolares, en las prácticas de campo, en las reuniones, por su confianza y a todos aquellos con los que he compartido momentos especiales: Mencar, Betza, Namy, Anita, Luis, Torvic, Ivanol, Bomber, Ray, Alex, Jaque, Casandra, Fernando, Ratman.

A mis amigos del Laboratorio de Ecología de Peces con quienes compartí el gusto por los peces, la visita al acuario de Veracruz, las convivencias dentro y fuera del laboratorio: Anel, Lulis, Lalo, Elisa. También a los nuevos chicos del laboratorio que conocí últimamente.

A mis amigos y hermanos de la PIB y de AWAÑA por el amor y amistad que nos une; ellos saben quienes son.

Y a todos los demás amigos y compañeros que conocí durante la carrera y a lo largo de mi vida, por su amistad y porque sin saberlo, han sido parte importante en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios por todo lo que tengo en la vida y por permitirme lograr este sueño.

Agradezco a mis padres por su sostén y ayuda para terminar esta carrera y en especial la tesis que hoy presento, también por todos los proyectos en los que me han apoyado.

Agradezco a los maestros que tuve a lo largo de estos años, por impartirme sus conocimientos y enseñanzas.

Agradezco de manera especial a mi director de tesis el M. en C. Adolfo Cruz Gómez y a mi codirectora Biol. Asela Rodríguez Varela, por dirigirme y apoyarme en la tesis, por su amistad, por las convivencias dentro del laboratorio y por sus valiosas aportaciones para enriquecer este trabajo.

A mis sinodales M. en C. Jonathan Franco, M. en C. Rafael Chávez y M. en C. Alba Márquez, por sus sugerencias y tiempo para revisar este proyecto, muchas gracias.

Y por último quiero agradecer a la UNAM, FES Iztacala, "la máxima casa de estudios", por permitirme ser parte de la generación de biólogos que México necesita.



El presente trabajo se realizó en el laboratorio de Ecología de Peces de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, a cargo del M. en C. Adolfo Cruz Gómez y la Biol. Asela Rodríguez Varela, institución a la que le agradezco su colaboración y apoyo.



ÍNDICE

| | | |
|--|-------------|----|
| Resumen | IZT. | 1 |
| Introducción | | 2 |
| Antecedentes | | 5 |
| Objetivos | | 10 |
| General | | |
| Particulares | | |
| Material y métodos | | 11 |
| Resultados | | |
| Descripción del Sistema digestivo de <i>X. helleri</i> | | 17 |
| Fase experimental | | 21 |
| Discusión | | 35 |
| Conclusiones | | 44 |
| Literatura citada | | 46 |
| Anexos | | 50 |

RESUMEN

Existen pocos estudios respecto a la fisiología de la alimentación de peces dulceacuícolas y de ornato, por tal motivo se llevó a cabo el presente trabajo con la finalidad de estimar la tasa de consumo del alimento, la tasa de evacuación gástrica, la tasa de digestión y una descripción anatómica del sistema digestivo del pez cola de espada *Xiphophorus helleri* en laboratorio. Los ejemplares registraron una longitud promedio de 3.25 cm y un peso promedio de 1.04 g, los cuales se colocaron en peceras de 10 litros. Se mantuvieron en ayuno por un día, se les proporcionó como alimento *Artemia franciscana* a las 8:00 horas y posteriormente se sacrificaron tres peces en intervalos de tres horas hasta completar cuatro ciclos de 12 horas y dos ciclos de 24 horas. Para el manejo de los datos se establecieron tres bloques con diferentes temperaturas, tallas y pesos. Se aplicó el modelo de alimentación continua de Elliot y Persson de 1978 para obtener la tasa de consumo y evacuación gástrica. Los resultados determinaron que estos organismos presentan un sistema digestivo con características propias de peces omnívoros. La tasa de consumo promedio en el ciclo de 12 horas fue de $C = 0.0584$ g y la tasa de evacuación gástrica promedio fue de $K = 0.363$ h⁻¹. Esto es 6.48% del peso corporal del pez, por lo que la ración diaria para estos peces fue del 6 al 7% de su peso corporal durante este ciclo. La tasa de consumo promedio para el ciclo de 24 horas fue de $C = 0.0437$ g y la tasa de evacuación gástrica promedio fue de $K = 0.618$ h⁻¹, lo que resultó en 3.28% de su peso corporal. Se observó que la temperatura y la talla del pez son variables que influyeron en la tasa de digestión y evacuación, debido a que un aumento de temperatura aceleró los procesos antes mencionados y peces grandes disminuyeron el consumo a diferencia de peces pequeños en donde fue más alto.

INTRODUCCIÓN

La importancia de la alimentación de los peces proviene de la necesidad de aprovechar de forma óptima, por parte del hombre, los recursos piscícolas y desde un punto de vista ecológico interesa como mecanismo indicador de las interacciones de las comunidades ictiológicas en el medio acuático. Por ello, interesa analizar cuantitativamente sus dietas, lo que ha suscitado el desarrollo de muchos métodos de evaluación de regímenes alimentarios (García de Jalón *et al.*, 1993).

La digestión en peces es el proceso que consiste en el rompimiento por enzimas de los materiales ingeridos (comida), y en muchos casos, por secreciones ácidas en el intestino, reduciéndolos a moléculas pequeñas apropiadas para la absorción, este proceso se inicia en el estómago y posiblemente termina en el recto (Moyle y Cech, 1982).

En la digestión del alimento, la anatomía del canal digestivo muestra diferencias importantes según se trate de peces con o sin estómago. En los peces herbívoros y carnívoros no voraces, no hay ni estómago diferenciado ni ciegos pilóricos, estos peces engullen el alimento hasta llenar todo el intestino; la digestión se produce en un punto determinado del intestino provocando la excreción de todos los alimentos que se encuentran detrás, aunque no se hayan digerido, con lo que se pierde rendimiento en la digestión. En los peces carnívoros, la digestión se inicia en el estómago y finaliza en el intestino. Los alimentos pasan al intestino solo cuando la digestión está avanzada, por lo que todo el alimento suministrado se digiere (Steffens, 1987).

La tasa de digestión (tiempo en el cual el alimento pasa al estómago), está relacionada con la producción piscícola en términos de tasa diaria o denominada frecuentemente como ración alimenticia. Se puede hallar en la literatura una división entre alimento diario y ración alimenticia diaria, la cual se define como el alimento diario expresado en tanto por ciento del peso corporal del pez (Prejs y Colomine, 1981).

Autores como Elliot y Persson y Pandian (citados en García de Jalón *et al.*, 1993), mencionan que la tasa de digestión provee información sobre el comportamiento alimentario y que sus valores se usan para determinar relaciones entre pautas de comportamiento: apetito, actividad alimentaria, cantidad de alimento ingerido, capacidad del estómago, ración máxima de alimento y eficiencia de conversión del alimento.

Para un manejo apropiado de poblaciones piscícolas es necesario estimar la tasa de consumo del alimento ya que nos permite conocer entre otras cosas la eficiencia de conversión del alimento a tejido muscular y la relación entre la densidad y estructura por edades de la población respecto a la disponibilidad del alimento. Uno de los factores que afectan mayormente al crecimiento es la tasa diaria de consumo de alimento, la cual es relacionada con la cantidad de alimento comido, número de comidas por día y tasa de evacuación del alimento (Prejs y Colomine, 1981; García de Jalón *et al.*, 1993).

La estimación de la tasa de consumo se puede obtener a partir de la tasa de digestión y de las observaciones diarias de los contenidos estomacales, y del alimento comido valorado cuantitativa y cualitativamente (Jobling, 1981). Además, como un primer cálculo para estimar dicha tasa, se debe de obtener la tasa de evacuación gástrica, expresada como el paso de la materia orgánica evacuada del estómago por unidad de tiempo (Smith, 1989; Nelson *et al.*, 1995; Andersen, 2001).

Estudios sobre evacuación gástrica son necesarios para la cuantificación de raciones diarias de peces, las cuales permiten, en combinación con la información obtenida del contenido estomacal, la construcción de redes alimenticias acuáticas (Bromley, 1988; Nelson *et al.*, 1995; Temming *et al.*, 2002).

Por su parte, tanto Windell (1978) como Prejs y Colomine (1981) mencionan que para estimar las tasas de consumo del alimento de las poblaciones piscícolas se aplican tanto métodos directos como indirectos, usados en condiciones naturales, de laboratorio y en criaderos; entre estos se mencionan el método del balance de

nitrógeno, método del presupuesto energético, la ecuación balanceada de Winberg, los radioisótopos y el método de la progresión del alimento. El consumo de alimento por las poblaciones piscícolas conduce finalmente a considerar la eficiencia con la que ese alimento es utilizado para el mantenimiento, crecimiento y reproducción.

El mantenimiento de peces para la explotación, investigación y experimentación requiere de todo un sistema de cultivo para que los animales se mantengan antes, durante y entre las pruebas experimentales. Una parte fundamental en el mantenimiento de los peces es la alimentación, por lo cual es necesario conocer el tipo de alimento, preferencias de alimento y hábitos alimentarios, para suministrarles dietas balanceadas y adecuadas que ayudan a minimizar el estrés para que no se alteren y no presenten comportamientos anormales además de mantener en buenas condiciones a los organismos para la investigación y comercialización (Stickney y Kohler, 1990).

Una de las especies que bien se puede prestar para realizar estudios de fisiología de la alimentación en laboratorio es el pez cola de espada *Xiphophorus helleri*, debido a que se conoce poco sobre la fisiología de esta especie, además de su fácil obtención y manejo tanto en la naturaleza como en el laboratorio. Aunado también a su potencial económico en la acuariofilia como peces ornamentales (Fabre, 1986), es importante y necesario hacer aportaciones de este tipo para obtener datos de las tasas de consumo, de digestión del alimento y tasas de evacuación gástrica para un mejor manejo de su alimentación, crecimiento, reproducción y finalmente producción y/o explotación.

ANTECEDENTES

Se han realizado muchos estudios sobre el mantenimiento, reproducción, alimentación, espectros tróficos y preferencias de dietas en peces. De dichas investigaciones se puede consultar su referencia en Castañeda y Contreras (1994). De la problemática de conservación y recuperación de peces nativos se están llevando a cabo varios trabajos actualmente; pero de estudios sobre descripciones de sistemas digestivos de peces, fisiología de la alimentación y en especial sobre tasas de consumo, digestión y evacuación del alimento existen muy pocos trabajos a la fecha.

Respecto a los trabajos sobre descripción de sistemas digestivos en peces tenemos a:

Kobelkowsky (1995) llevó a cabo un estudio sobre el sistema digestivo y estructuras anexas del bagre del balsas *Ictalurus balsanus* (Pisces: Ictaluridae), con el cual pretende proporcionar información anatómica que fundamente el estudio de su alimentación.

Kobelkowsky y Castillo-Rivera (1998) realizaron un estudio sobre el sistema digestivo y alimentación del lenguado *Citharichthys spilopterus*, el cual tenía como objetivo la descripción anatómica de su sistema digestivo y el análisis de su dieta.

Kobelkowsky (2002) hizo la descripción del sistema digestivo de la raya *Urotrygon chilensis*. Encontró que la organización general del tracto digestivo y las glándulas accesorias obedecen al patrón anatómico de los rajiformes. Observó que el hecho más marcado de esta especie es que la dentición bucal presenta dimorfismo sexual, ya que en las hembras los dientes son aplanados y en los machos son puntiagudos.

En cuanto a trabajos sobre tasas de digestión, consumo y evacuación gástrica en distintas especies de peces se mencionan los siguientes:

Jobling (1981) revisó la literatura relacionada con la evacuación gástrica en peces, reanalizó los datos y los adecuó a los modelos matemáticos de evacuación gástrica. El modelo dependiente del volumen de vaciado se sugiere como el más apropiado y los datos para la mayoría de las especies son descritos adecuadamente por una ecuación de la forma $dV / dT = -cV^{0.5}$.

Bromley (1988) realizó un estudio de la digestión gástrica y la evacuación en merluzas (*Merlangius merlangus*); observó que en cada experimento, la proporción del pez con los estómagos vacíos tendía a incrementarse con el tiempo. Esto tendió a producir una relación curvada entre el contenido estomacal principal y el tiempo, los cuales dan la impresión de que las tasas de evacuación lentas bajan en los niveles inferiores del llenado del estómago. El promedio de la tasa de evacuación gástrica en merluzas de 268 g, a 10 °C, fue 0.31 g h⁻¹.

Báez (1991) determinó la tasa óptima de alimentación en crías de trucha arco iris (*Salmo gairdneri*) en el centro acuícola de Matzinga, Veracruz. Separó a sus organismos en dos lotes y les proporcionó diferente porcentaje de alimento "Purina" (5.4%, 6.5% y 7.8%). Obtuvo diferentes tasas de alimentación pero la menor que fue de 5.4% para una densidad de 8000 org. / 0.27 m³ es la que recomienda, para evitar el desperdicio y economizar los gastos de producción.

Chiappa (1993) llevó a cabo el análisis sobre la edad, el crecimiento, la dieta, las tasas de digestión y las preferencias tróficas de la anchoveta hawaiana *Encrasicholina purpurea* (Pisces: Engraulidae), en el cual en parte se estudió la alimentación y los hábitos alimentarios de la especie a largo de todas las etapas de su desarrollo. La ración diaria del alimento requerido por las larvas se encuentra en un intervalo de 14% a 27% del peso seco del pez. La ración diaria de los adultos se encuentra en el intervalo de 9% a 12% del peso seco del pez. Los períodos de alimentación más intensa, así como los valores más bajos del índice del factor de condición, ocurren durante la primavera y verano, época en que se llevan a cabo los desoves masivos.

Nelson y Ross (1995) realizaron un estudio en el que consideraron los efectos del tipo de presa y la preparación de la presa en fórmulas matemáticas y las tasas describiendo la evacuación gástrica en la raya pequeña *Raja erinacea*. Los modelos que mejor describieron la evacuación gástrica de todas las presas fueron el modelo lineal y la raíz cuadrada. Las presas fueron krill, almejas y poliquetos. Los resultados sugieren que una ecuación individual no describe el proceso de evacuación para todas las presas, y que todas las presas deberían ser usadas si las tasa de evacuación gástrica obtenidas en laboratorio reflejan lo que puede ocurrir en peces silvestres.

Pääkkönen y Marjomäki (1997) estimaron las tasas de evacuación gástrica del pez *Lota lota* alimentados con *Coregonus albula*, los cuales fueron mantenidos a diferentes temperaturas (1.3, 2.6, 4.8, 9.4 y 12.6 °C). Los resultados que obtuvieron sugirieron que las tasas de evacuación gástrica a bajas temperaturas son menores que la de otras especies de peces dulceacuícolas y que la temperatura y la ración del peso de la comida según el peso corporal del pez, fueron los factores más importantes que afectaron la tasa de evacuación gástrica.

Andersen (1998) experimentó la evacuación gástrica en la merluza *Merlangius merlangus* alimentada con comida de diferentes tallas, camarón café, arenque, anguila de arena fueron las presas. Comparó y evaluó un modelo de potencia simple para describir la evacuación gástrica con un modelo de potencia expandido como una función de la talla del alimento. Observó que comparado con un modelo expandido, un modelo simple con valor de potencia de 0.5 da una descripción apropiada de la evacuación gástrica de las presas de peces independientemente de la talla.

Richardson y Nickol (1998) estudiaron la evacuación gástrica y el movimiento de los materiales a través del canal alimentario del pez luna verde *Lepomis cyanellus*. La movilidad gastrointestinal fue investigada para determinar si el saco pilórico provee una región de resguardo o de separación de nutrientes. La evacuación gástrica ocurrió 24-32 horas postalimentación. Aproximadamente 25% del contenido estomacal fueron evacuados en cuatro horas y 50% en 12 h. La tasa de evacuación fue más alta en dos y cuatro horas

postalimentación que en tiempos posteriores. El tiempo requerido para completar la anulación de la comida del canal alimentario fue de 41 a más de 61 h a 21 °C.

Henson y Newman (1999) investigaron el efecto de la temperatura en la tasa de evacuación gástrica y el crecimiento en ración del pez ruffe *Gymnocephalus cernuus* el cual es una especie introducida. La evacuación gástrica fue estimada en 8, 14, 19 y 23 °C usando grupos de 16-48 peces alimentados con larvas de quironómidos. La tasa de evacuación gástrica (R) fue relacionada con la temperatura (t) por la función exponencial $R = 0.024 \times e^{0.075 \times T}$; $r_2 = 0.90$. Sus resultados sugirieron que el ruffe comparado con la perca, está mejor adaptado a temperaturas más frías y que su metabolismo es menos sensible a la temperatura.

Medina *et al.* (1999) estudiaron la evacuación gástrica en el jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) del norte de Chile. En donde determinaron en forma experimental el coeficiente instantáneo de evacuación gástrica del pez a estudiar. Los datos obtenidos se ajustaron a diversos modelos matemáticos, siendo el de Gompertz el que mejor se ajustó, dando un valor del coeficiente instantáneo de evacuación gástrica de 0.087 h.

Hartman (2000) estudió la variabilidad en las estimaciones de ración diaria del róbalo rayado *Morone saxatilis* de edad 0 en la bahía de Chesapeake. Uso el modelo de Eggers. Experimentos de la tasa de evacuación gástrica de róbalos rayados en cautiverio a 17 °C demuestran que el contenido estomacal fue evacuado en una tasa de $e^{-0.12 h}$, donde h es el tiempo en horas desde la alimentación. Las estimaciones del modelo bioenergético de consumo alrededor de este periodo fueron de un promedio de $0.0559 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. Lo cual sugiere que requiere más de dos estimaciones de ración diaria (2.4) alrededor de este periodo para estimar el consumo con el 25% de los parámetros y 95% de confianza.

Temming y Herrmann (2001) llevaron a cabo la evacuación gástrica en el pez caballa *Trachurus trachurus*. Un diseño experimental de una matriz casi llena respecto a las variables del peso del depredador

(<10-400 g) tamaño de la comida (arriba de 7.8% del peso corporal) y la temperatura (10-20 °C) fueron cubiertas con 0-grupos del eperlano *Osmerus eperlanus* como presa. El modelo más adecuado fue conseguido con datos de peso seco aplicando la técnica de transformación de la raíz cuadrada. Adicionales experimentos para determinar la ración máxima de comida diaria indicaron que el apetito en contraste con la evacuación gástrica es fuertemente dependiente de la temperatura.

Temming *et al.* (2002) hicieron experimentos de evacuación gástrica en peces caballa del Atlántico *Scomber scombrus* con tres diferentes especies de presas. Sus resultados revelaron que existe un fuerte efecto de la temperatura en la evacuación gástrica ($Q_{10}= 4.1$) y una evacuación curvilínea con una forma intermedia entre la raíz cuadrada y el modelo exponencial. Reportaron que de las tres presas utilizadas, la tasa de evacuación del krill fue 60% más alta que las otras.

Con base en lo anterior, se observa que el conocimiento sobre la fisiología de la alimentación en especies dulceacuícolas, de ornato y más aún para *Xiphophorus helleri* es escaso, a pesar de que muchas especies dulceacuícolas son de importancia económica, debido a lo cual la importancia de este trabajo.

OBJETIVO GENERAL

- Estimar la tasa de digestión del alimento en *Xiphophorus helleri* bajo condiciones de laboratorio.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Breve descripción del sistema digestivo de *Xiphophorus helleri*.
- Estimar la tasa de evacuación gástrica en *Xiphophorus helleri*.
- Estimar la tasa de consumo del alimento en *Xiphophorus helleri*.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los ejemplares de *Xiphophorus helleri* se obtuvieron de acuarios comerciales, el intervalo de las tallas fue de tres a cinco centímetros de longitud patrón.

Los peces se mantuvieron en cuarentena dentro del laboratorio en peceras rectangulares, de vidrio con capacidad de 40 litros a una temperatura de 22 °C, con la finalidad de que se encontraran sanos y libres de parásitos antes de la experimentación, y así evitar interferencias durante dicha fase.

Para la descripción anatómica del sistema digestivo, se transparentaron y tiñeron peces con base en la técnica de Snyder (1989), con el fin de realizar esquemas de las estructuras que lo componen, observar cómo y por donde se da el paso del alimento, así como la relación del sistema digestivo con el tipo de alimentación del pez. Para lo cual se utilizó un microscopio estereoscópico marca Zeiss, modelo 475022.

FASE EXPERIMENTAL

TASA DE SACIEDAD. La tasa de saciedad se obtuvo al mantener en ayuno por 24 horas a peces con talla promedio de 3.5 cm de longitud estándar y peso promedio de 1.5 g. A los cuales se les proporcionó el alimento y se contabilizó el número de artemias que comieron en cierto tiempo. Estos peces no fueron sacrificados.

Para el ciclo de 12 horas se utilizaron cinco peceras rectangulares de vidrio con tapa, con capacidad de 10 litros, equipadas cada una con calentadores de cinco watts, aireación a saturación por medio de bombas de aire y un volumen total de agua de siete litros. Se agregó acondicionador para agua y se dejaron por 24 horas para su estabilización, antes de introducir a los organismos.

Antes de someter los peces a la fase experimental de 12 horas, se mantuvieron en ayuno por un día con el propósito de que tanto su estómago como intestino se encontrara libre de restos de alimento y no sobreestimaran los datos.

Una vez estabilizadas las peceras, se colocaron tres peces por pecera, se alimentaron con *Artemia franciscana* la cual se les dio a las 8:00 horas. Se les proporcionaron aproximadamente 150 artemias a cada pecera, considerando que son peces que se alimentan constantemente. Al cabo de una hora se sacrificaron tres peces para obtener su consumo promedio inicial, posteriormente cada tres horas se sacrificaron tres peces hasta cubrir el ciclo de 12 horas y un total de 15 peces. Se registró la temperatura con un termómetro de cubeta marca Brannan. Esta fase se realizó cuatro veces, considerando diferentes tallas y condiciones ambientales (Fig. 1 y 2).

Para el ciclo de 24 horas, se siguió el mismo procedimiento pero la cantidad de peces fue mayor y se utilizaron nueve peceras. Este último ciclo se repitió dos veces considerando temperaturas y tallas de los peces diferentes (Fig. 3).

Para el manejo de los datos se consideraron las tallas y pesos de los peces y la temperatura del agua, quedando los datos en los siguientes bloques: En el bloque I (Fig. 1) se consideró una temperatura de 23 °C, con tallas y pesos semejantes en un periodo de 12 horas. En el bloque II (Fig. 2) se consideró una temperatura de 19 y 19.6 °C, con tallas y pesos diferentes en un periodo de 12 horas. En el bloque III (Fig. 3) se consideraron temperaturas diferentes, 23 y 26 °C respectivamente, con tallas y pesos diferentes en un ciclo de 24 horas.

Al término de cada ciclo se sacrificaron los organismos y fueron inyectados con formol al 4% por el ano y fijados en la misma sustancia para evitar que el proceso digestivo continuara o que los organismos regurgitaran el alimento.

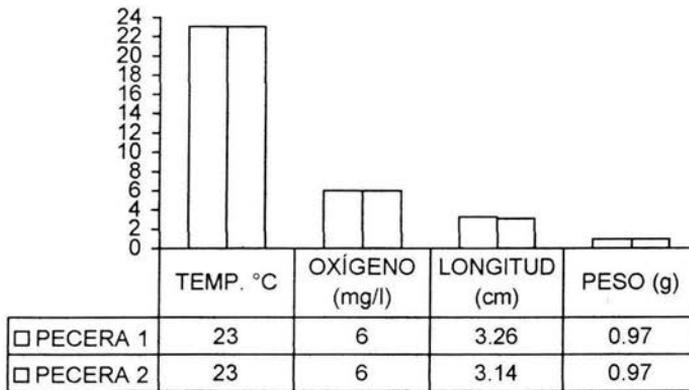


Fig. 1. Muestra las condiciones de las peceras 1 y 2 del bloque I, en donde se observan temperaturas iguales con pesos y tallas semejantes.

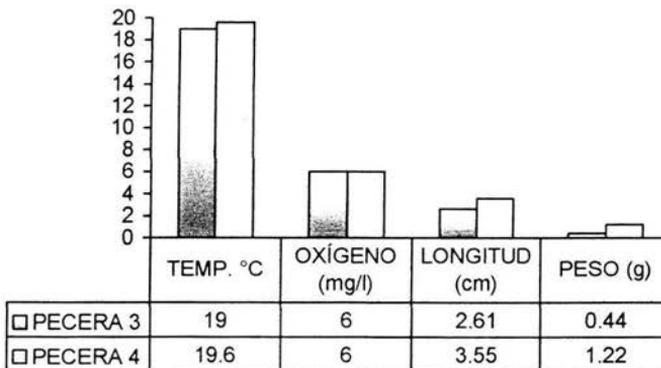


Fig. 2. Muestra los parámetros considerados en las peceras 3 y 4 del bloque II; se observan temperaturas similares con pesos y tallas diferentes.

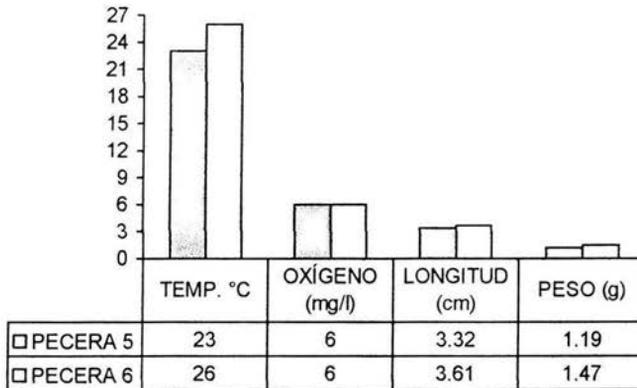


Fig. 3. Muestra las condiciones de los organismos de las peceras 5 y 6 del bloque III; se observan temperaturas diferentes con tallas y pesos diferentes.

Después del sacrificio, los peces se midieron con un vernier marca Scala y se pesaron con una balanza semianalítica Ohaus, Scout 200 g con precisión de 0.01 g. Se les hizo una disección de la parte del ano hacia la boca y del ano hacia la línea lateral del pez para observar el aparato digestivo. Posteriormente se sacó el estómago e intestino y se abrió para observar bajo el microscopio estereoscópico, el grado de digestión de la artemia y en que parte del mismo se encontraba; después se sacó el contenido estomacal, se colocó en papel filtro marca Whatman de 11.0 cm para eliminar el exceso de agua y posteriormente se pesó en una balanza semianalítica Acculab, Pocket Pro c/50TM con capacidad de 10 g y precisión de 0.002 g.

Para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas, al peso del contenido estomacal se le aplicó la prueba de t'student para muestras con varianzas iguales, ya que previamente se les aplicó a los datos una prueba de F para determinar homogeneidad o no entre los datos (varianzas iguales o diferentes). El análisis estadístico fue obtenido con el software Excel 2000.

TASA DE DIGESTIÓN. El grado de digestión de las artemias se determinó de manera cualitativa y bajo observaciones en microscopio.

La escala que se manejó fue modificada de la escala propuesta por Prejs y Colomine (1981) y adaptada a las condiciones del experimento:

- I : Poco digerido (parcialmente digerido) - se observaban las artemias casi completas con algunas estructuras rotas pero conservando la forma.
- II : Medio digerido – las artemias se presentaban mordidas y las estructuras no bien diferenciadas.
- III : Bastante digerido – ya no se distinguía la forma de las artemias, solo se observaban restos de estructuras y tejidos.

El tiempo de digestión y de tránsito de las artemias através del tracto digestivo se obtuvo al hacer observaciones del contenido estomacal a diferente tiempos (cada tres horas) según los ciclos de 12 y 24 horas.

ESTIMACIÓN DE LAS TASAS DE EVACUACIÓN Y CONSUMO

Con el peso inicial y final del contenido del estómago e intestino se estimaron la tasas de consumo y evacuación según el modelo de alimentación continua para peces omnívoros propuesto por Elliot & Persson en 1978, el cual considera que la tasa de evacuación gástrica es exponencial y la de alimentación es constante; dicho modelo es una modificación del modelo original propuesto por Bajkov en 1935 (Adams y Breck, 1990).

TASA DE EVACUACIÓN GÁSTRICA. El primer cálculo que se realizó para estimar el consumo del alimento es la tasa de evacuación gástrica, la cual se consideró como una tasa de evacuación exponencial.

El coeficiente (K) de la tasa de evacuación exponencial se calculó como:

$$K = (1/t) \log_e (S_0/ S_t)$$

Donde:

t: tiempo en horas entre un intervalo y otro.

TASA DE CONSUMO. Posterior a la tasa de evacuación gástrica, se estimó la tasa de consumo. Para dicha estimación se tomó en cuenta la k obtenida anteriormente. También se obtuvo el consumo total que es la suma de las tasas de consumo de cada uno de los intervalos, en cada pecera. Esto debido a que la ración diaria es calculada al sumar los valores de los intervalos para C_t ; porque las tasas de consumo obtenidas según la fórmula, solo se dan entre dos puntos y no entre todas las horas de la fase experimental.

$$C_t = \frac{(S_t - S_0 e^{-kt}) K t}{1 - e^{-kt}}$$

Donde:

C : tasa de consumo de alimento en t horas.

S_0 y S_t : cantidad de alimento al principio y al final del intervalo.

K : tasa instantánea de evacuación gástrica.

Finalmente se realizaron gráficos para observar la relación entre el peso del contenido estomacal y el tiempo, para determinar el llenado y vaciado del estómago; así como comparaciones entre el metabolismo (tasa de consumo y evacuación) y la temperatura de las diferentes experimentaciones, para analizar el comportamiento de consumo de los peces.

RESULTADOS

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DIGESTIVO DE *Xiphophorus helleri*

El pez *Xiphophorus helleri* es un organismo que se considera omnívoro por la mayoría de los autores de libros de acuarios y piscicultores. Las características de este tipo de peces omnívoros es que tienen boca chica o mediana, intestino de tamaño intermedio, dientes trituradores, y branquiespinas largas que cumplen funciones tanto de sujeción y de filtración.

La descripción de su sistema digestivo iniciando por la cavidad bucal y continuando con las demás estructuras que lo componen es la siguiente:

Cavidad bucal:

Labios- no son labios verdaderos, aunque los bordes que delimitan la boca son un poco carnosos.

Dientes- presentan dientes maxilares y mandibulares; de tipo incisivos, cónicos, cetiformes y laminares.

Arcos branquiales- presenta tres arcos branquiales, con branquiespinas cortas y cónicas; y filobranquias finas, largadas y numerosas en cada arco branquial.

El pez cola de espada, *Xiphophorus helleri*, presenta una **boca** dorsal de acuerdo a su posición, porque se abre hacia arriba sobre el eje de su cuerpo (Fig. 4); según su alimentación presenta una *boca planctófaga*, ya que es una boca mediana respecto a su cuerpo e inmóvil, con dientes pequeños y branquiespinas largas que sirven como filtro.

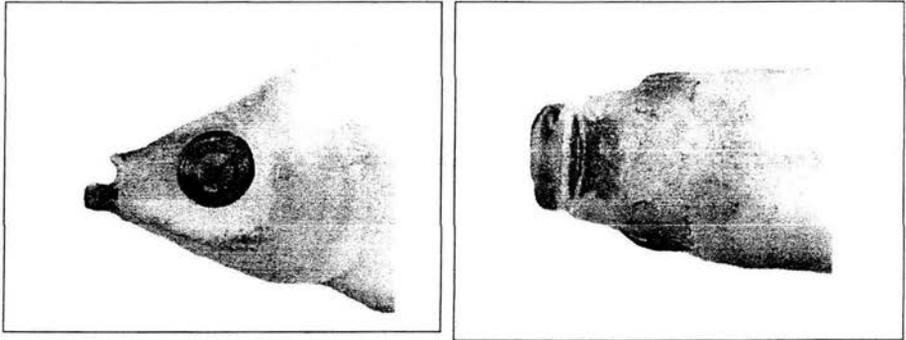


Fig. 4. Boca de *X. helleri* en posición dorsal
(Imágenes tomadas en el Lab. Ecología de Peces, FES Iztacala)

La **dentición bucal** consiste de 15 a 17 dientes grandes, incisivos y laminares en cada uno de los lados de la mandíbula superior o maxila (Fig. 5a), acompañados de numerosos dientes laminares y algo cónicos, de menor tamaño, que son los dientes cetiformes. En la mandíbula inferior (Fig. 5b) se presentan también en cada lado, de 15 a 17 dientes grandes, incisivos y laminares, acompañados de numerosos dientes cónicos (curvados), duros (no laminares) y pequeños, que son los dientes cetiformes. No se presentan dientes vomerinos ni linguales.

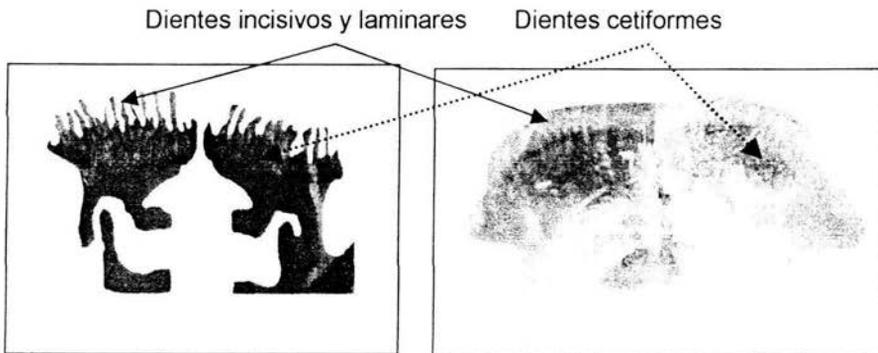


Fig. 5 a. Mandíbula superior.

Fig. 5 b. Mandíbula inferior.

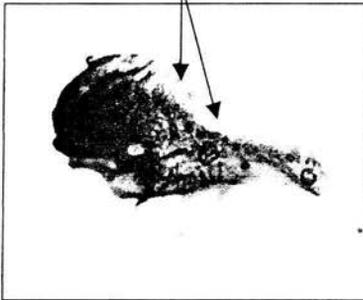
(Imágenes tomadas en el Lab. Ecología de Peces, FES Iztacala)

La **faringe** es la continuación de la cavidad bucal y no se diferencian mucho una de otra, por lo que se suele llamar cavidad buco-faríngea.

En los **huesos faríngeos** se presenta dentición para raspar (grasping), ordenada en cuatro hileras de dientes pequeños y curvados. En las orillas o bordes de estos huesos, se presentan dientes laminares grandes (Fig. 6 a, b).

IZT.

Dientes laminares grandes



Dientes pequeños y curvados

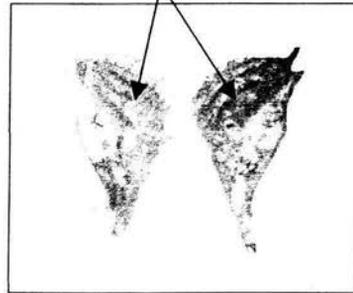


Fig. 6 a. Hueso faríngeo en posición horizontal, mostrando los tipos de dientes. (Imágenes tomadas en el Lab. Ecología de Peces, FES Iztacala)

Fig. 6 b. Dos huesos faríngeos en posición vertical.

El **esófago** es un tubo corto respecto a su cuerpo y un poco ancho con relación al mismo.

A ambos lados del esófago se localizan tres y medio **arcos branquiales**, en cada arco se encuentran de 15 a 16 rastrillos branquiales o **branquiespinas** cortas, en forma de dientes cónicos (Fig.7). También se observan **filobranquias** largas, delgadas y numerosas, en los tres arcos branquiales (Fig. 8).

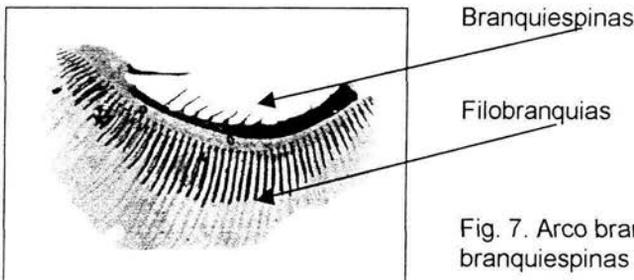


Fig. 7. Arco branquial mostrando las branquiespinas y filobranquias.



Arcos branquiales

Fig. 8. Tres y medio arcos branquiales; se observan las filobranquias.

(Imágenes tomadas en el Lab. Ecología de Peces, FES Iztacala).

Inmediatamente después del esófago se encuentra el **estómago** (Fig. 9). Cuando el estómago está lleno de comida se observa como una pequeña bolsa (saco) distendida seguida de un tubo largo y delgado que es el **intestino** (Fig. 10), el cual es aproximadamente el doble del tamaño del pez. No se encuentran **ciegos pilóricos**. En este pez el intestino se encuentra enrollado totalmente alrededor del estómago.



Fig. 9. Estómago de *X. helleri* en forma de bolsa.

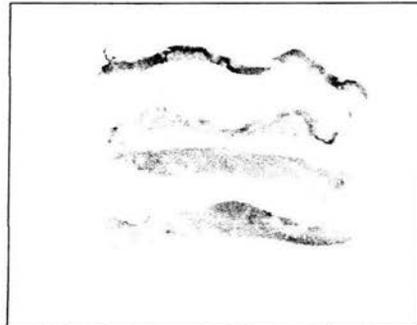


Fig. 10. Tubo digestivo completo, intestino largo y delgado.

Al final del tubo digestivo se encuentra el **ano**; su posición es en la parte ventral del cuerpo, entre las aletas pélvicas y la aleta anal.

Las características anatómicas antes descritas del pez cola de espada, si concuerdan con las descripciones que se encuentran en la literatura científica (*i.e.* Lagler *et al.*, 1977; Steffens, 1987), sobre la anatomía de sistemas digestivos de peces omnívoros, por lo cual, es correcto que este pez sea considerado según esa clasificación.

FASE EXPERIMENTAL

Los ejemplares de *Xiphophorus helleri* utilizados en este trabajo registraron una longitud patrón con un intervalo de 2.61 a 3.61 cm (\bar{x} = 3.25 cm) y un peso de 0.44 a 1.47 g (\bar{x} = 1.04 g). El promedio de la concentración de oxígeno fue de 6 mg/ l en cada experimentación (Tabla I). La mayoría de los organismos utilizados en este trabajo fueron hembras (79.84 %) y el resto fueron machos (20.16 %), (n= 124).

Los factores que se consideraron para establecer los bloques experimentales ya se mencionaron en la metodología, pero se pueden observar en la Tabla I.

Tabla I. Muestra el promedio de los parámetros considerados en cada una de las peceras.

| PROMEDIOS | BLOQUE I | | BOQUE II | | BLOQUE III | |
|------------------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|
| | Pecera 1 | Pecera 2 | Pecera 3 | Pecera 4 | Pecera 5 | Pecera 6 |
| TEMPERATURA ° C | 23 | 23 | 19 | 19.6 | 23 | 26 |
| OXÍGENO (mg / l) | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| PESO (g) | 0.97 | 0.97 | 0.44 | 1.22 | 1.19 | 1.47 |
| LONGITUD (cm) | 3.26 | 3.14 | 2.61 | 3.55 | 3.32 | 3.61 |

La **tasa de saciedad** en los peces con talla promedio de 3.5 cm de longitud y 1.5 g de peso promedio fue de 30 artemias por pez / 2 h., lo que equivalió al 12% de su peso corporal (30 artemias pesan 0.180 g aproximadamente).

TASA DE EVACUACIÓN GÁSTRICA

La tasa de evacuación gástrica promedio para el ciclo de 12 horas fue de $K = 0.363 \text{ h}^{-1}$ y para el ciclo de 24 horas fue de $K = 0.618 \text{ h}^{-1}$, (Tabla II).

Tabla II. Muestra el promedio de los parámetros considerados para los ciclos de 12 y 24 horas, con su respectiva tasa de evacuación gástrica.

| CICLO DE 12 HORAS | | | | |
|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------|
| \bar{x} TEMP. °C | \bar{x} [O ₂] (mg/l) | \bar{x} PESO (g) | \bar{x} LONGITUD (cm) | TASA DE EVACUACIÓN GÁSTRICA |
| 21.15 °C | 6 ppm | 0.90 g | 3.15 cm | $K = 0.363 \text{ h}^{-1}$ |
| CICLO DE 24 HORAS | | | | |
| \bar{x} TEMP. °C | \bar{x} [O ₂] (ppm) | \bar{x} PESO (g) | \bar{x} LONGITUD (cm) | TASA DE EVACUACIÓN GÁSTRICA |
| 24.5 °C | 6 ppm | 1.33 g | 3.47 cm | $K = 0.618 \text{ h}^{-1}$ |

De cada uno de los bloques experimentales se estimó la tasa de evacuación y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

BLOQUE I

Peces con peso promedio de 0.97 g y 3.26 cm de longitud, sometidos a 23 °C, 6 mg/l de oxígeno disuelto, durante un ciclo de 12 horas (pecera 1), presentaron una hora después de ser alimentados una disminución constante en el peso de contenido estomacal hasta 7 horas después, donde el peso del contenido estomacal se volvió a incrementar, esto indicó que los peces se alimentaron por lo menos 2 veces durante 12 horas de experimentación, aunque no la misma cantidad (Fig. 11).

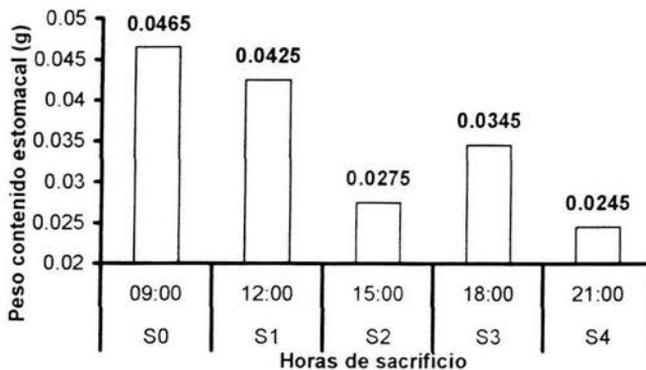


Fig. 11. Muestra el peso en gramos del contenido estomacal de los peces, a diferentes horas de sacrificio (pecera 1).

Con base en ello, la tasa de evacuación tomando en cuenta los puntos S_3/S_4 , fue de $K = 0.114 \text{ h}^{-1}$ (Tabla III).

Peces de pesos iguales sometidos a las mismas condiciones en factores ambientales con tamaños diferentes (pecera 2) su alimentación iniciada desde las 8:00 am no fue interrumpida hasta las 12:00 hrs. aproximadamente, después de este tiempo disminuyó constantemente el peso del contenido estomacal hasta el término de la experimentación que fue de 12 horas (Fig. 12).

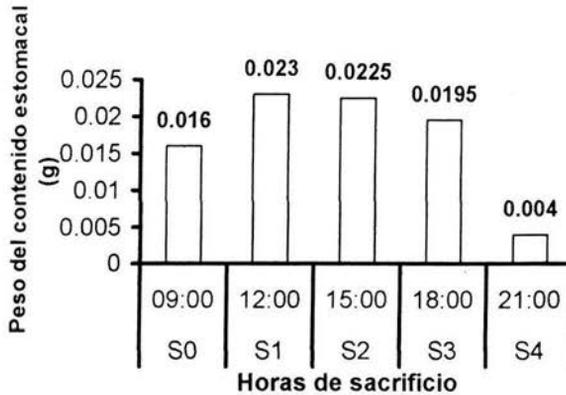


Fig. 12. Muestra el peso en gramos del contenido estomacal de los peces, a las diferentes horas de sacrificio (pecera 2).

La tasa de evacuación tomando en cuenta los puntos S_3/S_4 fue de $K = 0.528 \text{ h}^{-1}$ (Tabla III).

Tabla III. Comparación entre las tasas de evacuación gástrica obtenidas en las peceras 1 y 2, a las mismas condiciones ambientales y con tallas y pesos semejantes.

| PECERA | TASA DE EVACUACIÓN GÁSTRICA (K) |
|--------|---|
| 1 | $K = 0.114 \text{ h}^{-1}$ (S_3/S_4) |
| 2 | $K = 0.528 \text{ h}^{-1}$ (S_3/S_4) |

Al aplicar la prueba de t'student (anexo III-A) se determinó que existieron diferencias significativas entre lo pesos de los contenidos estomacales cuantificados de los organismos de las peceras 1 y 2 ($p < 0.05$) y por ende, ambas peceras con iguales condiciones de temperatura, oxígeno disuelto y peso pero longitudes diferentes, presentaron diferencias entre los procesos de alimentación, tiempo de consumo del alimento y en las tasas de evacuación gástrica; esto indicó que la talla del pez fue un factor que modificó los factores antes señalados.

BLOQUE II

Los peces sometidos a 19 °C, con talla promedio de 2.61 cm y peso promedio de 0.44 g, durante un periodo de 12 horas de experimentación (pecera 3), presentaron una alimentación constante desde las 8:00 am, tiempo en que se les proporcionó el alimento hasta las 12:00 pm; con el tiempo disminuyó el contenido estomacal y después de las 3:00 pm disminuyó drásticamente manteniéndose así hasta el término de la experimentación (Fig. 13).

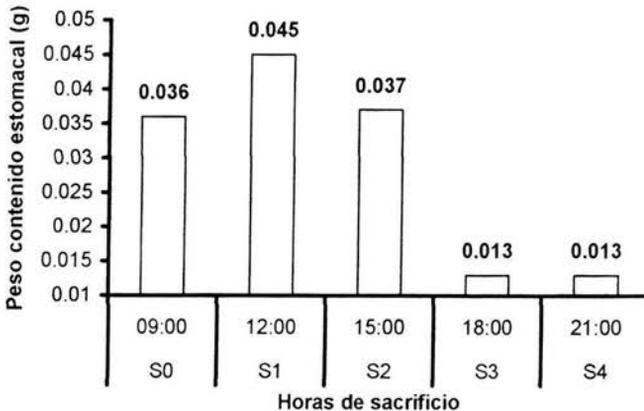


Fig. 13. Muestra el peso en gramos del contenido estomacal de los peces, sacrificados a diferentes horas (pecera 3).

Para la tasa de evacuación gástrica se tomaron en cuenta los puntos S_2/S_3 con una $K = 0.349 \text{ h}^{-1}$ (Tabla IV).

Para los peces de la pecera 4, sometidos a $19.6 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura, con pesos y tallas mayores a los de la pecera 3, el comportamiento de la alimentación fue distinto al anterior; éstos peces consumieron en la primera hora postalimentación, después de este tiempo empezó a disminuir el contenido estomacal y de las 12 a las 15 horas se observó un drástico decremento en el contenido estomacal, continuó así hasta las 18 horas; después se volvió a incrementar dicho contenido, lo que supone que consumieron nuevamente alimento, aunque muy poca cantidad (Fig. 14).

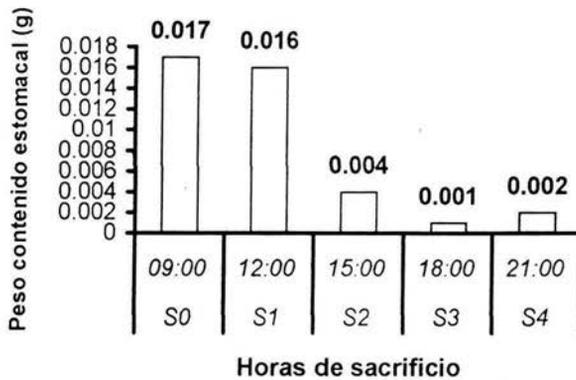


Fig. 14. Muestra los resultados del peso en gramos del contenido estomacal de los peces, sacrificados a diferentes horas (pecera 4).

Según lo anterior, se obtuvo la tasa de evacuación gástrica considerando los puntos S_1/S_2 , obteniendo así una $K = 0.462 \text{ h}^{-1}$ (Tabla IV).

Tabla IV. Tasas de evacuación gástrica obtenidas de las peceras 3 y 4.

| PECERA | TASA DE EVACUACIÓN GÁSTRICA (K) |
|--------|---|
| 3 | $K = 0.349 \text{ h}^{-1}$ (S_2/S_3) |
| 4 | $K = 0.462 \text{ h}^{-1}$ (S_1/S_2) |

Cabe destacar que en este caso, peces sometidos a condiciones ambientales similares, pero tallas y pesos diferentes, presentaron diferencias en las tasas de evacuación gástrica. Al aplicar la prueba de t'student (anexo III-B) se determinó que existieron diferencias significativas entre los pesos de los contenidos estomacales de los organismos de las peceras 3 y 4 ($p < 0.05$) y por ende, ambas peceras con las características antes mencionadas, presentaron diferentes procesos de alimentación, tiempos de consumo del alimento y tasas de evacuación. Lo cual indicó que tanto la talla como el peso de los organismos fueron factores que modificaron las variables antes mencionadas.

BLOQUE III

En los peces del ciclo de 24 horas el comportamiento de consumo fue diferente a lo observado anteriormente. Los organismos sometidos a 23 °C, con peso y longitud de 1.19 g y 3.32 cm respectivamente, consumieron artemias hasta saciarse en la primera hora de alimentación, después de ese tiempo se observó un decremento drástico entre las 9 y 12 horas del día. Se observó un incremento constante en el contenido estomacal de las 12 a las 18 horas; a partir de las 18 horas empezó a disminuir nuevamente el contenido estomacal, vaciándose completamente el tracto digestivo a las 6 horas del día siguiente, tiempo a partir del cual se observó un incremento considerable hasta las 9 horas. Dado lo anterior se dice que estos peces consumieron alimento tres veces en 25 horas, aunque de diferente magnitud el consumo de la tarde-noche (Fig. 15).

La tasa de evacuación considerando los puntos S_4/S_5 , fue de $K = 0.468 \text{ h}^{-1}$ (Tabla V).

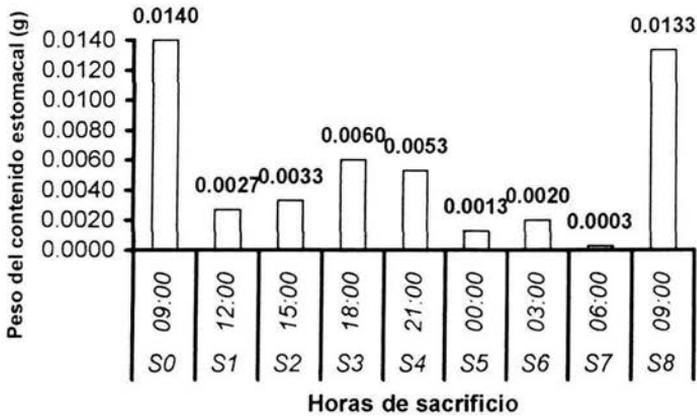


Fig. 15. Muestra los resultados del peso del contenido estomacal en gramos, obtenidos de los peces sacrificados (pecera 5).

Los organismos sometidos a 26 °C, con peso y talla de 1.47 g y 3.61 cm respectivamente, en un ciclo de 24 horas (pecera 6), consumieron el alimento hasta saciarse en la primera hora postalimentación (8 horas), después de las 9 horas se observó un decremento fuerte en el contenido estomacal, a las 15 horas se incrementó un poco el contenido estomacal y después de ese tiempo continuó disminuyendo paulatinamente hasta vaciarse totalmente el tubo digestivo a las 0 horas (12 am); se registró un leve incremento del contenido estomacal de las 3 a las 6 am del día siguiente y después de esta hora se observó la última disminución del contenido estomacal, a las 9 horas. Igual que en el caso anterior, los peces consumieron alimento tres veces en 25 horas, pero dicho consumo fue en cantidades diferentes (Fig. 16).

En esta pecera se obtuvo una tasa de evacuación gástrica de $K = 0.767 \text{ h}^{-1}$, tomando en cuenta los puntos S₄/S₅ (Tabla V).

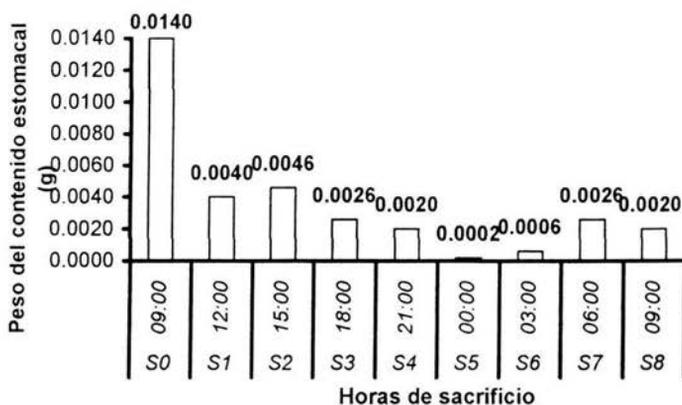


Fig. 16. Muestra los resultados del peso en gramos del contenido estomacal de los peces, sacrificados a diferentes horas (pecera 6).

Tabla V. Comparación entre las tasas de consumo obtenidas en el bloque III.

| PECERA | TASA DE EVACUACIÓN GÁSTRICA (K) |
|--------|---|
| 5 | $K = 0.468 \text{ h}^{-1}$ (S_4/S_5) |
| 6 | $K = 0.767 \text{ h}^{-1}$ (S_4/S_5) |

Al aplicar la prueba de t'student (anexo III-C) se determinó que no existieron diferencias significativas entre los pesos de los contenidos estomacales cuantificados entre las peceras 5 y 6 ($p > 0.05$) y por ende, ambas peceras con distintas condiciones de temperatura, así como tallas y pesos diferentes, no presentaron diferencias entre los procesos de alimentación y tiempos de consumo del alimento.

Cabe destacar que estadísticamente no se determinaron diferencias, pero evidentemente al considerar distintas temperaturas, tallas y pesos, las tasas de evacuación tenían que resultar diferentes, lo cual es de esperarse por lo cambios en la temperatura.

TASA DE CONSUMO

La tasa de consumo promedio para el ciclo de 12 horas fue de $C_T = 0.0584$ g y para el ciclo de 24 horas fue de $C_T = 0.0437$ g (Tabla VI).

Tabla VI. Muestra el promedio de los parámetros considerados para los ciclos de 12 y 24 horas, con su respectiva tasa de consumo promedio.

| CICLO DE 12 HORAS | | | | |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------|
| \bar{x} TEMP. °C | \bar{x} [O2] (mg/ l) | \bar{x} PESO (g) | \bar{x} LONGITUD (cm) | TASA DE CONSUMO |
| 21.15 °C | 6 ppm | 0.90 g | 3.15 cm | $C = 0.0584$ g |
| CICLO DE 24 HORAS | | | | |
| \bar{x} TEMP. °C | \bar{x} [O2] (ppm) | \bar{x} PESO (g) | \bar{x} LONGITUD (cm) | TASA DE CONSUMO |
| 24.5 °C | 6 ppm | 1.33 g | 3.47 cm | $C = 0.0437$ g |

BLOQUE I

La tasa de consumo obtenida en la pecera 1 (Tabla I), considerando los puntos S_3 - S_2 (Fig. 11) fue de $C_{3h} = 0.0177$ g y el consumo total fue $C_T = 0.0044$ g (Tabla VII).

Tabla VII. Muestra la tasa de consumo obtenida entre dos puntos según el modelo de Elliot & Persson, la tasa de evacuación y el consumo total de la pecera 1.

| Tasa de consumo | Tasa de evacuación | Consumo total |
|--|---|------------------|
| $C_{3h} = 0.0177$ g (S_3 - S_2) | $K = 0.1140$ h ⁻¹ (S_3 / S_4) | $C_T = 0.0044$ g |

Los organismos de la pecera 2 (Tabla I) obtuvieron una tasa de consumo de $C_{3h} = 0.0393$ g, considerando los puntos S_1 - S_0 (Fig. 12) y el consumo total fue de $C_T = 0.1044$ g (Tabla VIII).

Tabla VIII. Muestra la tasa de consumo obtenida según el modelo de Elliot & Persson, la tasa de evacuación y el consumo total de la pecera 2.

| Tasa de consumo | Tasa de evacuación | Consumo total |
|--|---|--------------------------|
| $C_{3h} = 0.0393 \text{ g}$ (S_1-S_0) | $K = 0.528 \text{ h}^{-1}$ (S_3/S_4) | $C_T = 0.1044 \text{ g}$ |

BLOQUE II

En los peces de la pecera 3 (Tabla I) al considerar los puntos S_1-S_0 (Fig. 13), la tasa de consumo fue de $C_{3h} = 0.0522 \text{ g}$ y el consumo total fue $C_T = 0.1001 \text{ g}$ (Tabla IX).

Tabla IX Muestra la tasa de consumo obtenida entre dos puntos, la tasa de evacuación y el consumo total de la pecera 3.

| Tasa de consumo | Tasa de evacuación | Consumo total |
|--|---|--------------------------|
| $C_{3h} = 0.0522 \text{ g}$ (S_1-S_0) | $K = 0.349 \text{ h}^{-1}$ (S_2/S_3) | $C_T = 0.1001 \text{ g}$ |

En el caso de los organismos de la pecera 4 (Tabla I), se obtuvo la tasa de consumo tomando en cuenta los puntos S_4-S_3 (Fig.14) y fue de $C_{3h} = 0.0032 \text{ g}$, con un consumo total de $C_T = 0.0250 \text{ g}$ (Tabla X).

Tabla X. Muestra la tasa de consumo obtenida entre dos puntos, la tasa de evacuación y el consumo total de la pecera 4.

| Tasa de consumo | Tasa de evacuación | Consumo total |
|--|---|--------------------------|
| $C_{3h} = 0.0032 \text{ g}$ (S_4-S_3) | $K = 0.462 \text{ h}^{-1}$ (S_1/S_2) | $C_T = 0.0250 \text{ g}$ |

BLOQUE III

La tasa de consumo de los peces de la pecera 5 (Tabla I) fue $C_{3h} = 0.0097$ g, considerando los puntos S_3-S_2 (Fig. 15), el consumo total fue $C_T = 0.0476$ g (Tabla XI).

Tabla XI. Muestra la tasa de consumo entre dos puntos, la tasa de evacuación y el consumo total de la pecera 5.

| Tasa consumo | Tasa evacuación | Consumo total |
|--------------------------------------|--|------------------|
| $C_{3h} = 0.0097$ g (S_3-S_2) | $K = 0.468$ h ⁻¹ (S_4/S_5) | $C_T = 0.0476$ g |

En la pecera 6 (Tabla I), los peces al considerar los puntos S_2-S_1 (Fig.16) obtuvieron una tasa de consumo de $C_{3h} = 0.0107$ g y un consumo total de $C_T = 0.0399$ g (Tabla XII).

Tabla XII. Muestra la tasa de consumo entre dos puntos, la tasa de evacuación y el consumo total de la pecera 6.

| Tasa de consumo | Tasa de evacuación | Consumo total |
|--------------------------------------|--|------------------|
| $C_{3h} = 0.0107$ g (S_2-S_1) | $K = 0.767$ h ⁻¹ (S_4/S_5) | $C_T = 0.0399$ g |

Como las tasas de consumo son obtenidas a partir de los pesos del contenido estomacal cuantificado, se determinó que en los bloques I y II, como existieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los pesos, por ende las tasas de consumo fueron muy diferentes entre sí; en cambio, en el bloque III no existieron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los pesos del contenido estomacal y por lo tanto las tasas de consumo fueron muy similares (anexo III).

TASA DE DIGESTIÓN

La tasa de digestión comprende el grado de digestión, tiempos de digestión y tránsito del alimento através del tubo digestivo. Respecto a estos rubros se observó lo siguiente:

GRADO DE DIGESTIÓN

En las diferentes regiones del tubo digestivo se presentaron los distintos grados de digestión, es decir, hasta las 7 horas postalimentación predominó en el estómago e intestino niveles de digestión I y II que correspondieron a alimento poco y medio digerido, después de ese tiempo solo se presentó el nivel III de digestión o bastante digerido al final del intestino y en la región del ano. Estos eventos se presentaron en peces sometidos a temperaturas de 19 y 23 °C. En los peces sometidos a 26 °C el proceso fue diferente, ya que la temperatura aceleró el proceso digestivo, hasta las 4 horas postalimentación se presentaron en el estómago el nivel I (poco digerido) y en el intestino niveles II y III (medio y bastante digerido respectivamente).

TIEMPO DE DIGESTIÓN

Es el tiempo en horas que tardan los peces en digerir las artemias. Esta relacionado directamente con el grado de digestión del alimento, como se puede observar, los tiempo de digestión fueron desde una hasta seis o más horas, dependiendo de la temperatura y de la cantidad de artemias que consumieron los peces.

TIEMPO DE TRÁNSITO

El tiempo de tránsito de las artemias a través del tubo digestivo de *X. helleri* se observa en las siguientes gráficas.

El tiempo de tránsito del alimento a una temperatura promedio de 19 °C fue poco mayor de 13 horas aproximadamente (Fig. 17).

El tiempo de tránsito del alimento a una temperatura promedio de 23 °C fue de 12 horas aproximadamente (Fig. 18).

El tiempo de tránsito del alimento a una temperatura promedio de 26 °C fue poco mayor de 9 horas aproximadamente (Fig. 19).

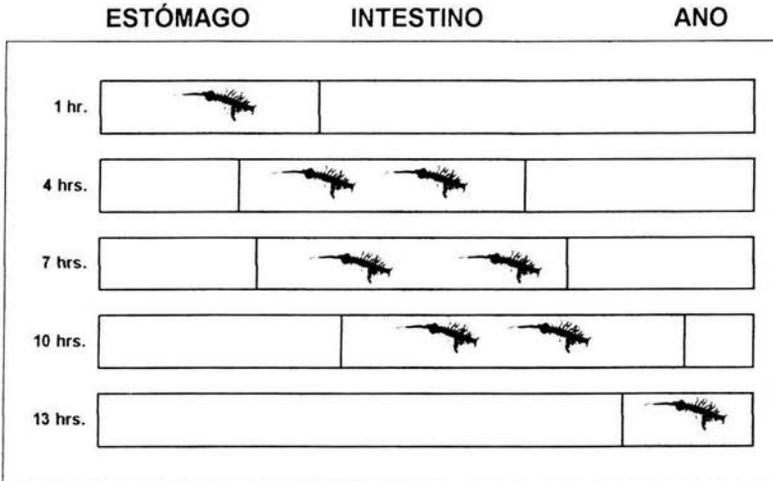


Fig. 17. Muestra la ruta y el tiempo de tránsito que siguieron las artemias en el tracto digestivo del pez a 19 °C.
(La imagen no muestra el grado de digestión de la artemia).

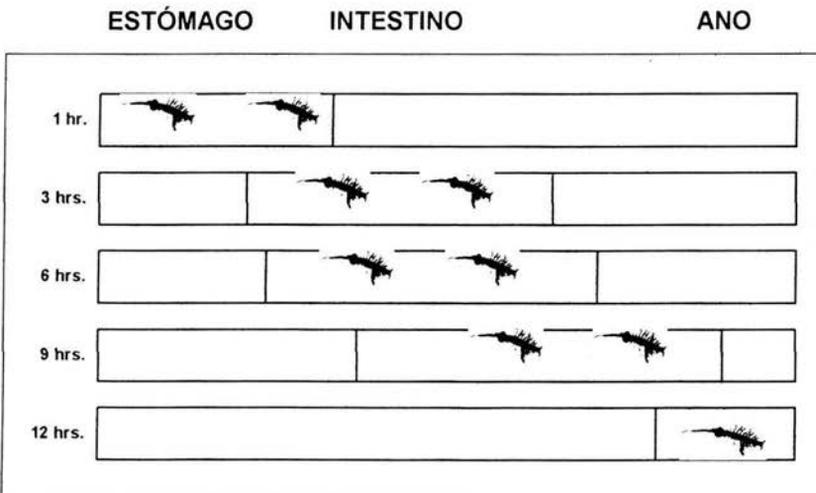


Fig. 18. Muestra la ruta y el tiempo de tránsito que siguieron las artemias en el tracto digestivo del pez a 23 °C.
(La imagen no muestra el grado de digestión de la artemia).

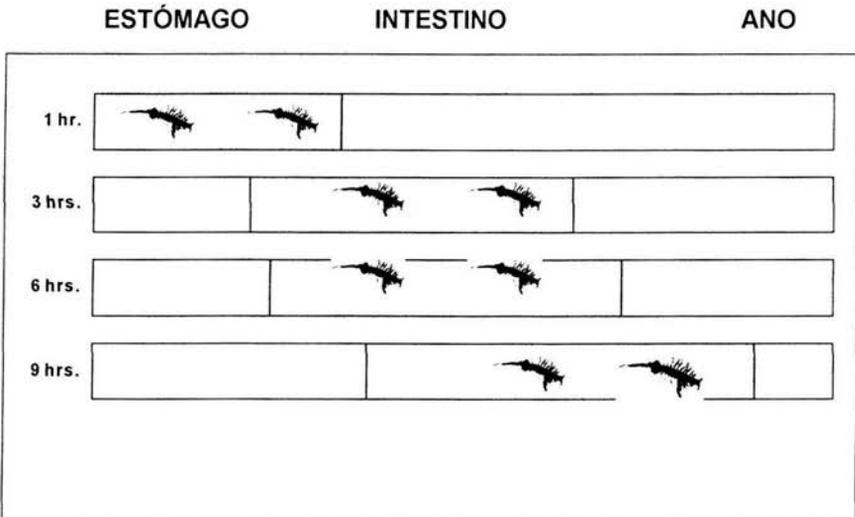


Fig. 19. Muestra la ruta y el tiempo de tránsito que siguieron las artemias en el tracto digestivo del pez a 26 °C.
(La imagen no muestra el grado de digestión de la artemia).

Al considerar estos factores, el tiempo de tránsito del alimento promedio de *X. helleri* alimentado con artemia y en condiciones de laboratorio, es de 11 horas, variando desde 9 hasta 13 horas, ya que es afectada principalmente por la temperatura: a mayor temperatura, menor tiempo de tránsito y a menor temperatura, mayor tiempo de tránsito; así como por la cantidad de alimento consumido y el tamaño de los peces.

DISCUSIÓN

Las diferencias observadas en el presente trabajo, respecto a las tasas de evacuación y de consumo, se pueden atribuir a diferentes causas, entre estas podemos mencionar, la talla del pez, la temperatura del agua y la actividad del pez. Medina *et al.* (1999) además de estos factores menciona también el tipo y tamaño del alimento así como el método experimental a utilizar.

La talla del pez jugó un papel importante como se puede observar en los resultados del primer caso, Bloque I (Tabla XIII), a una temperatura de 23 °C, peso de 0.97 g y tallas de 3.26 y 3.14 cm, en el cual se esperarían tasas de consumo semejantes por presentar condiciones similares, el resultado se vio afectado más que nada por la variación en la longitud de los peces.

Los peces en la pecera 2 (Tabla XIII), según su tasa de consumo total, se alimentaron en promedio 23 veces más de lo que lo hicieron los peces de la pecera 1, y por lo mismo la tasa de evacuación en la pecera 2 es casi cinco veces (4.6 veces) mayor que la tasa de evacuación de la pecera 1.

Por su parte Henson y Newman (1999) estudiaron el efecto de la temperatura en la tasa de evacuación gástrica del pez ruffe *Gymnocephalus cernuus* a diferentes temperaturas (8, 14, 19 y 23 °C), alimentados con larvas de quironómidos, ellos concluyeron que el metabolismo de este pez es menos sensible a la temperatura.

Según los resultados que sobre la tasa de saciedad se obtuvieron previamente, sólo los datos de la pecera 2 de este bloque se pueden considerar adecuados, ya que su valor de consumo fue del 10% en relación con el peso corporal del pez, mismo que se acerca al valor de saciedad del 12%.

De acuerdo con Elliot en 1972 (citado en Adams & Breck, 1990), en la mayoría de los procesos fisiológicos en peces, la tasa de evacuación gástrica se incrementa con la temperatura, por lo tanto la temperatura

del agua se debe de tomar en cuenta cuando la K es estimada como se observa en el caso siguiente.

Tabla XIII. Muestra una relación comparativa entre las condiciones de cada una de las peceras y los resultados de tasas de consumo y evacuación de las mismas.

| BLOQUE | PECERAS | \bar{x} PESO (g) | \bar{x} LONG. (cm) | \bar{x} TEMP. ° C | TASA EVACUACION [K] (h ⁻¹) | TASA CONSUMO [C _{3h}] (g) | TASA CONSUMO TOTAL [C _T] (g) |
|--------|---------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|---|--|--|
| I | 1 | 0.97 | 3.26 | 23 | 0.114 (S ₃ /S ₄) | 0.0177 (S ₃ -S ₂) | 0.0044 |
| | 2 | 0.97 | 3.14 | 23 | 0.528 (S ₃ /S ₄) | 0.0393 (S ₁ -S ₀) | 0.1044 |
| II | 3 | 0.44 | 2.61 | 19 | 0.349 (S ₂ /S ₃) | 0.0522 (S ₁ -S ₀) | 0.1001 |
| | 4 | 1.22 | 3.55 | 19.6 | 0.462 (S ₁ /S ₂) | 0.0032 (S ₄ -S ₃) | 0.0250 |
| III | 5 | 1.19 | 3.32 | 23 | 0.468 (S ₄ /S ₅) | 0.0097 (S ₃ -S ₂) | 0.0476 |
| | 6 | 1.47 | 3.61 | 26 | 0.767 (S ₄ /S ₅) | 0.0107 (S ₂ -S ₁) | 0.0399 |

En el Bloque II, conformado por las peceras 3 y 4, con temperaturas similares, pero tallas y pesos diferentes (Tabla XIII), los peces de la pecera 3 obtuvieron una tasa de consumo total, mayor que los peces de la pecera 4 (cuatro veces más). En este caso y comparándolos con los datos anteriores se podría haber esperado una tasa de consumo y evacuación bajas debido al efecto de la temperatura, sin embargo esto sólo ocurrió en los peces de la pecera 4 que fueron los más grandes en tanto que los peces de la pecera 3, peces más pequeños, tuvieron una tasa de consumo mayor, casi igual a las del Bloque I.

En este sentido, Lagler *et al.* (1977) menciona con respecto al metabolismo, que las raciones diarias también varían con la talla de los peces. Peces pequeños tienen una tasa metabólica más alta que otros o algunos organismos mayores de las mismas especies. Ellos,

por lo tanto, requieren relativamente más comida para mantener una unidad de peso de sus cuerpos, a diferencia de los individuos de mayor tamaño.

Con base en lo anterior, se podría decir que los peces pequeños requirieron más alimento que los grandes debido a que sus necesidades metabólicas y fisiológicas son mayores que las de los peces grandes. Por el contrario los peces grandes consumieron menos alimento porque no requieren más comida que la necesaria para su mantenimiento y bienestar; debido además a que la temperatura sí pudo haber influido en esto, pues Lagler *et al.* (1977) menciona que cuando la temperatura es menor, el metabolismo disminuye y cuando un pez es mayor, tanto en peso como en longitud, también su metabolismo disminuye.

También se observó en este mismo bloque, que la temperatura no fue un factor muy influyente en el consumo del alimento de los peces grandes, debido a que su consumo fue menor (Tabla XIII), y esto a pesar de que registraron una mayor temperatura en comparación a los peces pequeños. Si la temperatura hubiera influido mucho en su metabolismo, estos peces hubieran obtenido una mayor tasa de consumo. En cambio se observa que el factor más influyente fue lo referente a las tallas de los organismos en relación con el metabolismo. Por otro lado, donde la temperatura sí influyó considerablemente fue en la tasa de evacuación gástrica, debido a que en la pecera 4 la tasa fue mayor ($K = 0.462 \text{ h}^{-1}$) al registrarse un ligero incremento en la temperatura respecto a la tasa obtenida ($K = 0.528 \text{ h}^{-1}$) en la pecera 3. Specziár (2002) en su trabajo de evacuación gástrica *in situ* en cinco especies de ciprínidos, encontró que la tasa instantánea de evacuación gástrica del modelo exponencial, incrementó exponencialmente con la temperatura del agua en cuatro especies (brema, brema plateada, rubio y gibel) de las cinco que estudió.

De acuerdo al resultado de la tasa de saciedad, se observó que la pecera 3 del segundo bloque es superior a dicho valor, pues el porcentaje del consumo total con relación al peso corporal del pez fue del 22%. En cambio en la pecera 4, el porcentaje obtenido fue mucho

menor al valor de saciedad, debido a que obtuvo un 2% de consumo total en relación al peso corporal (Tabla XIV).

Ninguno de los dos porcentajes de consumo obtenidos en este bloque se ajustaron al valor de saciedad, pero los que se podría decir que aprovecharon más el alimento, son lo organismos de la pecera 3 por haber obtenido un alto porcentaje de consumo total.

TABLA XIV. Presenta el porcentaje de consumo total de alimento con relación al peso corporal del pez, en cada una de las experimentaciones.

| BLOQUE I | | BLOQUE II | | BLOQUE III | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <i>Pecera 1</i> | <i>Pecera 2</i> | <i>Pecera 3</i> | <i>Pecera 4</i> | <i>Pecera 5</i> | <i>Pecera 6</i> |
| 0.453 % | 10.76 % | 22.75 % | 2.05 % | 4 % | 2.71 % |

Y por último, en el bloque III, conformado por la pecera 5 y 6, se presentaron distintas condiciones, temperaturas diferentes, con pesos y tallas diferentes. En la pecera 5 se dio una relación de menor temperatura, menor talla y peso; a diferencia de la pecera 6 en la cual se registró una mayor temperatura, mayor talla y peso (Tabla XIII).

El comportamiento fue de la siguiente manera; en lo peces más chicos (pecera 5) el consumo fue mayor (0.0476 g) que en los peces de mayor tamaño (pecera 6) los cuales registraron una tasa de consumo de 0.0399 g. En este caso también se cumplió la regla del metabolismo que se refiere a la talla de los peces con relación al consumo del alimento, mencionada y explicada anteriormente.

La tasa de evacuación fue mayor en la pecera 6 ($K = 0.767 \text{ h}^{-1}$), en comparación con la pecera 5; aquí se observó que el incremento en la temperatura si aumentó la tasa de evacuación (Tabla XIII).

Aunque con diferentes grados de temperatura a los registrados en este trabajo, el estudio que hicieron Pääkkönen y Marjomäki (1997) al estimar las tasas de evacuación gástrica en el pez *Lota lota* alimentado con *Coregonus albula*, muestra la relación entre la

temperatura y la evacuación del alimento, pues dichos peces mantenidos a diferentes temperaturas (1.3, 2.6, 4.8, 9.4 y 12.6 °C) registraron que las tasas de evacuación gástrica a bajas temperaturas son menores que la de otras especies de peces dulceacuícolas y que la temperatura y la ración del peso de la comida respecto al peso corporal del pez, fueron los factores más importantes que afectaron la tasa de evacuación gástrica.

Continuando con este bloque se observó que los peces de la pecera 5 consumieron 1.2 veces más alimento que los peces de la pecera 6, a pesar de que estos últimos organismos se encontraban a mayor temperatura, lo cual podría incrementar la tasa de consumo y evacuación, si se cumpliera la regla del metabolismo que dice que a mayor temperatura el metabolismo aumenta y por lo tanto la digestión del pez es más rápida. En cambio a temperaturas bajas, la actividad metabólica disminuye y por ende la actividad digestiva también.

Esto también se puede observar en el trabajo de Temming y Herrmann (2001), los cuales hicieron experimentos adicionales a la evacuación gástrica en el pez caballa *Trachurus trachurus* y encontraron que para determinar la ración máxima de comida diaria, el apetito, a diferencia de la evacuación gástrica es fuertemente dependiente de la temperatura en este pez. Lo anterior se opone a la mayoría de los artículos publicados en donde se dice que la temperatura esta más relacionada con la evacuación gástrica que con el apetito y el consumo del alimento.

De este bloque, ninguno de los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de consumo respecto al peso corporal del pez que fue del 4% (Tabla XIV), se ajusta al valor de saciedad, pues ambos son bajos y más el de la pecera 6 (2.71%). Lo cual hace suponer que al tratarse de ciclos de 24 horas, el consumo total se altera por el número de horas y por la disponibilidad de alimento, y por lo tanto, el porcentaje de consumo respecto al peso corporal también se altera, dando porcentajes bajos como el anterior y el de la pecera 5 (4%).

La forma del proceso (exponencial o lineal) de la tasa de evacuación es importante, comparado a un proceso de digestión lineal, la digestión exponencial a veces da bajas estimaciones de consumo cuando los tiempos de digestión son largos (Adams & Breck, 1990).

Respecto al párrafo anterior, en el caso de *X. helleri*, los tiempos de digestión registrados son relativamente cortos, van de 1 a 6 horas; dichos tiempos dependen de la cantidad de alimento consumido, la temperatura del agua y el tamaños de los organismos.

Existen diferencias entre el tiempo de tránsito del alimento y el tiempo de digestión del mismo. La dependencia de los tiempos de tránsito sobre la tasa de alimentación, hace difícil y arbitrario asignar un tiempo promedio de tránsito para los cálculos de la ración diaria. La tendencia general de este comportamiento es que los tiempos de tránsito disminuyen conforme aumenta la longitud de los peces. Y también los tiempos de tránsito parecen estar inversamente relacionadas con la temperatura (Chiappa, 1993).

El tiempo de tránsito a través del tracto digestivo que presentan las presas, no necesariamente está relacionado con la tasa de digestión de ese tipo de alimento. Werner y Blaxter (1980, citados en Chiappa, 1993); reportaron que las larvas de *C. harengus* muestran tiempos de tránsito de nauplios de *Artemia sp.* de tres a cuatro horas, cuando las concentraciones de las presas son altas (hasta 30 organismos ml^{-1}). Sin embargo, los nauplios que residieron tan cortamente en el tracto digestivo se mostraron poco digeridos. Y por lo cual concluyen que el alimento que pasa a través del tracto digestivo rápidamente, puede ser digerido sólo parcialmente.

Kurata en 1959 reportó 7 horas o más para que las larvas el arenque, digirieran *Artemia sp.* Blaxter en 1965 reportó que la digestión en las larvas de *C. harengus* es dependiente de la temperatura, pues varía de ocho horas a 7 °C, a cuatro horas a 15 °C (Chiappa, 1993). Esto es, a menor temperatura, mayor tiempo de digestión, y a mayor temperatura, menor tiempo de digestión.

Por su parte Richardson y Nickol (1998) al estudiar la evacuación gástrica y el movimiento de los materiales a través del canal alimentario del pez luna verde *Lepomis cyanellus*, observaron que la evacuación gástrica ocurrió 24-32 horas postalimentación y que aproximadamente 25% del contenido estomacal fue evacuado en cuatro horas y 50% en 12 horas. El tiempo requerido para completar la anulación de la comida del canal alimentario a una temperatura de 21 °C, fue de 41 a más de 61 horas.

Como ya se mencionó en este estudio, la temperatura también influyó en el tiempo de tránsito del alimento a través del tracto digestivo; a una temperatura promedio de 23 °C, el tiempo de tránsito de las artemias fue de 12 horas aproximadamente; a 26 °C el tiempo fue de nueve horas, y a 19 °C fue poco más de 13 horas.

Según lo observado en los tractos digestivos de *X. helleri* a diferentes horas, se puede decir que estos peces capturan a su presa (en este caso *Artemia franciscana*.) rápidamente, cuando las ingieren, las muerden un poco pero no del todo, después la van digiriendo poco a poco a medida que avanzan por el tubo digestivo. Con base en lo anterior se observó que la digestión de las artemias está influenciada por la temperatura, pues cuando las tasas de digestión son altas, los tiempos de residencia del alimento en el tubo digestivo son cortos (a mayor temperatura, el metabolismo aumenta y por lo tanto la digestión se acelera).

El estado de digestión en que se presenta una presa en el contenido estomacal, se debe al tiempo de permanencia en el tracto digestivo del depredador y a su propia naturaleza. Los organismos que presentan exoesqueletos compuestos por quitina o sustancias calcáreas o silíceas, ofrecen un mayor tiempo de conservación y una mayor posibilidad de ser identificados, aunque su ingestión no halla sido reciente. Por el contrario, las presas que no presentan estructuras duras, son digeridas con mayor facilidad que las anteriores (Bromley, 1988; Andersen, 2001). Se observa que en la unión con el estómago pilórico, se desprenden los segmentos abdominales de los organismos enteros más frágiles, y los apéndices de las presas como los crustáceos (Chiappa, 1993).

Algunos autores como Barrington en 1957 (citado en Jobling, 1981) han sugerido que los peces digieren alimentos pequeños y presas pequeñas más rápidamente que presas grandes. Estas observaciones han sido refutadas por Elliot en 1972 y por Windell en 1978 (Jobling, 1981), quienes consideran que la cantidad de alimento evacuado del estómago por unidad de tiempo es incrementada tanto como el tamaño del alimento es incrementado, así que hay pequeñas diferencias en el tiempo de evacuación gástrica para alimentos pequeños y grandes.

El modelo de consumo de Elliot y Persson de 1978, descrito en la metodología, parece ser el más aplicable para estimar la ración diaria de peces colectados en el campo cuando (1) la alimentación es más o menos continua durante las horas de luz del día, (2) la cantidad de comida en el intestino en el inicio y el final de un intervalo de muestreo no es necesariamente el mismo, y (3) la tasa de digestión es exponencial (Adams & Breck, 1990). Aunque también se puede aplicar en laboratorio como en este trabajo.

Además las ecuaciones de dicho modelo son generalmente aplicadas a especies con un dieta de "grano-fino" (por ejemplo, gran número de partículas pequeñas de comida) como es el caso de planctívoros, detritívoros, herbívoros y omnívoros (Adams & Breck, 1990). Considerando que *X. helleri* es un pez omnívoro, el modelo de alimentación continua si es aplicable en este caso.

Los peces omnívoros son potencialmente mejores para la crianza y el cultivo, debido a que aceptan la dieta que se les proporcione, pudiendo trabajar con insumos más baratos, sin sacrificar su composición adecuada.

La precisión o exactitud de las estimaciones de consumo obtenidas con estos modelos se incrementa con la frecuencia de muestreo, porque la presunción de alimentación constante alrededor de un intervalo de tiempo es más fácil de conocer cuando el intervalo es corto (Elliot & Persson, 1978, citado en Adams & Breck, 1990). En este caso, el tiempo entre los intervalos de sacrificio en cada experimentación fue de tres horas, el cual se puede considera como

un intervalo corto y así tener la confianza de que las estimaciones obtenidas si cumplieron con este requisito.

Por otro lado, la forma de la curva de la evacuación gástrica no depende solamente de la naturaleza del alimento y puede variar en especies de peces probablemente con relación al tamaño y función del estómago e intestino. Un patrón exponencial de evacuación puede ser ajustado en peces con estómago pequeño o de tamaño medio; y uno lineal puede ser aplicado en peces con estómagos relativamente grandes y que comen grandes presas como los gádidos (Bromley, 1994, citado en Medina *et al.*, 1993). Según lo anterior, *X. helleri* al presentar un estómago pequeño, si se ajusta al modelo exponencial de evacuación gástrica.

CONCLUSIONES

Al término de este trabajo se puede concluir lo siguiente:

1. El alimento que se les proporcionó a los organismos (*Artemia franciscana*) es un alimento ampliamente recomendado para peces de ornato, por ser un alimento vivo y por su valor nutricional; por lo cual, el pez cola de espada *X. helleri* lo consumió favorablemente.
2. De acuerdo a las observaciones y descripciones obtenidas tanto en la literatura científica como en el laboratorio, del sistema digestivo de *X. helleri*, este pez se debe considerar un organismo omnívoro.
3. El modelo de Elliot & Persson de 1978, utilizado para estimar la tasa de evacuación y consumo del pez *Xiphophous helleri*, si fue adecuado, debido a que estos organismos y la experimentación llevada a cabo, cumplieron con los requisitos de dicho modelo.
4. La tasa de evacuación dependió de la cantidad de alimento que consumió el pez seguido de la temperatura.
5. La tasa de consumo de *X. helleri* alimentado con *Artemia franciscana* dependió principalmente de la talla del pez y después de la temperatura.
6. La tasa de digestión comprendió el grado de digestión, tiempos de tránsito y digestión del alimento, los cuales estuvieron influenciados en gran parte por la temperatura, ya que al incrementarse ésta, se aceleraron los procesos digestivos en general.
7. En virtud de que *X. helleri* es un pez tropical y de amplia distribución, la temperatura en esta investigación no fue un factor determinante en los procesos digestivos, por lo que la talla y el peso fueron los factores más relevantes.

8. La máxima ración diaria de alimento para estos organismos es del 6 al 7% del peso corporal del pez, en condiciones de laboratorio.
9. Se recomienda darles de comer dos veces al día, por la mañana y por la tarde, como a las 8 horas y 16 horas respectivamente.
10. Por último, cabe recordar que el tipo de información obtenida en estos trabajos es importante cuando tanto depredadores como presas son especies de uso comercial; aunque estos resultados son de laboratorio, se podrían extrapolar a las granjas de cultivo de peces ornamentales y así tener datos de consumo y evacuación del alimento para esta especie.
11. Se recomienda para otros trabajos probar alimento comercial en hojuelas, vegetales y otro tipo de alimento vivo como la pulga de agua, para observar posibles variaciones entre las tasas de consumo, evacuación y digestión. Además de experimentar con diferentes tallas y temperaturas.

LITERATURA CITADA

Adams, M. S. y Breck, J. E. 1990. Bioenergetics. p.p 389-409. In: C. B. Schreck y P.B. Moyle (comps.). Methods for fish biology. American Fisheries Society. USA.

Álvarez del Villar, J. 1970. Peces mexicanos. Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras. Comisión Nacional Consultiva de Pesca. México. 106-109 pp.

Andersen, N. G. 1998. The effect of meal size on gastric evacuation in whiting. Journal of Fish Biology. 52:743-755. (doi:10.1006/jfbi.1997.0617).

Andersen, N. G. 2001. A gastric evacuation model for three predatory gadoids and implications of using pooled field data of stomach contents to estimate food rations. Journal of Fish Biology. 59: 1198-1217. (doi:10.1006/jfbi.2001.1731).

Báez, S. I. N. 1991. Determinación de la tasa óptima de alimentación en crías de trucha arco iris (*Salmo gairdneri*) en el centro acuícola de Matzinga, Veracruz. Tesis profesional. ENEP Izatacala, UNAM. México. 52 p.

Bromley, P. J. 1988. Gastric digestion and evacuation in whiting, *Merlangius merlangus* (L). Journal of Fish Biology. 33: 331-338.

Castañeda, L. O. y Contreras, E. F. (comps.) 1994. Serie: Bibliografía comentada sobre ecosistemas costeros mexicanos. Volumen III: Golfo de México I (De Tamaulipas a Veracruz). CONABIO, UAM-I, CDELM. México, D. F. 615 p.

Chiappa, C. F. X. 1993. Análisis de la edad, del crecimiento, de la dieta, de las tasas de digestión y de las preferencias tróficas de la anchoveta hawaiana *Encrasicholina purpurea* Fower (Pisces: Engraulidae). Tesis de Doctorado. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México. 140 p.

De la Fuente, F. J. A. 1994. Zoología de Artrópodos. Interamericana, McGraw - Hill. España. 805 p.

De los Ríos, P. 2001. Crecimiento en poblaciones de *Artemia franciscana* y *A. persimilis* (Crustacea, Anostraca) en condiciones controladas. <http://www.rbt.ucr.ac.cr/revistas/49-2/delosrios/delorios.html>.

Fabre, H. 1986. El acuario. Instalación, conservación, peces. Daimon mexicana. México, D. F. 387 p.

Fuentes, P. A. 1998. Uso de la hormona 17 α - metiltestosterona en la obtención de poblaciones monosexo en peces cola de espada *Xiphophorus helleri* (Poeciliidae). Tesis de licenciatura. ENEP Iztacala, UNAM, México.

García de Jalón, L. D., Mayo, R. M., Marcella, R. F., Barcelo, C. E., Fernández, C. T. 1993. Principios y técnicas de gestión de la pesca en aguas continentales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 138 – 149 pp.

Hartman, K. J. 2000. Variability in daily ration estimates of age-0 striped bass in the Chesapeake bay. Transactions of the American Fisheries Society. 129 (5): 1181-1186.

Henson, F. G. y Newman, R. M. 1999. Effect of temperature on growth at ration and gastric evacuation rate of ruffe. Transactions of the American Fisheries Society. 129 (2): 552-560.

Jobling, M. 1981. Mathematical models of gastric emptying and the estimation of daily rates of food consumption for fish. Journal of Fish Biology. 19: 145-257.

Kobelkowsky, D. A. 1995. Sistema digestivo y estructuras anexas del bagre del balsas *Ictalurus balsanus* (Pisces: Ictaluridae). XIII Congreso Nacional de Zoología. Morelia, Michoacán. México.

Kobelkowsky, D. A. y Castillo-Rivera, M. 1998. Sistema digestivo y alimentación del lenguado *Citharichthys spilopterus*. VII Congreso Nacional de Ictiología. Tuxpan, Veracruz. México.

Kobelkowsky, A. 2002. Digestive system and dental sexual dimorphism in the ray *Urotrygon chilensis*. II International Symposium on livebearing fishes. Querétaro, Gro. México.

Lagler, K. F., Bardach, J. E., Miller, R. R., Passino, D. R. 1977. Foods, digestion, nutrition and growth. Ichthyology. 2ª ed. Ed. John Wiley and Sons. USA. 506 p.

Medina, M., Arancibia, H., Araya, M. y Vargas, M. 1999. Evacuación gástrica en el jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) del norte de Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía. 34 (1): 109-114.

Moyle, P. B. y Cech, J. J. 1982. Feeding, nutrition, digestion and excretion. p.p. 88-98. In: Moyle, P. B. y Cech, J. J. (comps). Fishes: An introduction to ichthyology. Prentice-Hall. New Jersey, USA.

Nelson, G. A. y Ross, M. R. 1995. Gastric evacuation in little skate. Journal of Fish Biology. 46 (6): 977-986. (doi:10.1006/jfbi.1995.0093).

Pääkkönen, J. P. J. Y Marjomäki, T. J. 1997. Gastric evacuation rate of burbot fed single-fish meals at different temperatures. Journal of Fish Biology. 50: 555-563.

Prejs, A. Y G. Colomine, 1981. Métodos para el estudio de los alimentos y las relaciones tróficas de los peces. Universidad Central de Venezuela, Caracas, 129 p.

Richardson, D. J. y Nickol, B. B. 1998. Gastric evacuation and movement of materials through the alimentary canal of green sunfish. Transactions of the American Fisheries Society. 127 (6): 1059-1066.

Schlotz, A. 1977. Los peces de acuario. Omega. Barcelona, España, 96 p.

Smith, L. S. 1989. Digestive functions in teleost fishes. p.p. 331-421. In: J. E. Halver (comp.). Fish nutrition. 2ª ed. Academic press. USA.

Snyder, D. 1989. Clearing and staining procedures for skeletal study of small fish. p.p. 35-37. In: Moser, H. Ontogeny and sistematics of fishes. American Fisheries Society. Early life history section's. USA, 760 p.

Specziár, A. 2002. *In situ* estimates of gut evacuation and its dependence on temperature in five cyprinids. Journal of Fish Biology. 60: 1222-1236.

IZT.

Steffens, W. 1987. Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Acribia. Zaragoza, España, 275 p.

Stickney, R. R. y Kohler, C. C. 1990. Maintaining fishes for research and teaching. p.p. 633 – 660. In: C.B. Schreck y P.B. Moyle (Comps.). Methods for Fish Biology. American Fisheries Society. USA.

Temming, A. y Herrmann, J. P. 2001. Gastric evacuation in horse mackerel (*Trachurus trachurus*). I. The effects of meal size, temperature and predator weight. Journal of Fish Biology. 58: 1230-1245 pp. (doi:10.1006/jfbi.2000.1531).

Temming, A., Böhle, B., Skagen, D. W. y Knudsen, F. R. 2002. Gastric evacuation in mackerel: the effects of meal size, prey type and temperature. Journal of Fish Biology. 61: 50-70. (doi:10.1006/jfbi.2002.2006).

Vázquez, G. L. y Villalobos, A. 1987. Zoología del Phylum Arthropoda. 6ª ed. Interamericana. México, D. F. 381 p.

Windell, J. T. 1978. Estimating food consumption rates of fish populations. p.p. 227-255. In: T. Bagenal (comp.). Methods for assessment of fish production in fresh waters. 3a ed. Blackwell Scientific Publications. Great Britain.

<http://users.northnet.com.au/~cycen/artemiainfo.html>



ANEXO I

Xiphophorus helleri

El tamaño de los machos adultos es de ocho a 10 cm (sin considerar la espada), y en las hembras el tamaño oscila alrededor de los 12 cm de longitud, en estado silvestre. Su cuerpo es alargado y comprimido lateralmente. El macho presenta una larga espada formada a partir del desarrollo de los radios inferiores de la aleta caudal y la hembra carece de ella; su coloración original (silvestre) es de verde claro azulado realzado por una línea lateral rojiza con vivos azul metálico (Schlotz, 1997).

Los ejemplares silvestres vive en aguas con corrientes y abundancia de pastos con barro en el fondo que es la base de crecimiento de la vegetación acuática, aguas con temperaturas de 24 °C. Son resistentes a cambios de temperatura y salinidad (Fuentes, 1998).

La coloración de los peces ornamentales es entre anaranjada y rojiza, con la espada de color negro en los machos y la aleta caudal también de color negro en las hembras. En cautiverio se mantienen a una temperatura de 20 a 28° C, lo ideal alrededor de 25° (*Op cit*).

Estos organismos son peces omnívoros en su medio natural, por lo que se les debe dar una comida variada. Hay que suministrarles alimento "fresco" para que sus colores sean brillantes y se encuentren sanos. Se les puede proporcionar presas vivas y alimento congelado. Respecto a su reproducción, son peces vivíparos, lo que implica que los huevos, alojados en el vientre de la madre se rompen al momento de la expulsión del alevín que inmediatamente nada libremente. Una vez preñada la hembra parirá, entre las cuatro y seis semanas, entre 20 y 100 alevines vivos aunque el número de crías depende del tamaño de la madre (Fabre, 1986; Schlotz, 1997).

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Phylum – Chordata

Subphylum – Gnathostomata

Clase – Osteichthyes

Subclase – Actinopterygii

Orden – Cyprinodontiformes

Suborden – Cyprinodontoidei

Familia – Poeciliidae

Género – *Xiphophorus*

Especie – *Xiphophorus helleri* (Heckel, 1884)

Nombre común – pez cola de espada.

Sistemática según Rosen (1960), citado en Álvarez del Villar (1970).

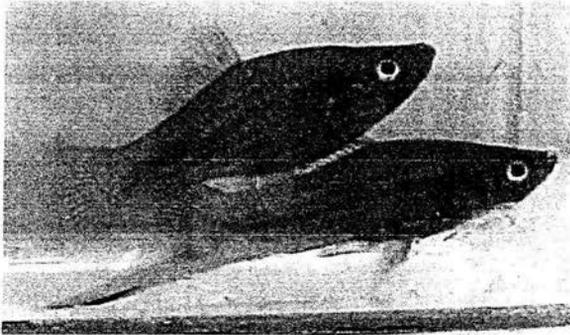


Fig. 20. Imagen de una pareja de peces cola de espada *X. helleri* (Obtenida en el Lab. Ecología de Peces, FES Iztacala).

ANEXO II

Artemia franciscana

La especie *Artemia franciscana* es dominante en el nuevo mundo y se encuentra distribuida desde Canadá hasta la zona norte de Chile. Este crustáceo ha adquirido mucha importancia en la actualidad por su gran demanda en la acuicultura, puesto que representa una de las dietas vivas más importantes en el cultivo de peces (De los Ríos, 2001).

Se alimenta de partículas que recogen con el movimiento metacronal de sus apéndices y que dirigen hacia la boca a través del surco mediano, mientras nadan. Estos organismos nadan en posición invertida, con el dorso hacia abajo. Su talla oscila alrededor de 10 milímetros (De la Fuente, 1994).

El promedio del ciclo de vida de la artemia es aproximadamente de 50 días, en los cuales una hembra fertilizada puede producir nauplios (infantes) por arriba de una tasa de 75 por día. Del huevo sale una larva nauplio que pasa por 10 a 20 estadios para alcanzar la fase de adulto (*Op cit*).

El 63% del peso seco de los adultos es proteína y aproximadamente el 7% es grasa. Estos adultos son ricos en todos los aminoácidos esenciales. El contenido de grasa de los nauplios es aproximadamente del 23% de su peso seco y de proteína es un 45% aproximadamente. Los nauplios son deficientes en varios de los aminoácidos esenciales (<http://users.northnet.com.au/~cycen/artemiainfo.html>).

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Phylum: Artropoda
Clase: Crustacea
Subclase: Branchiopoda
Orden: Anostraca
Familia: Artemiidae
Género: Artemia
Especie: *Artemia franciscana*



Sistemática según Vázquez (1987).

ANEXO III - A

BLOQUE I

| 1 | 2 |
|-------------------------------------|--------|
| Peso contenido estomacal (g) | |
| 0.0465 | 0.016 |
| 0.0425 | 0.023 |
| 0.0275 | 0.0225 |
| 0.0345 | 0.0195 |
| 0.0245 | 0.004 |

Prueba F para varianzas de dos muestras

| | Variable 1 | Variable 2 |
|---------------------------------|-------------|------------|
| Media | 0.0351 | 0.017 |
| Varianza | 8.88E-05 | 6.0625E-05 |
| Observaciones | 5 | 5 |
| Grados de libertad | 4 | 4 |
| F | 1.464742268 | |
| P(F<=f) una cola | 0.360258855 | |
| Valor crítico para F (una cola) | 6.388233942 | |

H_0 = Las varianzas de las peceras son iguales.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

| | Variable 1 | Variable 2 |
|-------------------------------------|-------------|------------|
| Media | 0.0351 | 0.017 |
| Varianza | 8.88E-05 | 6.0625E-05 |
| Observaciones | 5 | 5 |
| Varianza agrupada | 7.47125E-05 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 8 | |
| Estadístico t | 3.310944834 | |
| P(T<=t) una cola | 0.005341582 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.85954832 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.010683163 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.306005626 | |

H_a = Diferencias en la longitud del pez si afectan el proceso de alimentación a la misma temperatura, peso y oxígeno disuelto.

ANEXO III – B

BLOQUE II

| 3 | 4 |
|-------------------------------------|-------|
| Peso contenido estomacal (g) | |
| 0.036 | 0.017 |
| 0.045 | 0.016 |
| 0.037 | 0.004 |
| 0.013 | 0.001 |
| 0.013 | 0.002 |

Prueba F para varianzas de dos muestras

| | Variable 1 | Variable 2 |
|---------------------------------|-------------|------------|
| Media | 0.0288 | 0.008 |
| Varianza | 0.0002202 | 0.0000615 |
| Observaciones | 5 | 5 |
| Grados de libertad | 4 | 4 |
| F | 3.580487805 | |
| P(F<=f) una cola | 0.122176319 | |
| Valor crítico para F (una cola) | 6.388233942 | |

Ho = Las varianzas de las peceras son iguales.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

| | Variable 1 | Variable 2 |
|--------------------------------|-------------|------------|
| Media | 0.0288 | 0.008 |
| Varianza | 0.0002202 | 0.0000615 |
| Observaciones | 5 | 5 |
| Varianza agrupada | 0.00014085 | |
| Diferencia hipotética de las m | 0 | |
| Grados de libertad | 8 | |
| Estadístico t | 2.771117326 | |
| P(T<=t) una cola | 0.012127406 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.85954832 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.024254811 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.306005626 | |

Ha = Diferencias en la longitud y el peso de los peces, si afectan el proceso de alimentación de los organismos, a la misma temperatura y oxígeno disuelto.

ANEXO III - C

BLOQUE III

| 5 | 6 |
|-------------------------------------|--------|
| Peso contenido estomacal (g) | |
| 0.014 | 0.014 |
| 0.0027 | 0.004 |
| 0.0033 | 0.0046 |
| 0.006 | 0.0026 |
| 0.0053 | 0.002 |
| 0.0013 | 0.0002 |
| 0.002 | 0.0006 |
| 0.0003 | 0.0026 |
| 0.0133 | 0.002 |

Prueba F para varianzas de dos muestras

| | Variable 1 | Variable 2 |
|---------------------------------|-------------|-------------|
| Media | 0.005355556 | 0.003622222 |
| Varianza | 2.53503E-05 | 1.71244E-05 |
| Observaciones | 9 | 9 |
| Grados de libertad | 8 | 8 |
| F | 1.480356216 | |
| P(F<=f) una cola | 0.295947085 | |
| Valor crítico para F (una cola) | 3.438103136 | |

Ho = Las varianzas de las peceras son iguales.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

| | Variable 1 | Variable 2 |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| Media | 0.005355556 | 0.003622222 |
| Varianza | 2.53503E-05 | 1.71244E-05 |
| Observaciones | 9 | 9 |
| Varianza agrupada | 2.12374E-05 | |
| Diferencia hipotética de las m | 0 | |
| Grados de libertad | 16 | |
| Estadístico t | 0.797880902 | |
| P(T<=t) una cola | 0.218311054 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.745884219 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.436622108 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.119904821 | |

Ho = No hay diferencias entre la talla y peso de los organismos, así como en la temperatura, para la alimentación de los peces.