



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

“Variación en la tasa de alimentación,
crecimiento y morfología de peces cola de espada
(*Xiphophorus montezumae*), expuestos a
diferentes velocidades de corriente.”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A :

VÍCTOR EMANUEL URRUTIA FIGUEROA



DIRECTORA DE TESIS: DRA. GUILLERMINA ALCARAZ ZUBELDIA

MÉXICO, D.F.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito: "Variación en la tasa de alimentación, crecimiento y morfología de peces cola de espada (*Xiphophorus montezumae*), expuestos a diferentes velocidades de corriente."

realizado por Víctor Emanuel Urrutia Figueroa

con número de cuenta 09753599-3 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

Dra. Guillermina Alcaraz Zubeldia

Propietario

Dr. Fernando Alvarez Noguera

Propietario

M. en C. Maribel Badillo Alemán

Suplente

M. en C. Sebastián Ricardo Zúñiga Lagunes

Suplente

Biol. Karla Kruesi Cortés

Consejo Departamental de Biología

FACULTAD DE CIENCIAS

M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez



**UNIDAD DE ENSEÑANZA
DE BIOLOGIA**

*".....y yo, entre sueños, profundamente marino,
oceánicamente nuevo, abrí los ojos.
Hoy vivo para entender lo que vi.....".*

disangellis.

Dedicatorias

A mi Padre por que me hablaba para enseñarme a entender las cosas importantes de la vida, por enseñarme a vivir y sobre todo por que aun me sigue hablando.

A mi madre por su amor, por enseñarme el valor de la libertad y por que gracias a sus esfuerzos he podido realizar mis sueños y ser feliz.

A mi hermano mayor Andrés por ayudarme a crecer y enfrentar la realidad del mundo.

A mi hermano menor David por enseñarme el poder de la imaginación y por que con su valor me ha demostrado que la soledad no existe.

A mi Tía Bibiana y a Vanesa pues con su forma de ser me han enseñado a reconocer la fortaleza que hay en cada mujer.

A mi tío Alfredo por su bondad, su fe y por enseñarme a recibir la vida con una sonrisa.

A Salvador por enseñarme a luchar hasta el final.

A Oswaldo, Alfonso, Edgar y Jonathan, por enseñarme desde niño a reconocer la amistad.

A Larisa, Denise, Alejandro, Cristina y Daniela por ser mi segunda familia en la Facultad.

A Paco, Leonardo y Mariano por que su ejemplo me ha enseñado que debo vivir persiguiendo mis sueños sin pensar en imposibles.

A Patricia por su ternura y por enseñarme la inmensidad que puede abarcar el amor sin dejar de crecer.

Agradecimientos

A la UNAM por ser mi segunda casa, donde he aprendido de que se trata la Biología y buena parte de mi ecofisiología.

A la Facultad de Ciencias, lugar donde encontré a mi segunda familia.

A Guillermina Alcaraz, por su paciencia, su apoyo y por hacer más divertido e interesante el proceso de aprender a elaborar una tesis.

A Maribel Badillo por su apoyo técnico y sus consejos en la elaboración del diseño experimental.

A Sebastián Zúñiga por su ayuda técnica en los programas de cómputo y en la corrección de mi trabajo.

A Karla Kruesi por sus aportaciones y comentarios para mejorar mi tesis.

A Fernando Alvarez por su confianza y por sus valiosas aportaciones para la corrección de mi tesis.

A Cecilia Vanegas por sus enseñanzas, su apoyo y su disposición a resolver mis dudas en cualquier momento.

Al Sr. Jesús Saenz coordinador de servicios de la Facultad de Ciencias, a Benjamín y Abel por la construcción de los tanques experimentales.

Al proyecto IN31728 CONACYT por el financiamiento para la realización del proyecto.

Índice

Pag.

Dedicatorias	i
Agradecimientos	ii
Índice	iii
Índice de ilustraciones.....	iv
Resumen	v
1. Introducción.	1
1.1. Los peces en México.	1
1.2. La familia Poeciliidae.	2
1.3. El género <i>Xiphophorus</i> , el pez cola de espada <i>X. montezumae</i> y su crecimiento.	4
1.4. Desafíos de la corriente en Ríos.	9
1.5. El nado y la asignación de energía.	10
1.6. Consecuencias del nado en el crecimiento.	11
1.7. Arrastre y morfología.	14
1.8. Plasticidad Morfológica.	15
2. Objetivos.	17
3. Hipótesis.	18
4. Metodología.	19
5. Resultados.	24
5.1 Tasa de ingestión.	5
5.2. Tasa de crecimiento.	28
5.3. Morfología.	30
5.3.1. Longitud.	30
5.3.2. Altura.	31
5.3.3. Relación de Fineza hidrodinámica.	32
5.3.4. Relación Altura máxima/ Longitud estándar.	33
5.3.5. Superficie Corporal.	35
5.3.6. Ancho del Pedúnculo Caudal.	36
5.3.7. Amplitud de la Aleta Dorsal.	37
5.3.8. Amplitud de la Aleta Caudal.	38
5.3.9. Area de la Aleta Caudal.	39
6. Discusión.	40
7. Conclusiones.	49
8. Referencias.	50

Índice de Ilustraciones

Índice de Figuras

1. Distribución geográfica de los peces cola de espada.	5
2. Distribución geográfica de los peces sin espada o "platis."	6
3. Esquema del tanque experimental.	21
4. Factor de Condición.	24
5. Tasa de ingestión en el tiempo.	26
6. Tasa de ingestión comparada entre las cuatro velocidades.	27
7. Utilización de alimento.	28
8. Tasa de crecimiento.	29
9. Cambio en longitud estándar.	31
10. Cambio en altura.	32
11. Fineza Hidrodinámica.	33
12. Relación altura máxima/longitud estándar.	34
13. Cambio en superficie corporal.	35
14. Cambio en ancho del pedúnculo caudal.	36
15. Cambio en amplitud de la aleta dorsal.	37
16. Cambio en amplitud de la aleta caudal.	38
17. Cambio en el área de la aleta caudal.	39

Índice de Tablas.

1. Abundancia de especies de peces en México.	2
2. Efecto relativo de la velocidad de la corriente sobre el crecimiento de algunas especies de peces.	12
3. ANOVA de dos vías para la tasa de ingestión.	25
4. Prueba de Tukey para la tasa de ingestión en el tiempo.	25
5. Prueba de Duncan para la utilización del alimento.	27
6. Prueba de Duncan para la tasa de crecimiento.	29
7. Prueba t para FH inicial y final.	33
8. Prueba t para A/L inicial y A/L final.	35

Resumen

En este trabajo se estudio la influencia que ejerce la velocidad de la corriente en la tasa de crecimiento, en la tasa de alimentación y en la morfología de juveniles de la especie *Xiphophorus montezumae*. Los juveniles fueron expuestos a cuatro velocidades de corriente diferentes (0, 1.4, 2.8 y 4.7 LC/s). Después de 32 días de exposición el estado de salud de los peces se mantuvo constante a lo largo del experimento, como lo muestra el factor de condición, de igual manera la tasa de alimentación no varió entre los peces expuestos a los cuatro tratamientos. La tasa de crecimiento disminuyó con el incremento en la velocidad de la corriente.

Se encontró que el cambio de los caracteres merísticos si esta relacionado con el incremento en la velocidad de la corriente. En particular la fineza hidrodinámica aumentó, al igual que la amplitud de la aleta dorsal, la amplitud, el área de la aleta caudal y el ancho del pedúnculo caudal disminuyeron; estas tendencias morfométricas se asocian a la adquisición de una forma más hidrodinámica.

“Variación en la tasa de alimentación, crecimiento y morfología de peces cola de espada (*Xiphophorus montezumae*), expuestos a diferentes velocidades de corriente.”

1. Introducción.

1.1. Los peces en México.

México es un país rico en cuerpos de agua y especies nativas gracias a su ubicación geográfica y a su topografía accidentada (de la Vega, 2003). En comparación con Estados Unidos y Canadá con 792 especies de peces, México, con una quinta parte del área de Estados Unidos posee una fauna compuesta por 506 especies y 47 familias; aproximadamente el 60% de las especies de América del Norte y 6% de las especies de peces dulceacuícolas conocidas del planeta (Tabla 1, de la Vega; 2003). Dentro de esta diversidad, la familia Poeciliidae cuenta con 71 especies, número superado solo por la familia Cyprinidae con 75 especies.

Tabla 1. Abundancia de especies y porcentaje de endemismos en las principales cuencas de México (de la Vega, 2003).

Cuenca	Total de especies	% de Endemismos
Lerma-Santiago	57	58
Usumacinta- Grijalva	72	36
Pánuco	75	30
Ameca	20	30
Balsas	20	35
Papaloapan	47	21
Conchos	34	21
Tunal	13	62
Coatzacoalcos	53	13

1.2. La familia Poeciliidae.

Los poecilidos se distinguen de todos los demás cyprinodontiformes, por los siguientes caracteres derivados:

- Aletas pectorales superpuestas a los lados impulsadas por el acomodo dorsal de los radiales.
- Expansión del cuarto epibranchial para transformarse en el soporte principal de la porción dorsal de los arcos branquiales.
- Cóndilos exoccipitales ausentes
- Arcos neurales de la primera vértebra abiertos, sin juntarse para formar una espina neural.

Los poecilidos comprenden cerca de 200 especies en 16 géneros de peces pequeños de menos de 5 cm de largo. Se distribuyen desde Norte América, Centro América y el Caribe hasta Uruguay en Sudamérica (Parenti, 1981; Meffe y Snelson, 1989).

Wourms (1981), considera al grupo de los poecilidos vivíparos; dicho grupo además presenta dimorfismo sexual, sobresaliendo la diferencia en el tamaño del macho y la hembra, diferencias en la aleta anal y en la suspensión de la aleta anal, en las aletas pélvicas y pectorales y en menor grado en las aletas dorsal y caudal, así como en las partes de la boca, en el dorsicranium, en las costillas pleurales y en el patrón del color (Rosen y Bailey, 1963). La aleta anal (gonopodio, en los machos) y su respectiva suspensión (suspensorio gonopodial) presente en todos los poecilidos, constituyen los caracteres principales en que se basa la separación de las tribus, géneros, especies e incluso en algunos casos las subespecies (Rosen y Bailey, 1963; Chambers, 1987).

Un caracter adicional solo para *Poecilia* y *Xiphophorus*, es la modificación, ya sea corta o alargada, de las radios inferiores de la aleta caudal en los machos (Parenti, 1981).

Los Poecilidos viven en una amplia diversidad de habitats, ocupando desde zonas templadas hasta tropicales, regiones desiertas a húmedas, habitando nichos como: ríos, lagos, manantiales, marismas salinas y dulces, costas marinas y manglares, así como una variedad de ambientes hechos por el hombre. Esta diversidad de hábitats utilizados por la familia y las especies

individuales indica que los poecilidos son un grupo altamente adaptativo y tolerante (Meffe y Snelson, 1989).

Dos grandes factores resaltan de la alta colonización de diferentes hábitats por los poecilidos. El primero es que son excelentes colonizadores ya que una sola hembra preñada puede dar origen a una nueva población; esta característica le permite a los poecilidos ocupar hábitats extremos, geológicamente inestables y de condiciones ecológicas adversas que solo soportan a algunas otras especies de peces o en ocasiones a ninguna otra (Meffe y Snelson, 1989).

El segundo factor de su éxito ecológico es su alta tolerancia a las altas temperaturas y salinidades, habilitándolos para sobrevivir y dispersarse en condiciones severas y para mantener las poblaciones en hábitats subóptimos (Meffe y Snelson, 1989).

1.3. El género *Xiphophorus*, el pez cola de espada *X. montezumae* y su crecimiento.

La distribución geográfica del género *Xiphophorus*, perteneciente a la familia Poeciliidae, se extiende desde la Sierra Madre Oriental en México hasta Honduras. Dentro de este género se encuentran dos grupos de peces, los cola de espada y los peces sin espada o "platis" (Figs. 1 y 2).



Fig 1. Distribución Geográfica de los cola de espada.

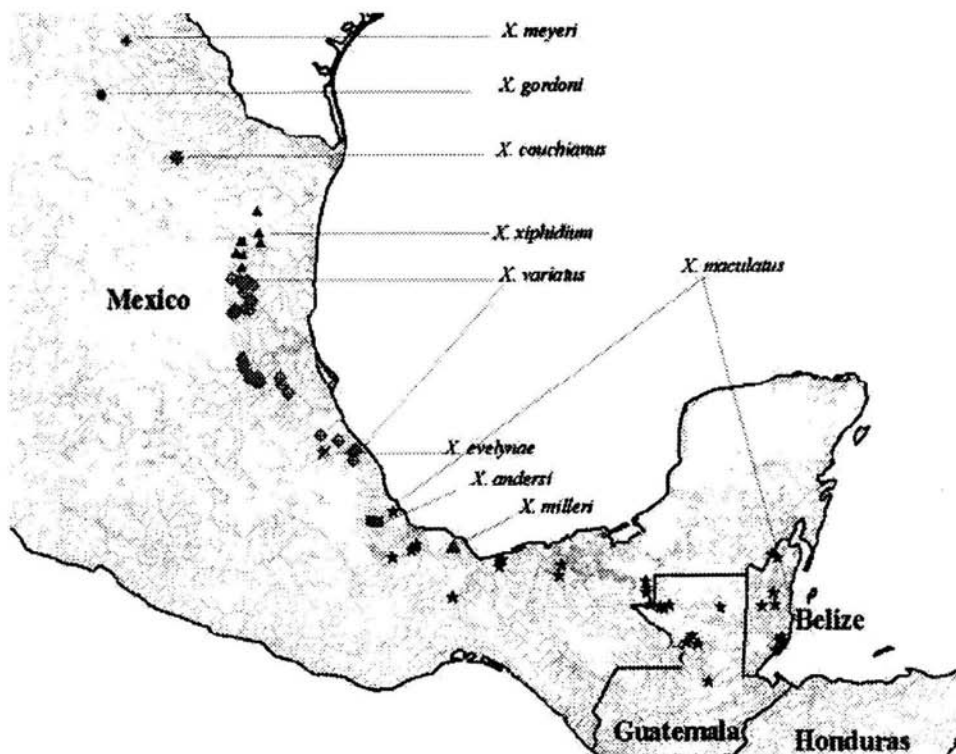


Fig 2. Distribución Geográfica de los peces sin espada o platis ¹.

Una característica importante de los peces cola de espada del clado del norte de América es el desarrollo de una extensión de los radios inferiores del plano ventral de la aleta caudal, en forma de espada encontrada en los machos de algunas especies del género (Rauchenberger *et al.*, 1990; Basolo, 1996). El cola de espada del clado del norte de América *X. montezumae* es una de las 22 especies descritas, emparentadas dentro de el género *Xiphophorus*.

¹ *Nota: La ubicación de las localidades es aproximada y se basa en información reportada por Rauchenberger *et al.*, (1990), Rosen 1960 y Borowsky (1984), así como en las descripciones originales de las especies (Kazianis y Kumar, 2003).

Los machos del género *Xiphophorus* desarrollados en el laboratorio, generalmente crecen en forma lineal hasta alcanzar la madurez sexual, siendo entonces cuando su crecimiento se detiene, las hembras muestran un patrón similar, sin embargo estas continúan creciendo a una tasa lenta después de la maduración sexual. Las hembras generalmente alcanzan un mayor tamaño corporal que los machos de la misma especie (Marcus *et al.*, 1999).

Marcus *et al.* (1999), encontraron que los incrementos tanto en la tasa de crecimiento, como en la edad de término del crecimiento parecen determinar el tamaño corporal del adulto en el género *Xiphophorus*. En *X. montezumae* la tasa de crecimiento de los machos, es significativamente menor que en las otras dos especies de mayor talla del género (*X. birchmanni* y *X. helleri*). Sin embargo, dicho crecimiento ocurre durante un periodo de tiempo significativamente mas prolongado, (0.21 mm/día, con un promedio de 45.7 mm como máximo de tamaño corporal y 160 días como edad de máxima disminución del crecimiento para machos de la especie *X. montezumae*). En las hembras de *X. montezumae*, el crecimiento es significativamente más lento que en otras especies pero de igual manera el periodo de crecimiento es más largo que en todas las demás especies (0.26 mm/día, con un promedio de 53.8 mm como máximo de tamaño corporal y 176 días como edad de máxima disminución del crecimiento).

Los peces típicamente crecen mas rápidamente en los primeros meses o años de su vida hasta que alcanzan la maduración. Después, disminuye la energía destinada al crecimiento de los tejidos somáticos y se incrementa la

destinada al crecimiento de los tejidos gonadales, teniendo como consecuencia que las tasas de crecimiento de los peces adultos, sean menores a las de los juveniles (Moyle y Cech, 2000).

Los peces adultos son típicamente más pesados por unidad de longitud que los juveniles, esto se ve reflejado en un factor de condición mayor (K), donde:

$$K = (W \times 100) / L^3$$

Donde W es el peso y L la longitud estándar de cada pez. El factor de condición, es un indicador de salud de la población (Moyle y Cech, 2000).

En el género *Xiphophorus* se sabe que las diferencias en el tamaño corporal entre las diferentes especies dependen principalmente de la diferencia entre sus tasas de crecimiento. No se conoce el mecanismo que determina las tasas de crecimiento, sin embargo no están controladas por el *p locus*, el cual está más relacionado con el control de la edad de cese de crecimiento. Así mismo, se cree que el polimorfismo en la edad de cese del crecimiento determina la variación entre el tamaño corporal dentro de una población de una misma especie (Marcus *et al.*, 1999). Pese a esto, no se conoce cual es el mecanismo genético que determina el patrón de crecimiento para cada especie antes de alcanzar la edad adulta y el cese del crecimiento, y por lo tanto, tampoco se conoce la manera en que las variaciones ambientales puedan influir en las diferencias fenotípicas entre los diferentes individuos de una misma población.

1.4. Desafíos de la corriente en Ríos.

Algunos autores han demostrado, que la variabilidad ambiental tiene un efecto muy significativo tanto en el éxito reproductivo como en el crecimiento de plantas y animales (Heggenes, 2002).

En un río, donde el ambiente es dinámico, los peces están expuestos a factores que pueden influir en su respuesta al medio, uno de esos factores en ambientes lóticos es la velocidad de la corriente (Allan, 1995). La velocidad del agua y las fuerzas físicas asociadas a esta representan en conjunto el factor ambiental más importante que afecta a los organismos que habitan en sistemas con corriente de agua. La velocidad de la corriente representa una fuerza física directa que los organismos experimentan dentro de la columna de agua, por lo que determina su distribución en el sistema y moldea sus adaptaciones anatómicas, fisiológicas y conductuales. La forma corporal de los animales que habitan en sistemas fluviales y sus patrones de crecimiento exhiben numerosas adaptaciones morfológicas con el fin de poder moverse dentro de una corriente de agua o bien para mantener una posición en el sistema (Allan, 1995). Por otro lado, la velocidad de la corriente varía en magnitud en espacio y tiempo, esto hace que las características que les permiten habitar en estos sistemas sean plásticas y puedan expresarse en función de esta variable (Hynes, 1970).

El aumento en la actividad de nado por un incremento en la velocidad de corriente, aumenta los costos energéticos y por consiguiente el crecimiento (Davison, 1997). La velocidad de la corriente puede influir así mismo en la tasa

de alimentación de un organismo que habita en un río, así como en su eficiencia de conversión alimentaria (Davison, 1997). La cantidad de alimento ingerido por un pez relacionada con el aumento en masa, puede mostrarnos datos de su crecimiento en términos de su eficiencia de conversión alimentaria (Davison, 1997).

Al aumentar la demanda energética debido al ejercicio, se estimula el apetito y la tasa de alimentación aumenta, con una mayor eficiencia de conversión alimentaria lo cual resulta en que los organismos crecen más con menos alimento (Davison, 1989).

1.5. El nado y la asignación de energía.

En peces juveniles y adultos, la actividad de nado es el componente más importante que influye en los requerimientos y asignación de energía que puede ser destinada para el crecimiento (Brett y Groves, 1979). El nado es una actividad que requiere de un gasto de energía para generar los movimientos y fuerzas necesarios para la interacción con el agua. Los peces más veloces, pueden elevar su tasa metabólica con un aumento en la velocidad hasta más de 10 veces a partir de su metabolismo estándar.

La cantidad de fricción que debe superar un pez nadando a velocidad constante depende de la velocidad en si, ya que la fricción aumenta proporcionalmente al cuadrado de la velocidad; así mismo, la energía que requiere el organismo para superar la fricción es igual al arrastre multiplicado por la velocidad de nado; por lo tanto los requerimientos energéticos del nado

aumentarán proporcionalmente a la velocidad de nado al cubo (Jobling, 1995). Sin embargo se ha reportado que existe una velocidad óptima de nado, en la cual el gasto energético del organismo es menor que cuando este permanece sin movimiento (Videler y Nolet, 1990).

Se tiene reportado que teóricamente, el promedio de velocidad en el que se maximiza el desplazamiento en relación con el gasto energético para peces con un modo de nado con ondulaciones laterales del cuerpo y la cola es de 1 LC/sec (Largos Corporales por segundo). Sin embargo, se ha encontrado que el rango de la velocidad óptima varía entre 0.7 LC/sec para la carpa dorada (*Carassius auratus*) y 3.0 LC/sec para la especie *Sciaenops ocellata* (Videler, 1993).

1.6. Consecuencias del nado en el crecimiento.

Se ha observado que la capacidad de nado a diferentes velocidades puede influir en el crecimiento de algunos peces, por ejemplo en los salmónidos se incrementa el crecimiento (Davison, 1997; Tabla 2).

El efecto que produce la velocidad de la corriente en las diferentes especies depende del tipo de régimen de corrientes (Tabla 2). A bajas velocidades de nado (1.5LC/s), en algunas especies se producen las mayores tasas de crecimiento, en otras especies que muestran una reducción en la tasa de crecimiento, los peces se ven afectados prácticamente a cualquier velocidad de nado. Así mismo, el nado a altas velocidades, puede tener distintos efectos negativos en el crecimiento de cualquier especie (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto relativo de la velocidad de nado en el crecimiento de algunas especies de peces (Baja 1.5 LC/s, Alta a 1.5 LC/s; basado en Davison, 1997).

Especie	Velocidad de nado	Efecto en el Crecimiento	Autor
<i>Salmo trutta</i>	Baja	1 Aumento	Davison <i>et al.</i> , (1977)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Baja Alta	Aumento Retraso	Farrel <i>et al.</i> , (1990)
<i>Salmo gairdneri</i>	Baja	Aumento	Houlihan <i>et al.</i> , (1987)
<i>Salvelinus fontinalis</i>	Baja Alta	Aumento Retraso	East <i>et al.</i> , (1987)
<i>S. alpinus</i>	Baja	Aumento	Christiansen <i>et al.</i> , (1992)
<i>Salmo salar</i>	Baja	Aumento	Jorgensen <i>et al.</i> , (1993)
<i>O. tshawytscha</i>	Cualquiera	Retraso	Kiessling <i>et al.</i> , (1994)
<i>O. nerka</i>	Cualquiera	Retraso	Dougan (1993)
<i>Morone saxatilis</i>	Baja Alta	Aumento Retraso	Young <i>et al.</i> , (1994)
<i>Merlangius merlangus</i>	Baja	Aumento	Hammer (1994)
<i>Chalcalburnus chalcoides mento</i>	Baja	Aumento	Hinterleitner (1992)
<i>Carassius auratus</i>	Cualquiera	Igual	Davison <i>et al.</i> , (1978)
<i>Leuciscus cephalus</i>	Cualquiera	Igual	Lackner <i>et al.</i> , (1988)
<i>Chondrostoma nasus</i>	Cualquiera	Igual	Sänger (1992)
<i>Notolabrus fucicola</i>	Cualquiera	Igual	Davison (1994)
<i>Danio rerio</i>	Cualquiera	Igual	Bagatto <i>et al.</i> , (2001)

La locomoción es una actividad que genera grandes costos energéticos (Beamish, 1978). Un aumento en la velocidad de corriente se refleja en mayores requerimientos energéticos para el mantenimiento de nado (Beamish, 1978), por lo que una consecuencia directa sería que en los peces expuestos a nado contra corriente disminuyera la tasa de crecimiento o aumentara la tasa de alimentación (Jobling, 1995).

Esto sucede efectivamente en peces como la carpa dorada (*Carassius auratus*) para la cual, la exposición a condiciones de nado contra corriente

además de representar un aumento en sus requerimientos energéticos, resulta en un aumento en los niveles de hormonas indicadoras de estrés como catecolaminas y cortisol, como consecuencia, el crecimiento se ve retrasado (Davidson y Goldspink, 1978).

Por otro lado, en muchos de los experimentos realizados (especialmente en salmónidos) existe un aumento en la tasa de crecimiento en los peces forzados a nadar contra corriente cuando son expuestos a velocidades moderadas (Davidson, 1989). Se ha reportado que dicho crecimiento, expresado como una ganancia en peso en salmónidos expuestos a mayores velocidades de corriente se debe a un despliegue de una mejor eficiencia de conversión alimentaria (Christiansen y Jobling, 1990).

Otra explicación para el aumento en la tasa de crecimiento en los salmónidos expuestos a condiciones de nado se basa en que los peces que nadan bajo velocidades de corriente moderadas han mostrado menores niveles de hormonas indicadoras de estrés como catecolaminas y cortisol que los mantenidos en condiciones estáticas, lo cual tiene efectos en las tasas metabólicas de los tejidos en general. Esto parece indicar que en los salmónidos, particularmente en los peces pequeños subordinados, el incremento en la cantidad de energía utilizada para el nado, compensa el gasto energético asociado a la expresión de conductas agresivas; es decir, resulta menos costoso mantener una determinada posición en la corriente, que expresar conductas antagónicas, lo cual se ve reflejado en un aumento en el crecimiento (Christiansen y Jobling, 1991). Así mismo, en algunos

experimentos hechos en salmónidos, el crecimiento relacionado con el entrenamiento al nado se ve conducido por un aumento en la producción de hormonas del crecimiento tales como la tiroxina (Kiesling *et al.*, 1994).

Diversos autores (Christiansen *et al.*, 1989; Houlihan *et al.*, 1987) han relacionado el incremento en la tasa de crecimiento con velocidades de corriente mayores en salmónidos, con el hecho de que durante el nado continuo la tasa de síntesis de proteínas es mayor que la tasa de degradación, lo cual resulta en un mayor crecimiento.

1.7. Arrastre y morfología.

Existen algunas clasificaciones para las diferentes formas corporales de los peces (ej. Webb 1984a,b). La forma corporal alargada, alineada con la corriente es característica de los nadadores rápidos, por otro lado los cuerpos comprimidos lateralmente de los peces arrecifales con forma de diamante denotan una alta maniobrabilidad.

Debido a su naturaleza, los peces requieren ser altamente eficientes para el nado, por lo tanto la selección natural, ha favorecido las formas que ayudan a la disminución de la cantidad de energía necesaria para la aceleración y el mantenimiento del nado y de esta forma aumentar la cantidad de recursos asignados para el crecimiento y la reproducción. Una forma de ahorrar dicha energía para el nado es a través de una forma que disminuya el arrastre debido a la fricción y a la presión. Una forma esférica presenta la mínima área superficial y por lo tanto ofrece el menor arrastre atribuible a la fricción. Por

otro lado el arrastre por presión es mínimo para una forma corporal muy delgada en forma de aguja con su eje longitudinal paralelo al flujo. De esta manera, la forma corporal ideal en un pez para la minimización del arrastre, tendría que ser una especie de híbrido entre las formas de la esfera y la aguja. Para medir que tanto se acerca a dicha forma el cuerpo de un pez, se calcula el coeficiente que resulta de la relación entre la altura máxima y la longitud estándar (A/L). Formas con un valor de $A/L = 0.22$ presentan un mínimo de arrastre debido a la fricción, mientras que si el valor es $A/L = 0.24$ presentan el mínimo de arrastre debido a la presión (Videler, 1993).

Otra forma de estimar las propiedades hidrodinámicas en un pez, es a través de la relación entre la longitud estándar y la altura máxima de cada individuo. Esta estimación es denominada relación de fineza y se representa:

$$1.1 \quad F = L/A$$

Donde L es la longitud estándar del organismo y A la altura máxima. La forma corporal que disminuye al máximo el arrastre es 4.5 veces tan larga como su altura máxima. (Jobling, 1995).

1.8. Plasticidad Morfológica.

El cambio en las condiciones ambientales que experimenta una población, puede dar lugar a cambios en los patrones de mortalidad, crecimiento y fecundidad de sus miembros. La plasticidad fenotípica es el primer proceso que ocurre frente a la variación del medio, siendo una respuesta adaptativa de los individuos (Wotton, 1991). Esta respuesta puede

verse reflejada en cambios fisiológicos y conductuales que a su vez pueden tener consecuencias en la tasa de crecimiento, reproducción y sobrevivencia de los organismos. La plasticidad fenotípica no resulta en cambios en las frecuencias genotípicas dentro de la población, sino que estos tienen lugar dentro de una generación sin que ocurra un cambio genético. Estas respuestas pueden ser visualizadas como una respuesta táctica a nivel individual para enfrentarse a los cambios ambientales (Wotton, 1991).

El rango de la plasticidad fenotípica en un organismo depende de la habilidad del organismo para producir el fenotipo que maximice su desempeño en un determinado ambiente sin que el costo por ser plástico, sea demasiado alto (De Witt *et al.*, 1998).

En el presente trabajo se estudia la influencia de la velocidad de la corriente sobre la tasa de crecimiento, la tasa de alimentación y en algunas características morfológicas de peces juveniles de la especie *X. montezumae*, los cuales habitan en sistemas fluviales. Se puede estimar en condiciones de laboratorio si la velocidad de la corriente en distintas zonas dentro de un ambiente lótico artificial puede producir un efecto en la morfometría a partir de la expresión de la plasticidad fenotípica que puedan poseer los juveniles de una población seleccionada de *X. montezumae*, evaluada a partir de la observación de diferencias entre individuos que se manifiesten en una forma más o menos hidrodinámica en relación a la velocidad de corriente a la que sean expuestos.

2. Objetivos.

- Estimar en juveniles de *X. montezumae* expuestos a diferentes velocidades de corriente, la plasticidad morfológica a partir del cambio en la longitud estándar, la altura máxima, la relación de fineza, la relación altura máxima/longitud estándar, el ancho del pedúnculo caudal, la superficie corporal, la amplitud de la aleta dorsal, el área de la aleta caudal y la amplitud de la aleta caudal.
- Estimar el efecto de la velocidad de corriente sobre la tasa de crecimiento de juveniles de *X. montezumae*.
- Estimar el efecto de la velocidad de corriente sobre la tasa de alimentación de juveniles de *X. montezumae*.
- Estimar el factor de condición de los juveniles de la especie después de la exposición a diferentes velocidades de corriente.

3. Hipótesis.

- Si el costo energético asociado al nado se incrementa con el aumento en la velocidad de corriente, se espera que la tasa de alimentación aumente.
- Si el costo energético asociado al nado se incrementa con el aumento en la velocidad de corriente, se espera que la asignación energética para el crecimiento se vea disminuida en caso de que la ingestión no se incremente.
- Si los caracteres morfológicos de los juveniles de *X. montezumae* son plásticos, se espera que los peces expuestos a mayores velocidades de corriente adquirirán durante el crecimiento una forma más hidrodinámica, en comparación con los expuestos a menores velocidades.
- Si las condiciones experimentales, incluyendo la velocidad de la corriente no sobrepasan los límites naturales de la especie y los peces no se ven afectados de manera negativa, se espera que el factor de condición sea constante durante el experimento.

4. Metodología.

Se utilizaron 20 peces juveniles de la especie *X. montezumae* criados en el laboratorio de la Facultad de Ciencias de la UNAM, en tanques de 60 l, a una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, a una salinidad de 5 ppm.

El agua para el mantenimiento y aclimatación de los peces se preparó previamente utilizando 7.5 ml de inhibidor de amonio (Amonia Detox) y 27 g de sal s/yodo por cada 100 litros de agua, la salinidad se ajusto a 5 ppm (5 mg de sal Instant Ocean por litro de agua).

Los peces se aclimataron previamente al experimento en tanques de 30l; a estos se les colocó un filtro Marine Land Penguin Bio Wheel 110 PF110B para mantener el agua en condiciones químicas adecuadas.

La aclimatación se llevó a cabo bajo un fotoperiodo de 12 h de luz y 12 de oscuridad y un flujo de corriente nulo. La temperatura del agua se incrementó 1°C cada día hasta alcanzar una temperatura de $28 \pm 1^\circ\text{C}$, para esto se utilizó un termostato Thermal Pre- Set de 150W marca Hagen. Los peces fueron alimentados desde su nacimiento hasta una semana antes de iniciar el experimento con alimento comercial en hojuelas (Tetramin Tropical), una semana antes del experimento se cambio el alimento a tubifex deshidratado.

Los tanques donde se llevó a cabo el experimento fue de 70 cm de largo, 20 cm de alto y 20 cm de ancho; dentro de estos se colocó una bomba Astro 2000 AC 110v/60Hz 28.2 W, H max 1.9 m Q. max 1800l/h, y un

poliedro de 10.3 cm x 10.3 cm fabricado con popotes de 13 cm de largo y 0.1 mm de diámetro para generar un flujo laminar a lo largo del canal de nado donde se colocaron los peces. El diseño del tanque experimental permitió la recirculación del agua dentro del sistema (Fig. 3).

Antes de dar inicio al experimento se llenaron los tanques y se pusieron a funcionar las bombas durante 24 horas, registrando la temperatura y ajustando un flujo diferente para cada acuario.

La velocidad de la corriente se midió inyectando en la corriente de agua azul de metileno con una jeringa, midiendo el tiempo necesario para que el colorante recorriera dentro del canal de nado una distancia de 20 cm. Las velocidades a las que se ajustó la corriente fueron 0, 4.1, 7.8 y 12.9 cm/s, siendo este, un rango de velocidad de corriente similar al encontrado en la naturaleza (Kruesi, 2004). Posteriormente, esta velocidad se dividió entre la longitud estándar promedio de los peces para calcular la velocidad en LC/s (0, 1.4, 2.8 y 4.7 LC/s).

Se formaron cuatro grupos de 5 individuos, cada grupo fue colocado en un acuario con una diferente velocidad de corriente, a lo largo de los 32 días de duración del experimento se mantuvo la temperatura a $28 \pm 1^\circ\text{C}$ utilizando un termostato Radiant de 25W marca Hagen.

Los peces fueron aislados de cualquier perturbación externa utilizando una cubierta de plástico negro alrededor de cada uno de los cuatro acuarios experimentales. Se registraron diariamente el flujo y la temperatura de cada acuario a lo largo del experimento.

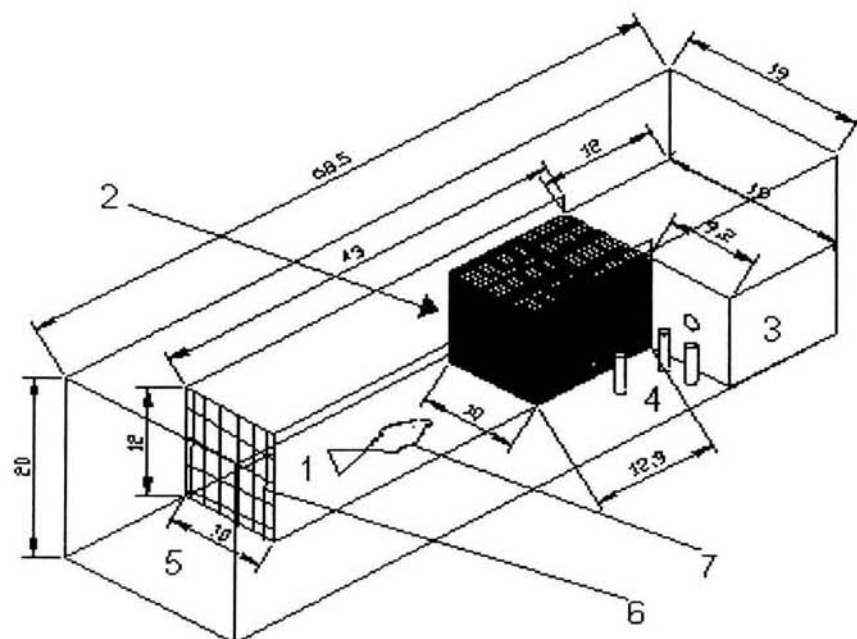


Fig 3. Esquema del tanque experimental, 1. Canal de nado, 2. Poliedro de popotes para flujo laminar, 3. Cámara de turbulencia para la generación del flujo laminar, 4. Repisa para la Bomba, 5. Tanque externo, 6. Red para evitar el escape de los organismos, 7. Organismo nadando contra el flujo laminar.

Las medidas morfométricas de cada uno de los peces se estimaron dos días antes de colocar a los organismos en los acuarios experimentales, para ello se les tomó una fotografía previa a su colocación en los acuarios utilizando una cámara digital, colocando a los peces encima de un acetato y utilizando una regla como medida de referencia.

Las fotografías se analizaron utilizando el programa Image J disponible en internet (<http://rsb.info.nih.gov/ij>), con el cual se midieron las distintas características morfométricas de cada pez.

Posteriormente, los organismos fueron pesados en una balanza analítica Sartorius CE (± 0.0001 g). Se registró el peso final de los organismos al término del experimento y se calculó la tasa de crecimiento para cada uno de los organismos. Las tasas de crecimiento para cada pecera se obtuvieron a partir de la diferencia del peso inicial y final de cada pez y se dividió entre los 32 días de duración del experimento para obtener la tasa de crecimiento en mg/día/organismo.

Posteriormente, se les tomó una segunda fotografía. Con base en las fotografías tomadas antes y después del experimento se pudieron estimar las diferencias en longitud estándar, altura máxima, relación de fineza, área, amplitud de las aletas dorsal y caudal, área de la aleta caudal y distancia de la boca a la aleta dorsal de cada uno de los organismos después de la exposición a las diferentes velocidades de corriente.

Durante el experimento los peces fueron alimentados diariamente con cubos de tubifex deshidratado de 0.23g promedio.

Se midió el peso seco de los cubos de tubifex en una balanza analítica Sartorius CE antes de colocarlos dentro de los acuarios y en un tanque sin peces se colocó un cubo control. Después de cuatro horas se retiraron los cubos residuales de cada uno de los acuarios, así como el control y se secaron en una estufa a 60° C por un lapso de 24 horas para volver a pesarlos.

La tasa de ingestión se calculó a partir de la diferencia del peso seco inicial y final del alimento ingerido por día para cada acuario, posteriormente al peso seco total de cada cubo se le restó el peso seco total del control, este

resultado se dividió entre el número de peces que había en cada acuario, así se obtuvo la cantidad de alimento ingerido en mg/día/organismo.

La utilización del alimento se calculó para cada organismo dividiendo la tasa de crecimiento entre la tasa de ingestión promedio.

Para el manejo de los datos se utilizó el programa Excel, los análisis estadísticos se hicieron en el programa Statistica. Se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para estimar si existían diferencias significativas ($p < 0.05$) en la cantidad de alimento ingerido entre las velocidades de corriente y así como en el tiempo. Se utilizó un análisis no paramétrico de Kruskal Wallis para estimar las diferencias en la utilización de alimento de los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente.

Así mismo se utilizó dicho análisis (Kruskal Wallis), para estimar si existían diferencias significativas ($p < 0.05$) en el peso inicial, en el peso final y en la tasa de crecimiento con relación a las velocidades de corriente y para estimar las posibles diferencias en los caracteres merísticos se utilizó una prueba de Kruskal Wallis, para cada variable morfométrica. Con el objeto de estimar las diferencias estadísticas en el crecimiento de los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente se utilizó una prueba de Duncan. Así mismo, se utilizaron pruebas de t para medir las diferencias en la fineza hidrodinámica y en la relación altura máxima/longitud estándar inicial y final de los peces expuestos a las cuatro velocidades de corriente, se calculó la R^2 del cambio en los caracteres morfométricos para establecer su relación con el aumento en la velocidad de la corriente.

5. Resultados.

Durante los periodos de aclimatación y experimentación no se observó mortalidad en los organismos; así mismo, los peces no mostraron signos de enfermedad o infección por organismos parásitos.

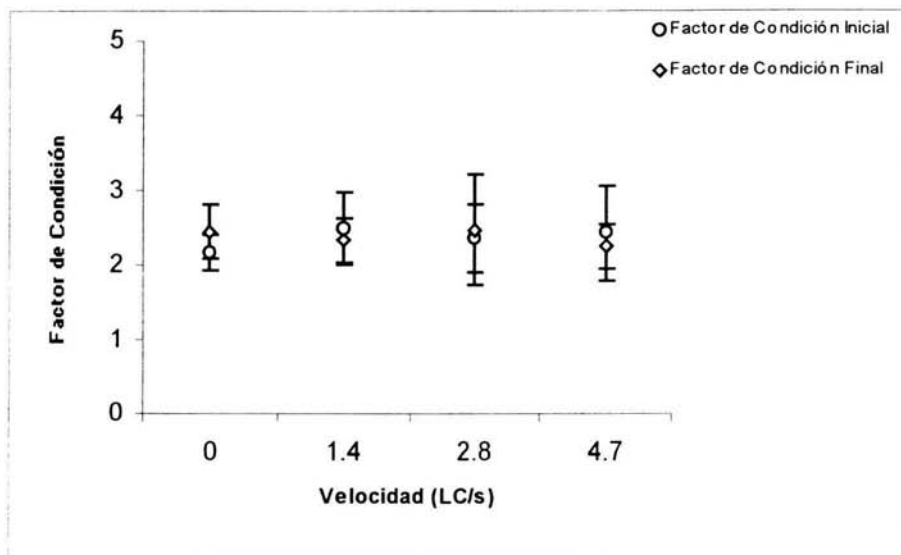


Fig. 4 Factor de condición al inicio y término del experimento para las cuatro velocidades de corriente, se señalan los valores promedio y los errores estándar asociados.

Los resultados mostraron que los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente (0, 1.4, 2.8 y 4.7 largos corporales sobre segundo LC/s), no mostraron diferencias significativas en el factor de condición entre, tanto al inicio (Kruskal Wallis $H_{3,20} = 0.79$; $P = 0.85$; Fig. 4), como al final del experimento (Kruskal Wallis $H_{3,20} = 0.33$; $P = 0.96$; Fig. 4).

5.1. Tasa de ingestión

La tasa de ingestión de los peces se modificó a lo largo del tiempo (Tabla 3). Durante la primera semana de exposición, los peces comieron significativamente menos que durante la segunda semana, siendo en esta semana que la tasa de ingestión de los peces llegó a su máximo de forma significativa (Fig. 5, Tabla 4). La menor tasa de ingestión se presentó durante la tercera semana, pero en la cuarta semana los peces comieron significativamente más que en la tercera semana (Fig. 5, Tabla 4).

Tabla 3. Resultado del análisis de varianza (ANOVA) de dos vías de la tasa de ingestión de los juveniles de *X. montezumae* durante las cuatro semanas de exposición en las cuatro velocidades de corriente.

MANOVA	df	MS	Df error	MS error	F	P- level
Tiempo (semanas)	3	433.84	112	28.32	15.32	0.00
Velocidad de corriente	3	2.72	112	41.69	0.07	0.98
Tiempo * Velocidad	9	9.64	112	28.32	0.34	0.96

Tabla 4. Diferencias entre la tasa de ingestión a lo largo del tiempo (semanas) de duración del experimento.

Prueba de Tukey	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Ingestión (semanas)	M = 9.93	M = 16.09	M = 7.30	M = 11.15
Semana 1		0.00	0.20	0.80
Semana 2	0.00		0.00	0.00
Semana 3	0.20	0.00		0.02
Semana 4	0.80	0.00	0.02	

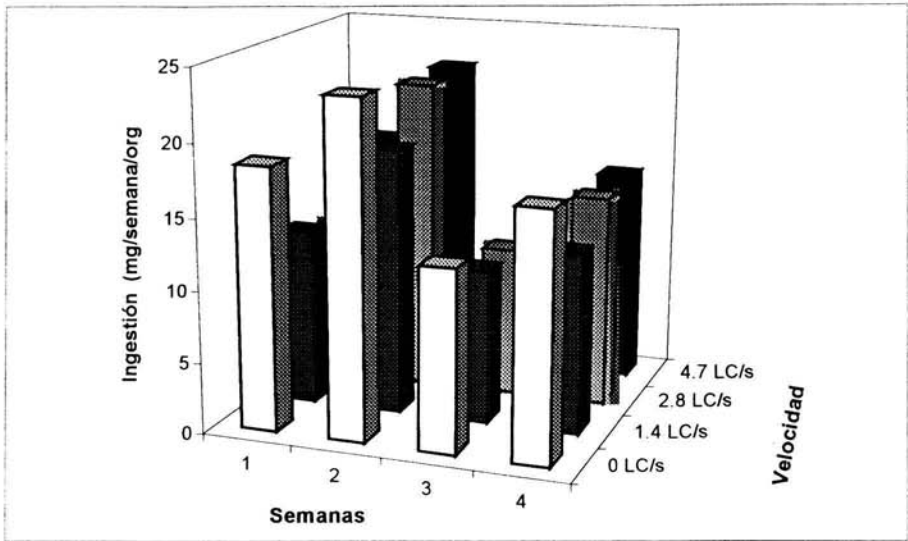


Fig. 5. Tasa de ingestión a lo largo del tiempo, en las distintas velocidades de corriente.

No se observaron diferencias significativas en la tasa de ingestión promedio entre las diferentes velocidades de corriente (Fig. 6, Tabla 3).

Por otro lado, si se encontraron diferencias significativas en la utilización del alimento para el crecimiento, en los peces expuestos a las velocidades de corriente experimentales ($Kruskal\ Wallis\ H_{3,20} = 11.53; P = 0.01$; Fig. 7). La utilización del alimento de los peces controles fue significativamente mayor que la de los peces expuestos a las velocidades de 1.4 y 2.8 LC/s (Tabla 5).

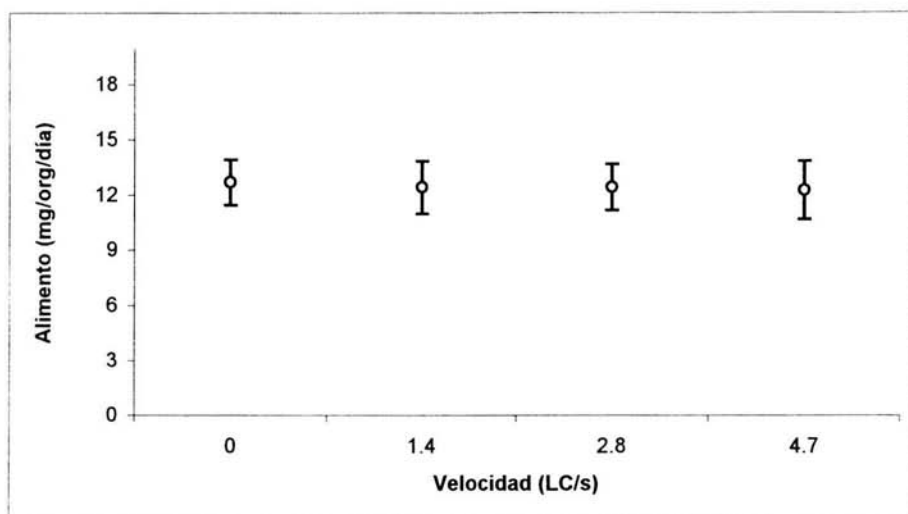


Fig. 6. Tasa de ingestión de los peces expuestos a las cuatro velocidades de corriente, se señalan los valores promedio y los errores estándar asociados.

Tabla 5. Diferencias entre la utilización del alimento de los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente.

Prueba de Duncan	0 (LC/s)	1.4 (LC/s)	2.8 (LC/s)	4.7 (LC/s)
Utilización de alimento	M = 0.80	M = 0.54	M = 0.50	M = 0.65
0 (LC/s)		0.01	0.00	0.07
1.4 (LC/s)	0.01		0.58	0.22
2.8 (LC/s)	0.00	0.58		0.10
4.7 (LC/s)	0.07	0.22	0.10	

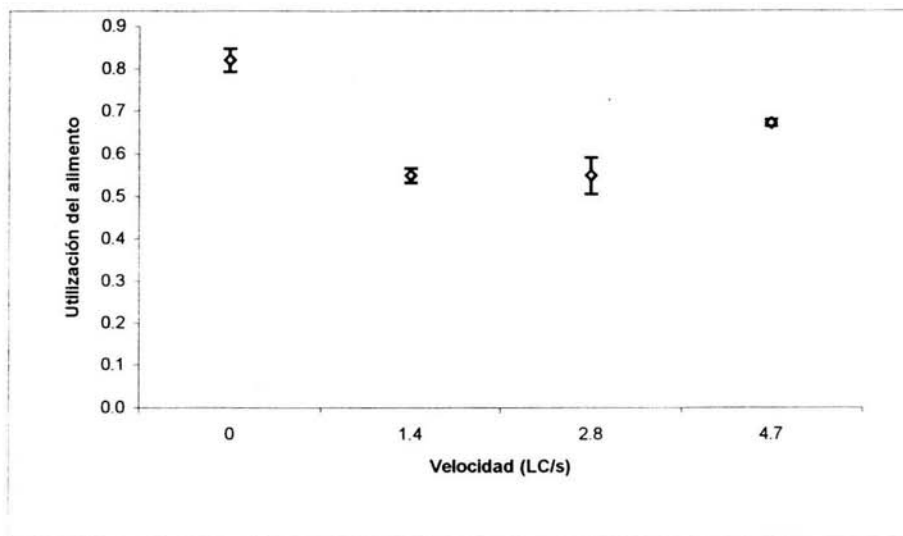


Fig. 7. Utilización de alimento de los peces expuestos a las velocidades de corriente, se señalan los valores promedio y los errores estándar asociados.

5.2. Tasa de crecimiento

El peso húmedo inicial de los peces antes de ser expuestos a las diferentes velocidades de corriente fue similar en los cuatro grupos (Kruskal Wallis $H_{3, 20} = 0.58$; $P = 0.90$). Después de 31 días de exposición a las diferentes velocidades de corriente no se observaron diferencias significativas en el peso húmedo final de los peces. (Kruskal Wallis $H_{3, 20} = 3.97$; $P = 0.26$).

La velocidad de corriente tuvo un efecto significativo sobre la tasa de crecimiento de los juveniles de *X. montezumae* (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 11.82$; $P = 0.01$; Fig. 8).

Tabla 6. Diferencias entre la tasa de crecimiento de los peces expuestos a las cuatro velocidades de corriente de acuerdo a la prueba de Duncan.

Test de Duncan	0 (LC/s)	1.4 (LC/s)	2.8 (LC/s)	4.7 (LC/s)
Tasa de crecimiento	M = 326	M = 216	M = 198	M = 254
0 (LC/s)		0.00	0.00	0.04
1.4 (LC/s)	0.00		0.59	0.26
2.8 (LC/s)	0.00	0.59		0.12
4.7 (LC/s)	0.04	0.26	0.12	

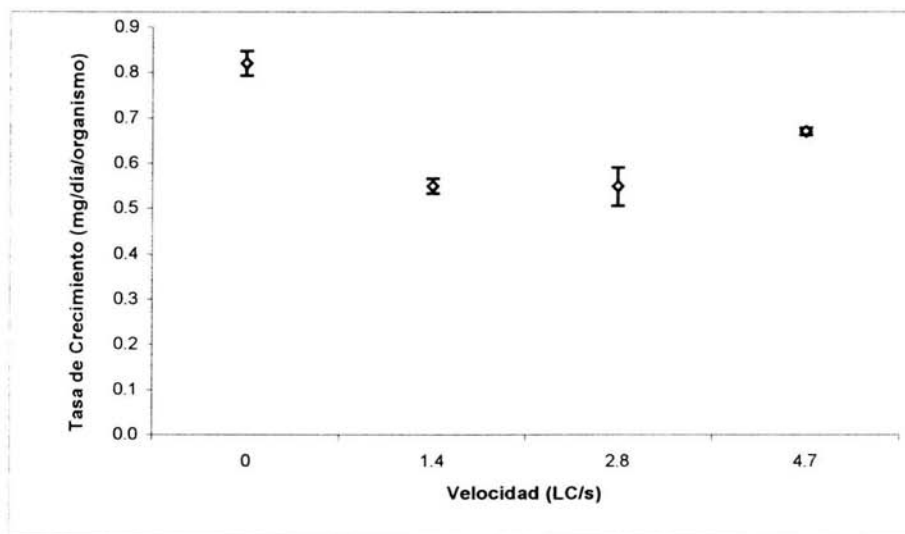


Fig. 8. Tasa de crecimiento de los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente, se señalan los valores promedio y los errores estándar asociados.

La tasa de crecimiento del grupo control fue significativamente mayor que la tasa de crecimiento de los peces expuestos a 1.4, 2.8 y 4.7 LC/s,

(Tabla 6). Con una disminución en la tasa de crecimiento del 33.8%, 39.3% y 22.1% respectivamente, (Fig. 8; Tabla 6).

5.3. Morfología.

5.3.1. Longitud.

La longitud estándar de los peces al inicio del experimento fue similar para los cuatro grupos experimentales (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 0.41$; $P = 0.94$).

Así mismo, no se encontraron diferencias significativas entre la longitud estándar final de los peces expuestos a las cuatro velocidades experimentales (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 2.07$; $P = 0.56$). Por lo que el cambio en la longitud estándar fue similar en las cuatro velocidades de corriente utilizadas durante el experimento (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 0.74$; $P = 0.86$; Fig. 9).

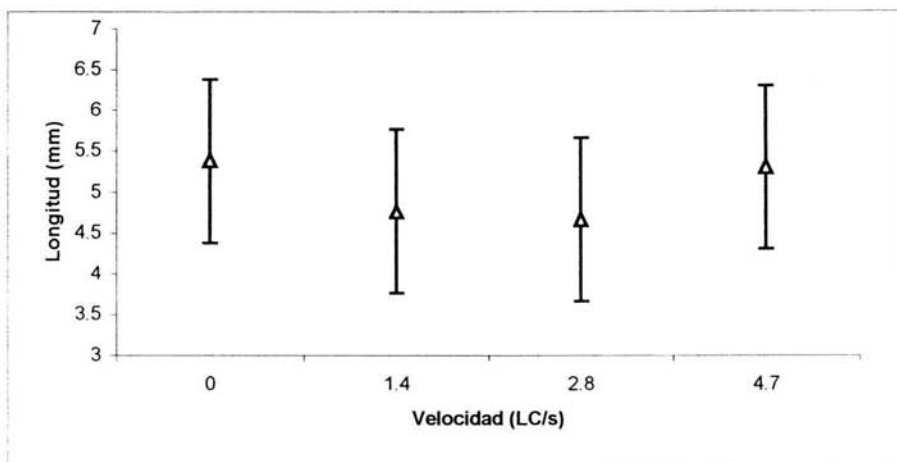


Fig. 9. Cambio en la longitud estándar de los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente, se señalan los valores promedio y los errores estándar asociados.

5.3.2. Altura.

La altura de los peces expuestos a las cuatro velocidades experimentales fue similar al inicio (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 1.33$; $P = 0.72$) y al final del experimento (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 2.57$; $P = 0.46$).

Al término del experimento, los peces expuestos a las cuatro velocidades de corriente experimentales tuvieron un cambio en altura similar (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 1.14$; $P = 0.77$; Fig. 10). Sin embargo se encontró una tendencia hacia la disminución de la altura con el aumento en la velocidad de la corriente (Fig. 10).

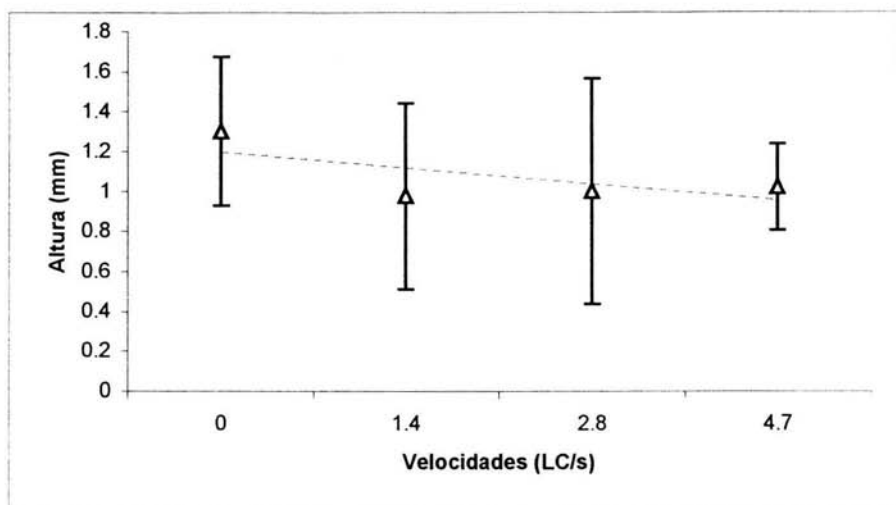


Fig. 10. Cambio en altura de los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente. Se muestra la línea de tendencia que describe la relación entre el cambio en la altura y la velocidad de la corriente, se señalan los valores promedio y los errores estándar asociados.

5.3.3. Relación de Fineza hidrodinámica (FH).

La relación de fineza hidrodinámica fue similar entre los cuatro grupos de peces antes de ser expuestos a las velocidades de corriente (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 3.39$; $P = 0.33$), así como al final del experimento (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 2.31$; $P = 0.51$; Fig. 11).

No se encontraron diferencias significativas entre la FH inicial y final, entre las cuatro velocidades experimentales (Tabla 7).

Sin embargo, se encontró una tendencia al aumento de la FH con relación al incremento en la velocidad de la corriente (Fig. 11).

Tabla 7. Diferencias entre FH inicial y FH final en las cuatro velocidades de corriente.

Prueba t	0 (LC/s)	1.4 (LC/s)	2.8 (LC/s)	4.7 (LC/s)
P(T <= t)1cola	0.13	0.07	0.06	0.08

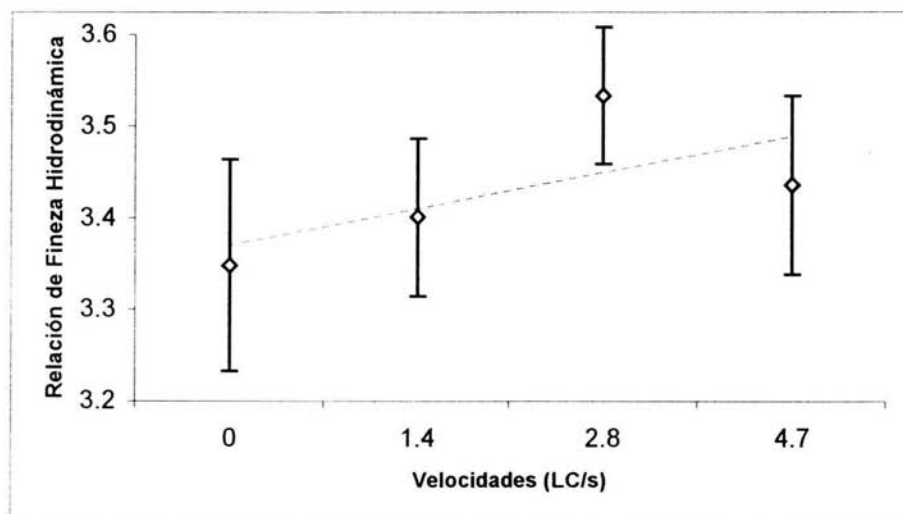


Fig. 11. Relación de Fineza hidrodinámica (FH) de los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente al término del experimento. Se muestra la línea de tendencia que describe el comportamiento de la FH final en función de la velocidad y se señalan los valores promedio y los errores estándar asociados.

5.3.4. Relación Altura máxima/ Longitud estándar.

La relación altura máxima/ longitud estándar fue similar entre los cuatro grupos de peces antes de ser expuestos a las velocidades de corriente (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 3.39$; $P = 0.33$)

Al final del experimento no se encontraron diferencias significativas entre la relación altura máxima/ longitud estándar de los peces expuestos a las

cuatro velocidades de corriente (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 2.31$; $P = 0.51$; Fig. 12).

No se encontraron diferencias significativas entre la relación altura máxima/longitud estándar inicial y final, en ninguna de las cuatro velocidades experimentales (Tabla 8).

Sin embargo, observó una tendencia a la disminución de la relación altura máxima/longitud estándar final con el aumento en la velocidad de la corriente (Fig. 12).

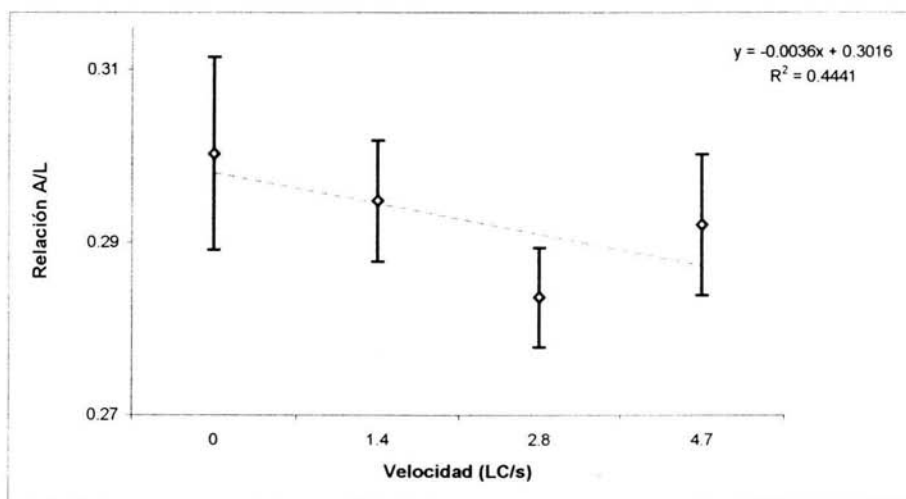


Fig. 12. Relación altura máxima/longitud estándar de los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente al término del experimento. Se muestra la línea de tendencia que describe el comportamiento de la relación altura máxima/longitud estándar final en función de la velocidad y se señalan los valores promedio y los errores estándar asociados.

Tabla 8. Diferencias entre A/L inicial y A/L final en las cuatro velocidades de corriente.

Prueba t	0 (LC/s)	1.4 (LC/s)	2.8 (LC/s)	4.7 (LC/s)
P(T < = t)cola	0.15	0.06	0.06	0.09

5.3.5. Superficie Corporal.

Al inicio del experimento, la superficie corporal fue similar en los cuatro grupos experimentales (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 1.27$; $P = 0.74$). Al término del experimento no se encontraron diferencias significativas en la superficie corporal de los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 1.03$; $P = 0.79$). Así mismo, los cuatro grupos de peces tuvieron un cambio similar en superficie corporal durante el experimento (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 1.29$; $P = 0.73$; Fig. 13).

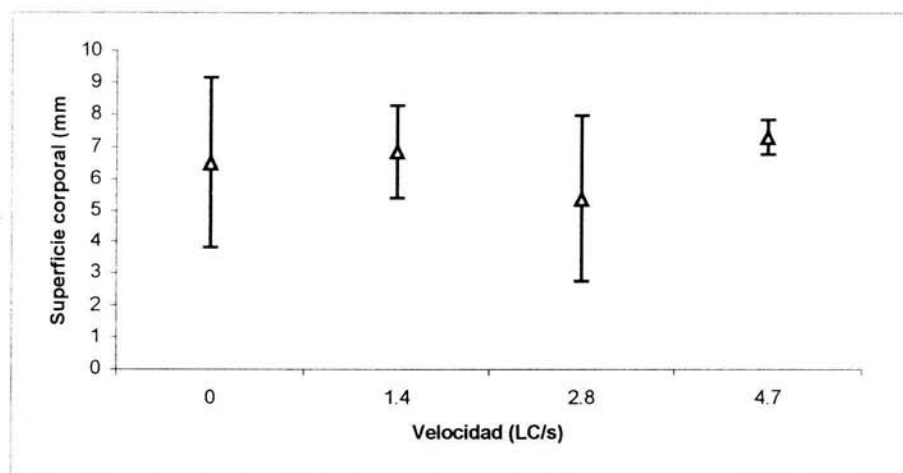


Fig. 13. Cambio en Superficie corporal de los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente se señalan los valores promedio y los errores estándar asociados.

5.3.6. Ancho del Pedúnculo Caudal.

Al inicio del experimento, los peces presentaron medidas similares en el ancho del pedúnculo caudal (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 2.62$; $P = 0.44$); al término del mismo, los peces mantuvieron la similitud de medidas en el ancho del pedúnculo caudal (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 1.65$; $P = 0.65$). Así mismo, no se encontraron diferencias significativas en el cambio en el ancho del pedúnculo caudal, de tuvieron los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 2.85$; $P = 0.42$; Fig. 14). Sin embargo, se encontró una relación entre el cambio del ancho del pedúnculo caudal y la velocidad de la corriente (Fig. 14).

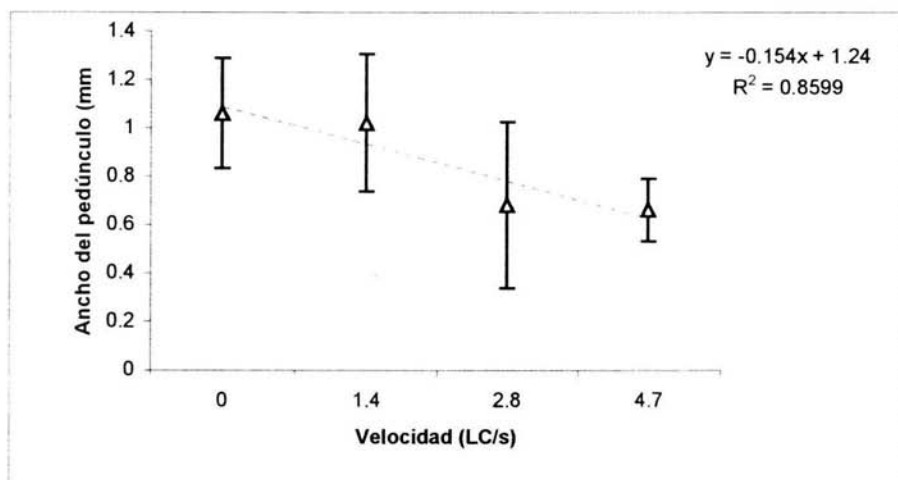


Fig. 14. Cambio en Ancho del Pedúnculo caudal de los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente. Se muestra la línea de tendencia que describe la relación entre el cambio en el ancho del pedúnculo y la velocidad de la corriente y se señalan los valores promedio y los errores estándar asociados.

5.3.7. Amplitud de la Aleta Dorsal.

La amplitud de la aleta dorsal antes del experimento fue similar en los cuatro grupos experimentales (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 3.30$; $P = 0.35$). Al término del experimento no se presentaron diferencias significativas en la amplitud de la aleta dorsal de los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = .04$; $P = 0.99$). El cambio en la amplitud de la aleta dorsal fue similar en los peces de los cuatro grupos expuestos al tratamiento experimental (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 2.41$; $P = 0.49$); Fig. 15). Observándose una relación en el cambio en la amplitud de la aleta dorsal con la velocidad de la corriente (Fig. 15).

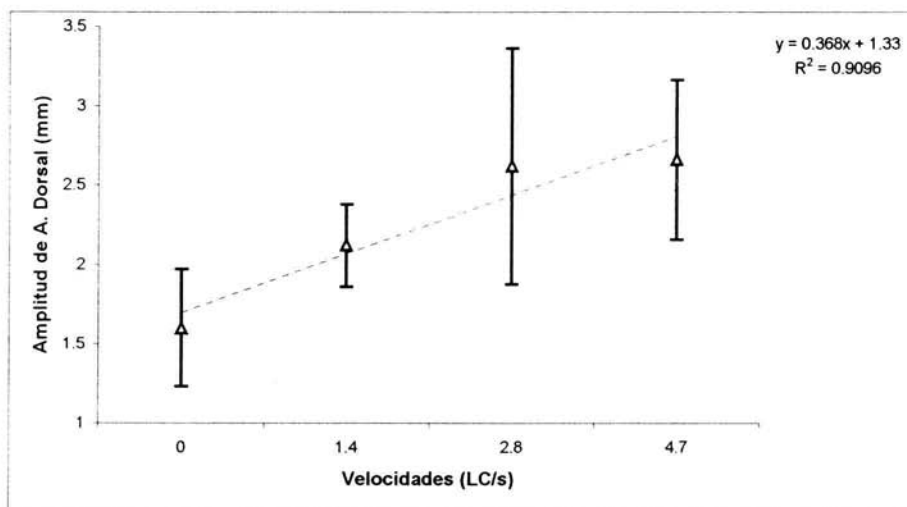


Fig. 15. Cambio en Amplitud de la aleta dorsal de los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente. Se muestra la línea de tendencia que describe la relación entre el cambio en la amplitud de la aleta dorsal y la velocidad de la corriente y se señalan los valores promedio y los errores estándar asociados.

5.3.8. Amplitud de la Aleta Caudal.

Al de iniciar el experimento la amplitud de la aleta caudal fue similar en los peces expuestos a las distintas velocidades de corriente (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 2.72$; $P = 0.44$). Al término del tratamiento no se encontraron diferencias significativas entre la amplitud de la aleta caudal de los peces experimentales (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 1.72$; $P = 0.63$), siendo el cambio en la amplitud de la aleta caudal fue similar en los peces de los cuatro tratamientos (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 3.46$; $P = 0.33$; Fig. 16). Sin embargo se observó una relación entre el cambio en la amplitud de la aleta caudal y la velocidad de la corriente (Fig. 16).

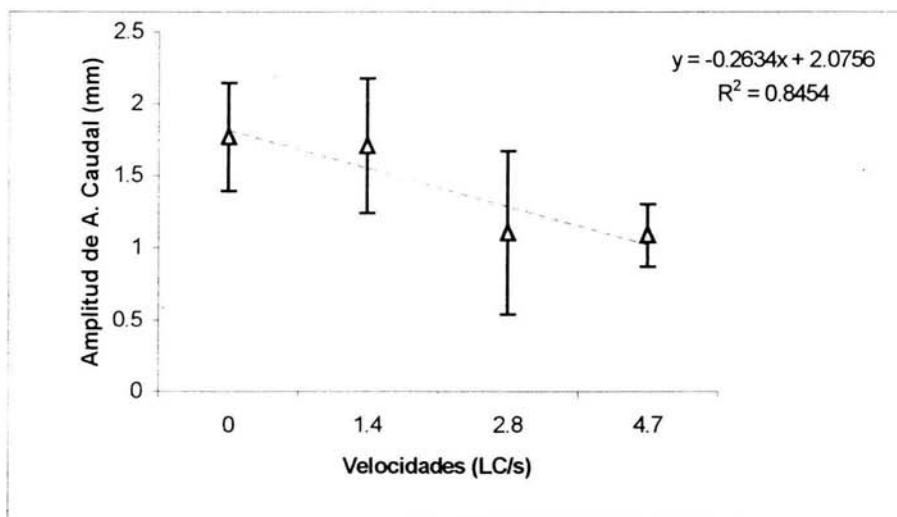


Fig. 16. Cambio en Amplitud de la Aleta Caudal de los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente. Se muestra la relación entre el cambio en la amplitud de la aleta caudal y la velocidad de la corriente y se señalan los valores promedio y los errores estándar asociados.

5.3.9. Área de la Aleta Caudal.

El área de la aleta caudal, al inicio del experimento fue similar en los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 1.12$; $P = 0.77$); al término del mismo no se encontraron diferencias significativas en el área de la aleta caudal de los peces experimentales (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 4.18$; $P = 0.24$). El cambio en el área de la aleta caudal fue similar en los cuatro grupos de peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente (Kruskal Wallis, $H_{3, 20} = 4.55$; $P = 0.21$; Fig. 17).

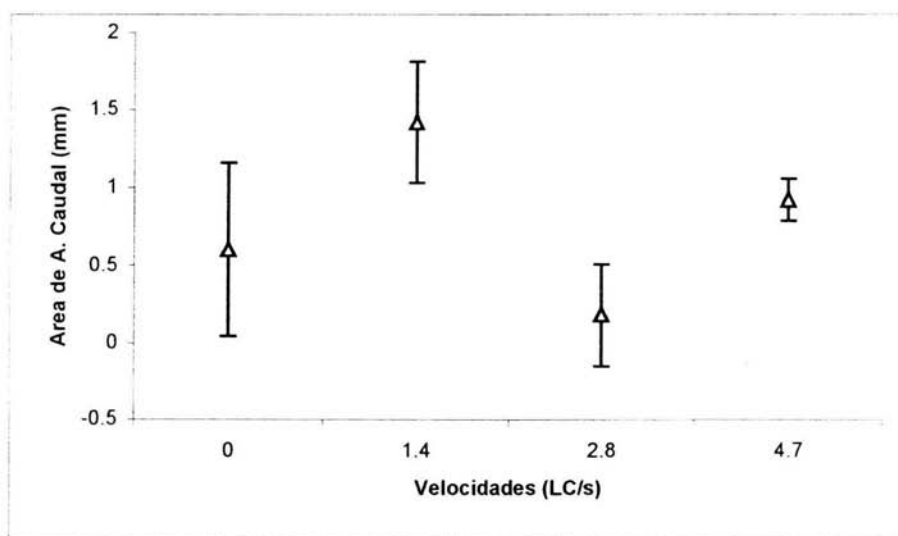


Fig. 17. Cambio en el área de la aleta caudal en los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente, se señalan los valores promedio y los errores estándar asociados.

6. Discusión

En este estudio, la velocidad de la corriente modificó la tasa de crecimiento y algunas características morfométricas de los juveniles de la especie *Xiphophorus montezumae*. En cuanto al crecimiento se encontró que con el aumento en la velocidad de la corriente (1.4, 2.8 y 4.7), la tasa de crecimiento de los juveniles fue 33.8%, 39.3% y 22.1% menor respectivamente, respecto a la tasa de crecimiento de los peces controles mantenidos en agua estática.

La información referente al crecimiento en peces expuestos a condiciones de nado contra diferentes velocidades de corriente es contradictoria, pues la respuesta parece variar dependiendo de la especie y de la velocidad de corriente (Davison, 1997). Los resultados del presente estudio concuerdan con otros estudios en donde se reporta una disminución en la tasa de crecimiento en mayores velocidades de corriente (Davison, 1997). Por ejemplo, en la carpa dorada (*Carassius auratus*), la exposición al nado contra diferentes velocidades de corriente durante 28 días disminuyó la tasa de crecimiento. En estos peces expuestos a una velocidad de 1.5 LC/s la tasa de crecimiento fue similar a la de los controles mantenidos en agua estática; sin embargo, cuando fueron expuestos a las velocidades de 3 y 4.5 LC/s, la tasa de crecimiento disminuyó en un 7% y 18%, respectivamente. En *Xiphophorus montezumae*, después de 32 días, la tasa de crecimiento disminuyó en peces expuestos a velocidades de 1.4, 2.8 y 4.7 LC/s. En la carpa dorada este

retraso en el crecimiento se explicó por una baja eficiencia de conversión alimentaria, debida a la liberación de hormonas asociadas al estrés, generando cambios en la actividad anabólica y catabólica. Los autores sugieren que dicho estrés en la carpa dorada se debe a que es un organismo que se encuentra en la naturaleza en agua estática o en aguas con movimiento lento (Davison y Goldspink, 1977). *Xiphophorus montezumae* es una especie que habita en sistemas fluviales con velocidades de corriente de 2 a 10 cm/s, consideradas moderadas, encontradas en las cabeceras de ríos o manantiales (Kruesi, 2004). Por otro lado, en peces juveniles de la especie *Leuisiscus cephalus*, expuestos a velocidades de corriente de 3-5 LC/s durante 2 meses, la tasa de crecimiento se mantuvo similar a la de los controles mantenidos en agua estática (Lackner *et al.*, 1988); lo mismo sucede en *Chondrostoma nasus* expuestos a nado continuo por 17 semanas a velocidades de corriente de 2 LC/s (Sanger, 1992), en el salmón "chinook" *Oncorhynchus tshawytscha*, en organismos expuestos durante 8 meses a velocidades de corriente de 1.5 LC/s (Thorarensen *et al.*, 1993; Kiessling *et al.*, 1994) y en larvas del pez zebra (*Danio rerio*) expuestas durante 2, 6 y 11 días a velocidades de corriente de 0, 2 y 5 LC/s, respectivamente (Bagatto *et al.*, 2001).

En este estudio a pesar de que la tasa de crecimiento disminuyó en los peces expuestos a las velocidades de corriente mayores a 0 LC/s, el hecho de que el factor de condición halla sido similar tanto al inicio como al final del experimento en las diferentes velocidades de corriente, sugiere que los organismos se mantuvieron en buenas condiciones a lo largo del experimento y

que las condiciones de exposición se mantuvieron dentro de los límites naturales de la especie.

Debido a que el aumento en la actividad de nado genera gastos energéticos, un incremento en la velocidad de la corriente puede influir en la tasa de alimentación de un organismo que habita en un río, así como en su eficiencia de conversión alimentaria (Davison 1997). En *X. montezumae* se esperaba encontrar un incremento en la tasa de ingestión en las mayores velocidades de corriente para compensar el gasto energético, sin embargo esto no ocurrió.

La disminución del crecimiento con el aumento de la velocidad pudo deberse a que los peces expuestos a una mayor velocidad de corriente, asignaron una mayor cantidad de la energía para el mantenimiento de la actividad de nado; como resultado de esta demanda energética y sin un aumento en la ingestión, disminuyó la cantidad de energía asignada para el crecimiento. Estos resultados difieren de los obtenidos en otras especies donde la eficiencia de conversión alimentaria (entendida como la cantidad de alimento ingerido por un pez relacionada con su aumento en masa), se incrementa en peces expuestos a velocidades de corriente moderadas, por ejemplo en *Chalcalburnus chalcoides*, alimentado con raciones del 4 al 5 % de su masa corporal, los peces expuestos a velocidades de corrientes de 2.5 a 3.5 LC/s pesaron un 35% más que los controles y tuvieron un factor de condición mayor después de 81 días de tratamiento (Hinterleitner *et al.*, 1992). Así mismo en *Salmo salar*, después de 63 días de exposición a velocidades de 1.5

LC/s, alimentados con un 3% de su masa corporal, los peces crecieron un 30% más que los controles (Jorgensen y Jobling, 1993). Existen otros ejemplos con resultados similares donde la eficiencia alimentaria aumenta con la exposición a velocidades de corriente moderadas (Davison y Golspink, 1977; Farrel *et al.*, 1991; Houlihan y Laurent, 1987; Christiansen *et al.*, 1989-1992; East y Magnan, 1987; Woodward y Smith, 1985; Young y Cech, 1994; Hammer, 1994).

Diversos experimentos realizados principalmente en salmónidos han demostrado que raciones diarias de alimento del 6% del peso inicial permiten un rápido crecimiento en los peces aun a velocidades mayores a los 3.5 LC/s (White y Li, 1985). Sin embargo, los juveniles de *X. montezumae* ingirieron alimento en un 5.7% de su peso corporal, lo cual parece no haber sido suficiente para que mantuvieran su tasa de crecimiento. Es importante considerar que los salmónidos son organismos altamente capacitados para enfrentar velocidades de corriente; en contraste los peces del género *Xiphophorus* habitan en sistemas con velocidades de corriente moderadas (Meffe y Snelson, 1989). A pesar de esto, algunos experimentos realizados en distintas especies como *Gadus morhua*, *G. virens* y *Carassius auratus*, han demostrado que aun con raciones máximas de alimento, el crecimiento se mantiene e inclusive se ve retrasado al exponer a los peces a cualquier velocidad de corriente (Greer, 1971, 1973; Davidson, 1978).

Una de las hipótesis del presente estudio predecía que los individuos expuestos a las mayores velocidades de corriente tenderían a modificar su

morfometría hacia una forma más hidrodinámica que aquellos mantenidos en agua estática, sin embargo esto no se observó de manera clara en los resultados. A pesar de que no se encontraron diferencias significativas en las características morfométricas de los peces expuestos a las diferentes velocidades de corriente, se observó en todas ellas una tendencia plástica hacia una forma más hidrodinámica al aumentar la velocidad de la corriente.

En *X. montezumae*, el ancho del pedúnculo, la amplitud de la aleta caudal y el área de la misma tendieron a disminuir en las mayores velocidades de corriente, lo cual concuerda con las formas en que los peces pueden minimizar el arrastre donde los movimientos laterales más son más amplios y generan un mayor arrastre inducido durante el nado (Jobling, 1995). La reducción del área total de la aleta caudal, al igual que la concentración de la masa corporal y de la profundidad en la parte más anterior del cuerpo y el aumento de la longitud (forma más fusiforme), son otras formas de reducir el arrastre (Jobling, 1995). En este estudio, los juveniles de *X. montezumae*, se mantuvieron alineados contra la corriente durante el experimento, por lo que el aumento en la amplitud de la aleta dorsal con el incremento en la velocidad de la corriente pudo contribuir para el mantenimiento de dicha posición y un mejor desempeño de nado, al aumentar el poder de propulsión (Jobling, 1995).

Los peces pelágicos activos como los scómbridos, salmónidos y clupeidos poseen valores de fineza hidrodinámica cercanos a 4.5 presentando formas corporales hidrodinámicamente eficientes (Jobling, 1995). En *X. montezumae*, la relación de fineza hidrodinámica aumento de valores iniciales

promedio de 3.18 a valores finales promedio de 3.5 lo cual indica que la eficiencia hidrodinámica de los peces se incremento durante el experimento.

Así mismo, los coeficientes de la relación entre la altura máxima y la longitud estándar (A/L) que igualmente describen la eficiencia hidrodinámica (Videler, 1993), disminuyeron en *X. montezumae* después de la exposición en las diferentes velocidades de corriente de valores iniciales de 0.32 ± 0.009 a valores finales promedio de 0.28 ± 0.006 , con una tendencia hacia minimizar el arrastre, pero sin alcanzar el valor óptimo que se encuentra entre 0.24 y 0.22 (Videler, 1993). Así mismo, valores de 0.28 aumentan únicamente un 10% el arrastre mínimo, por ejemplo el atún de aleta azul *Thunnus thynnus* posee un valor de $A/L=0.28$, presentando una forma corporal eficientemente hidrodinámica (Videler, 1993). De manera similar, los juveniles de *X. montezumae* bajo la exposición al incremento en la velocidad de la corriente muestran una tendencia a modificar el cuerpo hacia una forma más hidrodinámica.

Un fenotipo más hidrodinámico, proporciona una forma que disminuye el arrastre, por lo tanto un cambio en la morfología que minimice dicho arrastre implica un beneficio para el individuo (Via *et al.*, 1995). Cuando los cambios morfológicos representan un beneficio, la plasticidad depende de la habilidad inherente al organismo de modificar sus características; es decir, de que su acervo genético sea suficiente y pueda expresarse de manera que los caracteres de dicho organismo sean plásticos en función del ambiente, en este caso la velocidad de corriente (Via *et al.*, 1995). Un ejemplo que sugiere que la

velocidad de la corriente efectivamente influye en las características de los peces dependiendo del medio en que habitan se ha observado en guppies (*Poecilia reticulata*), en los cuales se ha visto que el desempeño de nado es mayor en peces que habitan en las cabeceras de los ríos donde el agua fluye a mayor velocidad, respecto a los que viven en río abajo donde al estar restringidos por los depredadores ocupan los bancos del río con bajas velocidades de corriente (Nicoletto, 1999). Así mismo, se sabe a partir de otros estudios donde se ha estimado el efecto de la velocidad de la corriente, que en mayores velocidades los machos de guppies de la especie *Poecilia reticulata* muestran cuerpos más alargados, además de presentar un mayor desempeño de nado y despliegues conductuales más intensos, respecto a los machos mantenidos en menores velocidades (Nicoletto, 1996). De igual manera, *X. montezumae* presenta también una tendencia a alargar el cuerpo y disminuir su altura como muestran los valores de fineza hidrodinámica.

Una posible explicación por la que no se muestra una tendencia más clara hacia una morfología más hidrodinámica en los juveniles de *X. montezumae*, podría asociarse al tiempo de duración del experimento. En caracteres flexibles en cortos periodos, tales como conductuales y fisiológicos, el tiempo requerido para evidenciar una respuesta plástica al ambiente es menor que el requerido para un cambio en características morfológicas (West-Eberhard, 1989). Los juveniles de *X. montezumae* presentan una plasticidad morfológica limitada cuando son expuestos durante 32 días a diferentes velocidades de corriente; aunque se observan tendencias a adquirir una forma

más hidrodinámica con el aumento en la velocidad de acuerdo a las regresiones lineales. Sin embargo, al comparar los caracteres merísticos de los diferentes tratamientos los resultados no fueron significativos. Consideramos que el tiempo de tratamiento experimental fue suficiente para que se expresara un cambio en la morfometría dado que permitió que la talla se duplicara, así como para que pudiera observarse una relación entre el aumento en la velocidad de corriente y el cambio en el ancho del pedúnculo y en las amplitudes de las aletas caudal y dorsal.

De Witt *et al.* (1998), mencionan que no necesariamente todos los organismos deben de expresar plasticidad morfológica y en muchos casos la plasticidad tiene costos altos (DeWitt *et al.*, 1998). Existe una disyuntiva en cuanto a la morfología de los peces, aquellos con una forma corporal más hidrodinámica (cuerpo alargado) expresan mayor capacidad de nado sostenido y habilidades de maniobra limitadas; mientras que las formas de cuerpo alto exhiben gran habilidad de maniobra, aunque generan mayor arrastre durante el nado. Por ejemplo, en la carpa (*Carassius carassius*) en un mes de experimentación con dos morfotipos, se observó que en las formas de cuerpo alto el costo de nado es mayor, debido a que el arrastre hidrodinámico es mayor para estos morfotipos; de igual manera las carpas con cuerpos menos altos son capaces de nadar más rápido sin un gran incremento en el gasto de energía (Pettersson *et al.*, 1999). En *X. montezumae*, se observa una tendencia a disminuir la altura del cuerpo para enfrentarse a mayores velocidades de corriente y tener una fineza hidrodinámica mayor. Es probable

que el costo asociado a tener una forma más hidrodinámica en *X. montezumae* sin tener un mayor gasto de energía, se exprese en una disminución en las habilidades de escape y/o una menor eficiencia para la obtención de alimento (habilidad de maniobra). Por lo tanto se requieren más estudios para conocer si las tendencias que observamos corresponden a las características que maximizan el éxito de los organismos en su ambiente natural.

El nado es una actividad de las más representativas y de gran importancia en la adecuación de los peces (Plautt, 2000) lo que resalta la importancia de estudios como el presente, que permitan conocer como dicha actividad influye en la fisiología, en el desarrollo y morfología de los peces; así como en la manera en que el nado puede estar relacionado con conductas y mecanismos ecológicos que determinan las condiciones ambientales en que los peces habitan en la naturaleza.

7. Conclusiones.

- La exposición a las diferentes velocidades de corriente disminuyó la tasa de crecimiento de juveniles de la especie *Xiphophorus montezumae*.
- La tasa de alimentación no se modificó por la exposición a las velocidades de corriente en los juveniles de la especie *X. montezumae*.
- Los parámetros morfométricos medidos fueron afectados por la velocidad de la corriente, donde los cambios más evidentes fueron tendencias a: la disminución en el ancho del pedúnculo, la disminución en la amplitud de la aleta caudal y el aumento en la amplitud de la aleta dorsal. Así mismo, las relaciones de fineza hidrodinámica y de altura máxima/longitud estándar tendieron al óptimo de minimización del arrastre. Estas tendencias indican que la morfología de los peces es plástica hacia adquirir una forma más hidrodinámica cuando son expuestos a diferentes velocidades de corriente.

8. Referencias.

- Allan, J. D. 1995. **Stream Ecology. Structure and function of running waters.** Chapman & Hall. Great Britain. 388 pp.
- Bagatto, B.; Pelster, B.; Burggren, W. W. 2001. Growth and metabolism of larval zebrafish: effects of swim training. *J. Exp. Biol.* 204: 4335-4343.
- Barrett, B. A.; Mackeown, B. A. 1988. Sustained exercise increases plasma growth hormone concentrations in two anadromous salmonids. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 747-749.
- Basolo, A.L. 1996. The phylogenetic distribution of a female preference. *Syst. Biol.* 45: 296-307.
- Beamish, F. W. H. 1978. **Swimming capacity.** In W. S. Hoar and Randall (ed.) Fish physiology. Vol. VII. Academic Press, New York and London.
- Brett, J. R., and T. D. D. Groves. 1979. **Physiological energetics.** In Fish Physiology, Vol 8 (ed W. S. Hoar, D. J. Randall, and J. R. Brett), pp. 279-352. New York, San Francisco, London: Academic Press.
- Campton, D.E. 1992. Heritability of body size of green swordtails, *Xiphophorus helleri*: 1. Sib analyses of males reared individually and in groups. *J. Hered.* 83: 43-48.
- Chambers, J. 1987. The cyprinodontiform gonopodium, with an atlas of the gonopodia of the fishes of the genus *Limia*. *J. Fish. Biol.* 30:389-418.

- Christiansen, J.S., Ringo, E. and Jobling, M., 1989. Effects of sustained exercise on growth and body composition of first-feeding fry of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.) *Aquaculture*, 79: 329-336.
- Christiansen, J.S. and Jobling, M. 1990. The behaviour and the relationship between food intake and growth of juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L., subjected to sustained exercise. *Can. J. Zool.* 68: 2185-2191.
- Christiansen, J. S.; Jorgensen, E.H.; Jobling, M. 1991. Oxygen consumption in relation to sustained exercise and social stress in Arctic charr (*Salvenius alpinus* L.). *J. Exp. Zool.* 260: 149-156.
- Christiansen, J. S.; Svendsen, Y.S.; Jobling, M. 1992. The combined effects of stoking density and sustained exercise on the behavior, food intake, and growth of juvenile Arctic charr (*Salvenius alpinus* L). *Can. J. Zool.* 70: 115-122.
- Davison, W. 1989. Training and its effects on teleost fish. *Comp. Biochem. Physiol.* 94A: 1-10.
- Davison, W. 1994. Exercise training in the banded wrasse *Notolabrus fucicola* affects muscle fibre diameter but not muscle mitochondrial morphology. *N. Z. Nat. Sci.* 21: 11-16.
- Davison, W. 1997. The Effects of Exercise Training on Teleost Fish, a Review of Recent Literature. *Comp. Biochem. Physiol.* Vol. 117^a, No. 1, pp. 67-75.
- Davison, W.; Goldspink, G. 1978. The effect of training on the swimming muscles of the goldfish (*Carassius auratus*). *J. Exp. Biol.* 74: 115-122.

- Davison, W.; Goldspink, G. 1977. The effect of prolonged exercise on the lateral musculature of the brown trout (*Salmo trutta*) *J. Exp. Biol.* 70: 1-12.
- de la Vega, S., M. 2003. Situación de los peces dulceacuícolas de México. *Ciencias.* 72: 20-30.
- Dougan, M. R. C. 1993. Growth and development of chinook salmon. *Oncorhynchus tshawytscha*: Effects of exercise training, and seawater transfer, PhD thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- East, P. Magnan, P. 1987. The effect of locomotor activity on the growth of brook charr, *Salvelinus fontinalis* Mitchill. *Can. J. Zool.* 65: 843-846.
- Farrell, A. P.; Johansen, J. A.; Steffensen, J. F.; Moyes, C. D.; West, T. G.; Suarez, R. K. 1990. Effects of exercise training and coronary artery ablation on swimming performance, heart size, and cardiac enzymes in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Can. J. Zool.* 68: 1174- 1179.
- Fausch, K.D. 1984. Profitable stream positions for salmonids: relating specific growth rate to net energy gain. *Can. J. Zool.* 62: 441-451.
- Greer Walker, M. 1971. Effect of starvation and exercise on the skeletal muscle fibres of the cod (*Gadus morhua* L.) and the coalfish (*Gadus virens* L.) respectively. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 33: 421-426.
- Greer Walker, M. 1973. Skeletal muscle function and sustained swimming speeds in the coal fish *Gadus virens* L. *Comp. Biochem. Physiol.* 44A: 495-501.

- Greer Walker, M.; Emerson, L. 1978. Sustained simming speeds and myotomal muscle function in the trout, *Salmo gairdneri*. *J. Fish. Biol.* 13: 475-481.
- Hammer, C. 1994. Effects of endurance swimming on the growth of 0-and-1 age group of whiting, *Merlangius merlangus*, Gadidae. *Arch. Fish. Mar. Res.* 42: 105-122.
- Hayes, J. W., Stark, J. D. and Shearer, K. A. 2000. Development and Test of a Whole-Lifetime Foraging and Bioenergetics Growth Model for Drift-Feeding Brown Trout. *Transactions of the American Fisheries Society.* 129: 315-332.
- Heggenes, J. 2002. Flexible summer habitat by wild, allopatric brown trout in lotic environments. *Trans. Am. Fish. Society.* 131:287-298.
- Hinterleitner, S.; Huber, M.; Lackner, R.; Wieser, W. 1992 Systemic and enzymatic responses to endurance training in two cyprinid species with different life styles (Teleostei: Cyprinidae). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 110-115.
- Houlihan, D. F.; Laurent, P. 1987. Effects of exercise training on the performance, growth, and protein turnover of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 1614-1621.
- Hynes, H. B. N. 1970. **The ecology of running waters.** University of Toronto Press.
- Jobling, M. 1995. **Environmental Biology of Fishes.** Chapman & Hall. Great Britain. 455pp.

- Jorgensen, E. H. and Jobling, M. 1993. The effects of exercise on growth, food utilisation and osmoregulatory capacity of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, 116: 233-246.
- Kallman, K.D. 1971. Inheritance of melanophore patterns and sex determination in the Montezuma swordtail, *Xiphophorus montezumae cortezi* Rosen. *Zoologica* 56:77-94.
- Kiessling, A.; Higgs, D.A.; Dosanjh, B.S.; Eales, J. E. 1994. Influence of sustained exercise at two ration levels on growth and thyroid function of all-female chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in seawater. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 1975-1984.
- Kitchell, J. F. 1983. **Energetics**. Chapter 10. In, Fish Biomechanics. Edited by Webb, and Weihs. Published by Praeger Publishers, U.S.A. pp. 398.
- Kruesi, C. K. 2004. Desempeño de nado en machos de *Xiphophorus montezumae*: el costo de un ornamento. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Lackner, R.; Wieser, W.; Huber, M.; Dalla Via, J. 1988. Responses of intermediary metabolism to acute handling stress and recovery in untrained and trained *Leuciscus cephalus* (Cyprinidae, Teleostei). *J. Exp. Biol.* 140: 393-404.
- Leon, K. A. 1986. Effect of exercise on feed consumption, growth, food conversion, and stamina of brook trout. *Prog. Fish Cult.* 48: 43-46.
- Marcus, J. M. And MacCune, A.R. 1999. Ontogeny and Phylogeny in the Northern Swordtail Clade of *Xiphophorus*. *Syst. Biol.* 48(3): 491-522.

- Meffe, K. G., Snelson, F. F. 1989. **Ecology and Evolution of Livebearing Fishes. (Poeciliidae)**. Prentice Hall. Inc. USA. 453 pp.
- Moyle, B. P. and Cech, J. J. 2000. **Fishes, An Introduction to Ictiology**. Fourth Edition. Prentice Hall. Inc. USA. 612 pp.
- Nicoletto, P. F. 1990. The relationship between male ornamentation and swimming performance in the guppy, *Poecilia reticulata*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 28: 365-370
- Nicoletto, P. F. 1996. The influence of water velocity on the display behavior of male guppies, *Poecilia reticulata*. *Anim. Behav.* 46: 441-450.
- Nicoletto, P. F. Y Brown, K. A. 1999. The relationship among swimming performance, courtship behavior and carotenoid pigmentation of guppies in four rivers of Trinidad. *Environ. Biol. Fish.* 55: 227-234.
- Parenti, L.R. 1981. A phylogenetic and biogeographic analysis of cyprinodontiform fishes (Teleostei, Atherinomorpha). *Bull. Amer. Mus. Hist.* 168:335-557.
- Pettersson, L. B. and Brönmark, C. 1999. Energetic consequences of an inducible morphological defence in crucial carp. *Oecologia.* 121: 12-18.
- Rauchenberger, M.,K. D., Kallman, and D.C. Morizot.1990. Monophyly and geography of the Río Pánuco basin swordtails (genus *Xiphophorus*) with descriptions of four new species. *Am. Mus. Novit.* 2975: 1-41.
- Rosen, D.E. and R. M. Bailey. 1963. The poeciliid fishes (Cyprinodontiformes), their structure, zoogeography and systematics. *Bull. Amer. Mus. Hist.* 126:1-176

- Ryan, M. J., D.K. Hews, and W. E. Wagner Jr. 1990. Sexual selection on alleles that determine body size in the sword tail *Xiphophorus nigrensis*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 26:231-238.
- Sänger, A. M. 1992. Effects of training on axial muscle of two cyprinid species: *Chondrostoma nasus* (L.) and *Leuciscus cephalus* (L.). *J. Fish Biol.* 40: 637-646.
- Thorarensen, H.; Gallagher, P.E.; Kiessling, A. K.; Farrell, A. P. 1993. Intestinal blood flow in swimming chinook salmonid *Oncorhynchus tshawytscha* and the effects of hematocrit on blood flow distribution. *J. Exp. Biol.* 179: 115-129.
- Totland, G. K.; Kryvi, H.; Jodestol, K. A.; Christiansen, E. N.; Tangeras, A.; Slinde, E. 1987. Growth and composition of the swimming muscle of Adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) during long-term sustained swimming. *Aquaculture* 66: 299-313.
- Videler, J. J. 1993. Fish Swimming. Chapman & Hall. Great Britain. 260 pp.
- Videler, J.J. and Nolet, B. A. 1990. Costs of swimming measured at optimum speed: Scale effects, differences between swimming styles, taxonomic groups and submerged and surface swimming. *Comp. Biochem. Physiol.*, 96: 436-445.
- White, J. R.; Li, H. W. 1985. Determination of the energetic cost of swimming from the analysis of growth rate and body composition in juvenile chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*. *Comp. Biochem. Physiol.* 81A: 245-33.

- Wiens, J.J., and M. R. Morris. 1996. Character definitions, sexual selection, and the evolution of swordtails. *Am. Nat.* 147: 866-869.
- Wotton, J. R. 1991. **Ecology of Teleost Fishes**. Chapman & Hall. Great Britain. 404 pp.
- Wourms, J. P. 1981. Viviparity: The maternal-fetal relationship in fishes. *Amer. Zool.* 21:473-515.
- Young, P. S.; Cech, J. J. 1994. Effects of different exercise conditioning velocities on the energy reserves and swimming stress responses in young-of-the-year striped bass (*Morone saxatilis*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 1528-1534.
- Young, P. S.; Cech, J. J. 1994. Optimum exercise conditioning velocity for growth, muscular development, and swimming performance in young-of-the-year striped bass (*Morone saxatilis*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 1519-1527.