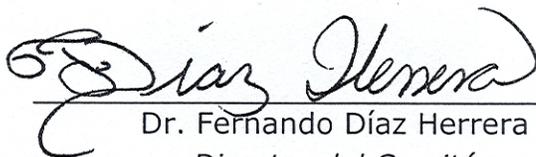


TESIS DEFENDIDA POR
Liliana Noemi Sánchez Campos

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ



Dr. Fernando Díaz Herrera
Director del Comité



Dra. Ana Denise Re Araujo
Miembro del Comité



Dra. Diana Tentori Santacruz
Miembro del Comité



Dr. Alexei Licea Navarro
*Coordinador del programa de
posgrado en Biotecnología Marina*



Dr. Raúl Ramón Castro Escamilla
Director de Estudios de Posgrado

16 de Junio de 2006

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
CON ORIENTACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA MARINA**

**TERMORREGULACIÓN Y CONSUMO DE OXÍGENO DE JUVENILES
DE LOBINA *Micropterus salmoides* EXPUESTOS A DIFERENTES
TEMPERATURAS DE ACLIMATACIÓN**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

LILIANA NOEMI SÁNCHEZ CAMPOS

Ensenada, Baja California, México, Junio de 2006.

RESUMEN de la tesis de **Liliana Noemi Sánchez Campos**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS con orientación en BIOTECNOLOGÍA MARINA. Ensenada, Baja California. México Junio del 2006.

TERMORREGULACIÓN Y CONSUMO DE OXÍGENO DE JUVENILES DE LOBINA *Micropterus salmoides* EXPUESTOS A DIFERENTES TEMPERATURAS DE ACLIMATACIÓN

Resumen aprobado por:


Dr. Fernando Díaz Herrera
Director de Tesis

Se estudiaron las respuestas fisiológicas y de comportamiento en juveniles de la Lobina ($n=300$) donados por el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), con un intervalo de 2.3 a 3.7 g de peso húmedo y 5 cm de longitud total. La Temperatura Preferida (TP) se estimó mediante los métodos agudo y gravitacional en 170 juveniles (10.75-31.65 g) aclimatados por 30 días a 20 °C, 23 °C, 26 °C, 29 °C y 32 °C \pm 1 °C. Se utilizó un gradiente horizontal de 400 cm de longitud y 20 cm de diámetro, con 20 segmentos de 20 cm de longitud cada uno. El consumo de oxígeno se determinó por medio de un respirómetro semiabierto con 21 cámaras de 1000 ml. Los cocientes de temperatura Q_{10} se calcularon para evaluar el efecto de la aclimatación sobre la tasa de consumo de oxígeno. Las TP obtenidas mediante el método agudo en juveniles de lobina aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32 °C fueron: 27.2 \pm 0.70 °C, 27.5 \pm 0.30 °C, 28 \pm 0.40 °C, 29 \pm 0.80 °C y 30.15 \pm 0.40 °C, respectivamente. La TP de los juveniles de *M. salmoides*, obtenida por medio del método agudo, fue de 29 \pm 0.80 °C y la influencia de la temperatura de aclimatación no fue significativa. En los juveniles expuestos a un ciclo día-noche de 24 h, el intervalo de TP fue, 27.1-29.4 °C con una mediana de 28.1 °C. No hubo diferencias significativas en el preferendum final determinado por el método agudo ni gravitacional ($P > 0.05$). La tasa de consumo de oxígeno de los juveniles incrementó significativamente ($P < 0.05$) conforme aumentó la temperatura de aclimatación. Los intervalos de Q_{10} fueron, 1.50 entre 20-23 °C, 1.55 entre 23-26 °C, 1.37 entre 26-29 °C y 2.0 entre 29-32 °C. Para optimizar el cultivo de *M. salmoides* en México, debe llevarse a cabo en regiones con una temperatura de 28-29 °C.

Palabras clave: *Micropterus salmoides*, Temperatura preferida, Consumo de Oxígeno.

ABSTRACT of the thesis presented by **Liliana Noemi Sánchez Campos** as a partial requirement to obtain the MASTER OF SCIENCE degree with orientation in MARINE BIOTECHNOLOGY. Ensenada, Baja California, México. June 2006.

TEMPERATURE PREFERENCE AND OXYGEN CONSUMPTION OF JUVENILE LARGEMOUTH BASS *Micropterus salmoides* EXPOSED TO DIFFERENT ACCLIMATION TEMPERATURES

Abstract approved by:


Dr. Fernando Díaz Herrera
Thesis Director

Behavioral and physiological responses were investigated in Largemouth bass juveniles (n=300) obtained from the cultured fish stock in the Aquaculture Department of Instituto Tecnológico of Sonora (ITSON) located in Sonora, México. Fish ranging from 2.3 to 3.7 g wet weight and 5 cm of longitude. Preferred Temperature (PT) was estimated by two methods, the acute and gravitational, in 170 juveniles (10.75-31.65 g) acclimated for 30 days at 20 °C, 23 °C, 26 °C, 29 °C and 32 °C ± 1 °C. All experiments of PT were performed in a horizontal trough of 400 cm of length and 20 cm of diameter, with 20 virtual segments. Oxygen consumption was measured in a semi-open respirometer system consisting of 21 chambers of 1000 ml each. Temperature quotients Q_{10} were calculated to assess the acclimation effect on oxygen consumption rate. PT obtained by acute method in juveniles acclimated at 20, 23, 26, 29 and 32 °C were 27.2 ± 0.70 °C, 27.5 ± 0.30 °C, 28 ± 0.40 °C, 29 ± 0.80 °C and 30.15 ± 0.40 °C respectively. The PT in *M. salmoides* juveniles by the acute method was 29 ± 0.80 °C and the influence of the acclimation temperature was not significant. In juveniles exposed to light/dark cycle of 24 h the interval of PT was 27.1-29.4 °C with a median value of 28.1 °C. There were not significant differences in the final preferendum determined by the acute and gravitational method ($P > 0.05$). Oxygen consumption rate increased significantly ($P < 0.05$) with increasing acclimation temperatures in juveniles of largemouth bass. The interval of Q_{10} was 1.50 between 20-23 °C, 1.55 between 23-26 °C, 1.37 between 26-29 °C and 2.0 between 29-32 °C. To optimize the culture of *M. salmoides* in México must be in a range of 28-29 °C.

Keywords: *Micropterus salmoides*, Preferred Temperature, Oxygen consumption.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento al **Dr. Fernando Díaz** por todo el apoyo (académico y moral) que siempre me ha brindado, por confiar en mi y hacerme confiar de nuevo. Por la libertad que me ha dado por ser amigo y director al mismo tiempo.

A la **Dra. Denise Re** también por todo el apoyo y amistad que me ofreció siempre, por ayudarme a comprender mejor la estadística y por el entusiasmo que puso en éste proyecto.

A la **Dra. Diana Tentori** por integrarse a mi comité, por sus excelentes revisiones y comentarios que ayudaron a mejorar el escrito de éste trabajo.

Al **CICESE** por haberme permitido ser parte de su posgrado en Biotecnología Marina.

Al **CONACYT** por la beca que me otorgó sin la cual hubiera sido imposible realizar mi trabajo.

A **Ivonne Best, Citlali Romero, Dolores Sarracino y Norma Fuentes** por su siempre excelente atención, apoyo, consejos y amistad.

Al técnico **Francisco Valenzuela** por los dibujos que realizó del gradiente gravitacional y el respirómetro.

A mi Familia, amigos y a Ricardo.

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	10
II.1 Objetivos Particulares	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
III.1 Mantenimiento de los organismos	11
III.2 Determinación de la temperatura preferida	12
III.3 Medición del consumo de oxígeno	15
III.4 Análisis estadístico	18
IV. RESULTADOS	20
IV.1 Temperatura Preferida	20
IV.2 Consumo de Oxígeno de Rutina	23
V. DISCUSIÓN	26
VI. CONCLUSIÓN	32
VII. LITERATURA CITADA	33

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Lobina: <i>Micropterus salmoides</i>	2
2	Gradiente térmico horizontal dividido en 20 segmentos	13
3	Respirómetro semiabierto provisto con 21 cámaras respiratorias de 1 L	17
4	Temperatura preferida por los juveniles de <i>M. salmoides</i> determinada mediante el método agudo	21
5	Temperatura preferida por los juveniles de <i>M. salmoides</i> determinada mediante el método gravitacional	22
6	Consumo de oxígeno ($\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ p.h.}$) en juveniles de <i>M. salmoides</i> aclimatados a las temperaturas de 20, 23, 26, 29 y 32 °C	24

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Tasas de consumo de oxígeno de juveniles de lobina <i>M. salmoides</i> aclimatados a diferentes temperaturas y sus respectivos Q_{10}	25

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace muchos años, los investigadores se han dedicado a estudiar los diferentes organismos con el fin de comprender mejor el ambiente y los factores ambientales que los afectan. Por esta razón, varios de los estudios se han centrado en organismos poiquiloterms, ya que son éstos los organismos que se encuentran más relacionados con dichas variaciones (Manush, 2004).

Dentro de los organismos poiquiloterms podemos encontrar a todos los invertebrados y a un grupo de vertebrados: los peces. Estos, han adquirido una alta importancia comercial en las últimas décadas, de ahí su gran interés, tomando en cuenta que el objetivo principal de la piscicultura es el maximizar tanto la sobrevivencia como el crecimiento de los peces, y a su vez, mantener esto con costos reducidos (Sanz-Rus *et al.*, 2000).

Dentro del grupo de los peces dulceacuícolas existen varias especies que han despertado interés comercial, como las carpas y las anguilas. Una especie que durante las últimas décadas ha adquirido gran importancia por su creciente demanda en la pesca deportiva, así como para el

consumo humano es la lobina *Micropterus salmoides* (Figura 1) (Burleson *et al.*, 2001).



Clase: Actinopteri

Orden: Perciformes

Familia: Centrarchidae

Figura 1. Lobina: *Micropterus salmoides*.

La lobina es una especie dulceacuícola, que presenta un patrón de coloración que va de verde a olivo dorsalmente y de blanco a amarillo ventralmente con una banda negra que corre del opérculo hasta la base de la aleta caudal, se distribuye desde el Norte de América hasta el Norte de México, habita en lugares con clima templado y es considerado como un organismo bentopelágico que se puede encontrar en aguas someras y hasta los 7 m de profundidad, con un intervalo de pH entre 7.0 - 7.5. Esta especie comúnmente habita lagos claros, semi-vegetados

y pantanos, también se le puede encontrar en ríos y arroyos. Los adultos se alimentan de peces, langostinos y ranas, los juveniles se alimentan de pequeños crustáceos, insectos y pequeños peces, algunas veces llegan a presentar canibalismo¹.

Aunque la lobina es un pez nativo de Norteamérica que se distribuye de manera natural desde Canadá hasta Estados Unidos y el norte de México, se ha introducido exitosamente en diversos estados del país como Oaxaca, Michoacán, Coahuila, Jalisco, Guanajuato, Sinaloa, Durango, Sonora, Puebla, entre otros; poblando ríos, lagos, lagunas, presas y estanques, para su explotación en la pesca deportiva ².

Su tolerancia térmica es de 13 °C hasta 30 °C, con una temperatura óptima para su crecimiento entre 24 °C y 26 °C en aguas ricas en oxígeno, aunque este intervalo de temperatura óptima puede variar en función de la región geográfica de donde provenga. Los juveniles toleran mejor que los adultos las temperaturas altas ².

La temperatura y la hidrología, son factores ambientales importantes que influyen directamente sobre la distribución de los peces, por lo

¹ <http://www.fishbase.org/Summary/SpeciesSummary.php?id=3385>

² http://www.panoramaacuicola.com/noticia.php?art_clave=709

tanto, las propiedades fisicoquímicas que se presentan en los ecosistemas donde habitan favorecerán a aquellos organismos que estén adaptados a tolerar las variaciones de esos parámetros (Dent y Lutterschmidt, 2003).

Los peces se encuentran fisiológicamente bien adaptados a las variaciones de la temperatura ambiental en la que se les encuentra de manera natural. Esto origina que se presenten similitudes intraespecíficas e interespecíficas en las respuestas ecológicas de estos organismos a los cambios en los parámetros ambientales, siendo la temperatura el factor más importante, pues determina la respuesta fisiológica de los organismos acuáticos, siendo una limitante de las reacciones bioquímicas, afectando su distribución al influir directamente la sobrevivencia y el crecimiento (Magnuson *et al.*, 1979; Luna-Figueroa *et al.*, 2003; Pérez *et al.*, 2003). Para contrarrestar las variaciones ambientales de temperatura, los organismos ectotermos han desarrollado mecanismos adaptativos específicos de comportamiento y fisiológicos, presentando una respuesta de termorregulación. Esta consiste en la capacidad del organismo para seleccionar activamente un hábitat con un óptimo térmico y a su vez evitar aquellos que no sean favorables (Pérez *et al.*, 2003; Das *et al.*, 2004).

Estos mecanismos adaptativos son los que les permiten a los organismos sobrevivir a través de los diferentes procesos de aclimatación y su consiguiente adaptación a condiciones estresantes de temperatura (Das *et al.*, 2004).

Para la mayoría de las especies de peces la temperatura preferida se encuentra en función directa de la historia térmica o de la aclimatación a la que se haya sometido previamente al individuo. Sin embargo, la relación entre la temperatura preferida y la temperatura de aclimatación, puede variar desde una relación directa hasta una relación inversamente proporcional (Johnson y Kelsch, 1998; Luna-Figueroa *et al.*, 2003).

El comportamiento termorregulador en los peces es una actividad compleja en la que interviene el sistema nervioso central que da como resultado la preferencia del organismo por una temperatura ambiental óptima para su desarrollo. Dicha temperatura preferida representa el espacio térmico en el cual los procesos que controlan la actividad de los organismos son efectivos y por lo tanto, su desempeño y eficiencia también se ven optimizados (Diana, 1983; Luna-Figueroa *et al.*, 2003; Pérez *et al.*, 2003).

En términos generales, los peces seleccionarán temperaturas que les permitan maximizar la proporción de energía disponible, que el organismo canaliza en diferentes procesos como crecer, moverse o reproducirse entre otros (Kelsch, 1996; Luna-Figueroa *et al.*, 2003; Pérez *et al.*, 2003).

El elevar o disminuir la temperatura hasta cierto límite favorece el cultivo de la especie en acuicultura, ya que con esto se puede reducir el tiempo requerido para producir un animal con talla costeable y de mayor valor comercial, así como también permite producir más generaciones por año (Das *et al.*, 2004; Manush *et al.*, 2004).

Además, se ha mencionado por Beitinger y Fitzpatrick (1979), Mc Cauley y Casselman (1981) y Pérez *et al.* (2003) que la temperatura que un organismo prefiere, comúnmente coincide con la temperatura óptima que el organismo requerirá para llevar a cabo los diferentes procesos a lo largo de su ciclo de vida como crecer o reproducirse.

La preferencia térmica de un individuo, es una respuesta especie-específica que puede variar de acuerdo a la edad, el peso, la disponibilidad de alimento, la estación, la calidad del agua, intensidad

luminosa o bien por factores denso dependientes como la competencia o la presencia de patógenos (Pérez *et al.*, 2003), incluso a lo largo del día (Diana, 1983; 1984; Pérez *et al.*, 2003).

Brougher *et al.* (2005) mencionan que la medición de la respiración en peces ha sido utilizada como una herramienta para determinar la tasa metabólica. En peces se han definido diferentes categorías como estándar o basal, de rutina y en actividad forzada (Cech, 1990). El metabolismo de rutina se refiere a la tasa metabólica que incluye los movimientos espontáneos (Fry, 1971), por lo que una de las respuestas fisiológicas que se pueden correlacionar con los cambios de los factores ambientales es el consumo de oxígeno de rutina, ya que está relacionado con el trabajo metabólico y el flujo de energía que el organismo puede destinar para los mecanismos de control homeostático (Salvato *et al.*, 2001). Por lo tanto la medición del consumo de oxígeno (VO_2) en los animales acuáticos es un método válido para evaluar el efecto de factores ambientales como la temperatura, la salinidad, la exposición a contaminantes, intensidad luminosa y oxígeno disuelto, así como para determinar los costos energéticos asociados con el estrés fisiológico que esas combinaciones le imponen al organismo (Lemos *et al.*, 2001; Altinok y Grizzle, 2003).

Sin embargo, existen pocos trabajos que hayan estudiado las respuestas de tolerancia y resistencia que se relacionen con el consumo de oxígeno de los peces; entre estos destacan los realizados por Kita *et al.* (1996) en *Sebasticus marmoratus*, Chatterjee *et al.* (2004) en *Labeo rohita* y *Cyprinus carpio* en los primeros estadios de desarrollo, Das *et al.* (2004) en tres especies de carpas nativas de la India y Das *et al.* (2005) en alevines de *Labeo rohita*.

Beamish (1971) y Tandler y Beamish (1981), realizaron estudios en la lobina, enfocándose principalmente en los requerimientos energéticos y la ración de alimento con relación a la absorción intestinal. Encontraron que estos procesos también se ven afectados por factores ambientales, lo que repercute directamente en el presupuesto energético por medio del efecto dinámico específico (SDA). En estos trabajos se evaluaron el consumo de oxígeno y la eficiencia de conversión del alimento en *Micropterus salmoides* (Tandler y Beamish, 1981).

Diana (1983) estudió el consumo de oxígeno de *M. salmoides* aclimatada a temperaturas fluctuantes y expuestas a regímenes cíclicos.

Esta especie ha sido ampliamente introducida en el mundo y ahora es considerada cosmopolita, es una especie muy popular en la pesca deportiva en Norte América. Recientemente la lobina ha adquirido interés dentro de la acuicultura. Dada la situación actual de ésta en el mundo y considerando el incremento de los estudios en la lobina en los últimos años, surge el interés por conocer las respuestas nutrimentales que permitan cultivar de manera óptima a la lobina *Micropterus salmoides*. Cabe señalar que se desconocen los factores ambientales adecuados así como las respuestas fisiológicas necesarias para eficientizar el cultivo de dicha especie en México.

Como respuesta a la problemática antes expuesta es necesario estudiar las respuestas de comportamiento y aquéllas fisiológicas, que permitan delimitar las condiciones adecuadas para optimizar el cultivo de la lobina en condiciones controladas.

II. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento termorregulador determinado por la temperatura preferida, así como el consumo de oxígeno de juveniles de la lobina *Micropterus salmoides* aclimatada a cinco temperaturas.

II.1 OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar la temperatura preferida de la lobina mediante el método agudo y gravitacional utilizando un gradiente térmico horizontal en organismos aclimatados a las siguientes temperaturas: 20 °C, 23 °C, 26 °C, 29 °C y 32 °C \pm 1 °C.
- Cuantificar el efecto de las diferentes temperaturas de aclimatación sobre el consumo de oxígeno de rutina de la lobina, así como sobre el Q_{10} de los juveniles de la lobina y correlacionarlo con la temperatura preferida.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

III.1 Mantenimiento de los organismos

Se utilizaron 300 ejemplares de *Micropterus salmoides* de 5 cm de longitud total (LT) y un intervalo de peso húmedo de 2.3 a 3.7 g, donados por el ITSON, ubicado en Sonora, los cuales fueron colocados en un estanque de 2000 L con agua dulce donde se les proporcionó recambio diario de agua (100%), aireación y alimento. El estanque se mantuvo a una temperatura constante de 26 ± 1 °C hasta que se obtuvieron ejemplares de aproximadamente 7 cm de LT.

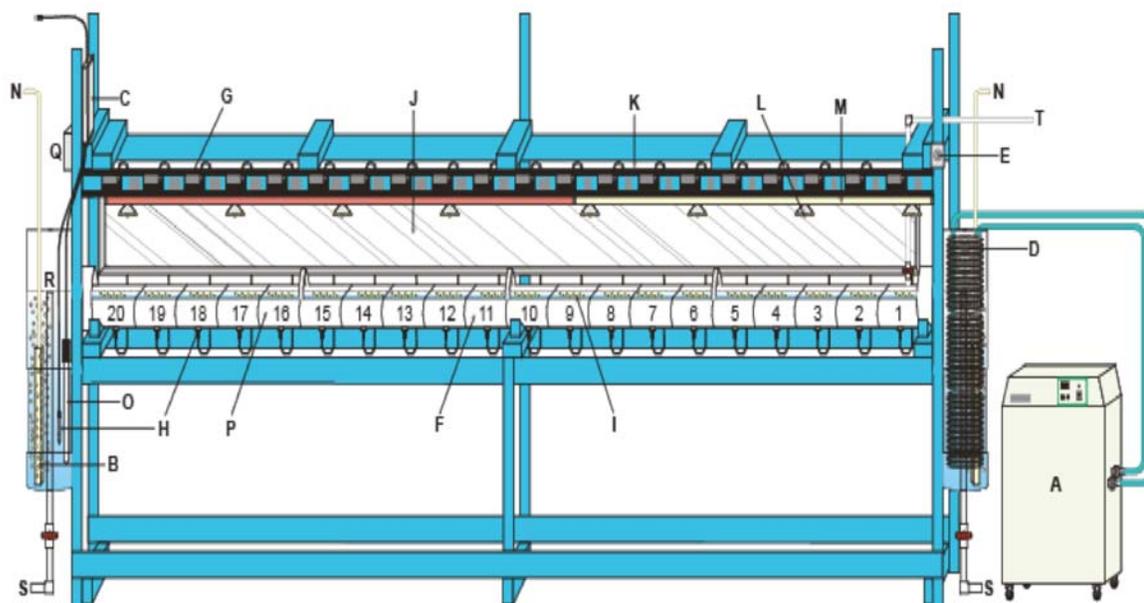
Una vez alcanzada esa talla, 65 lobinas se colocaron al azar en 5 estanques de 500 L provistos con recambio constante de agua y aireación y fueron aclimatadas a cinco temperaturas durante 30 días (20 °C, 23 °C, 26 °C, 29 °C y 32 °C \pm 1 °C) dichas temperaturas se mantuvieron mediante calentadores de 1000 W conectados a controladores de temperatura Medusa (TC-200). Las temperaturas se incrementaron o disminuyeron a una tasa de 2 °C por día.

Una vez transcurrido el periodo de aclimatación se realizaron los experimentos correspondientes para determinar la temperatura preferida y el consumo de oxígeno de los juveniles de las lobinas.

III.2 Determinación de la temperatura preferida

Se realizó mediante el método agudo y gravitacional (Reynolds y Casterlin, 1979) en 170 juveniles con un intervalo de peso húmedo de 10.75 a 31.65 g. Se utilizó un gradiente horizontal (Figura 2) que constó de un tubo de PVC de 400 cm de longitud y 20 cm de diámetro con 20 segmentos de 20 cm de longitud cada uno. La profundidad de la columna de agua fue de 9 cm y el gradiente se formó al colocar un calentador de 1000 W que se ubicó en uno de los extremos del gradiente, mientras que en el extremo opuesto se bombeó agua fría proveniente de un termorregulador (Neslab HX-150). El gradiente tuvo un intervalo de temperatura de 10 a 40 °C. En cada segmento se colocó una piedra de aireación para mantener una concentración de oxígeno disuelto de 5 a 9 mg O₂ L⁻¹, evitando así la estratificación en la columna de agua, la temperatura se midió en cada segmento con termómetros digitales colocados equidistantemente. En la parte frontal del gradiente,

se colocó una cortina y un espejo en un ángulo de 45° para observar a los organismos en el interior del mismo sin molestarlos, evitando así el estrés.



- | | |
|--|--|
| A: Enfriador digital | K: Cortina de tela oscura |
| B: Aireadores externos (2) | L: Focos incandescentes |
| C: Termorregulador | M: Focos fluorescentes |
| D: Serpentín de acero inoxidable | N: Líneas de aire |
| E: Regulador de luz | O: Calentador de titanio 1000 watts |
| F: Gradiente tubo de 20 cm. de diámetro | P: Segmentos del gradiente |
| G: Termómetros digitales | Q: Control de temperatura del agua |
| H: Termocuplas | R: Nivel de agua |
| I: Piedras de aireación | S: Desagües en los extremos (2) |
| J: Espejo | T: Línea de agua |

Dibujo: Tec. Francisco Valenzuela

Figura 2. Gradiente térmico horizontal dividido en 20 segmentos.

Para determinar la temperatura preferida por medio del método gravitacional, se utilizaron 20 organismos marcados individualmente de

acuerdo a Ruíz y Villalobos (1991) provenientes de la temperatura de 29 °C, a los cuales no se les proporcionó alimento 24 h antes de iniciar los experimentos. En el interior del gradiente ya formado, se colocaron 10 organismos marcados. La posición de los animales en los segmentos del gradiente, así como la temperatura, se registró cada hora durante un ciclo de 24 horas. Se simuló un ciclo día-noche (12 h luz/12 h obscuridad), con un periodo de transición gradual entre ambos de 30 minutos. Se realizaron dos repeticiones.

El preferendum final de temperatura se obtuvo a partir del valor de la mediana de las temperaturas preferidas por los organismos durante las 24 horas de estancia en el gradiente.

Para la determinación de la temperatura preferida mediante el método agudo se utilizaron 150 juveniles de *M. salmoides* previamente aclimatados durante 30 días en estanques circulares de 500 L a las temperaturas de 20, 23, 26, 29 y 32 ± 1 °C. Los estanques de aclimatación estuvieron provistos con aireación constante y recambio parcial de agua dulce. Los organismos fueron alimentados con alimento tipo pellet marca Silvercup a saciedad, se sifoneó el alimento no consumido. Al finalizar el periodo de aclimatación, se seleccionaron 10

lobinas provenientes de cada temperatura de aclimatación, se marcaron de la misma manera que los organismos que se usaron en el método gravitacional y se introdujeron en el gradiente en las cámaras que tenían la temperatura de origen. La ubicación de los organismos y la temperatura de cada cámara se registraron cada diez minutos durante dos horas. Se realizaron tres repeticiones por cada condición experimental.

El preferendum final se determinó por la intersección de las temperaturas preferidas por los organismos provenientes de cada temperatura de aclimatación, con la línea de igualdad.

III. 3 Medición del consumo de oxígeno

Se utilizó un respirómetro semiabierto como se muestra en la Figura 3. Se utilizaron 21 matraces de 1 L como cámaras respiratorias, dentro de los cuales se colocó un individuo por cada cámara, a excepción de una que se dejó vacía como control para corregir el consumo de oxígeno debido a la presencia de microorganismos dentro del sistema.

Los organismos se colocaron en las cámaras respirométricas entre 12 y 18 horas antes de iniciar las mediciones para evitar estrés por manejo. Los juveniles de la lobina no fueron alimentados 24 h antes de iniciar los experimentos de consumo de oxígeno.

Se tomaron las lecturas del oxígeno disuelto por cámara, con un oxímetro YSI 52 B provisto de un sensor polarográfico, el cual se conectó a una cámara cerrada por medio de un sistema de mangueras para evitar que la muestra de agua tuviera contacto directo con el aire.

Las cámaras respirométricas permanecieron cerradas durante 1 hora y media, tiempo suficiente para evitar que el oxígeno disuelto disminuyera mas allá del 30% y se convirtiera en un factor de estrés (Stern, *et al.* 1984).

Antes de cerrar las cámaras se tomó una muestra de agua para cuantificar la concentración inicial de oxígeno y al finalizar el período de 1 hora y media se tomó otra muestra para medir la concentración final de oxígeno disuelto.

Se realizaron dos repeticiones con un intervalo de 2 horas para cada condición.

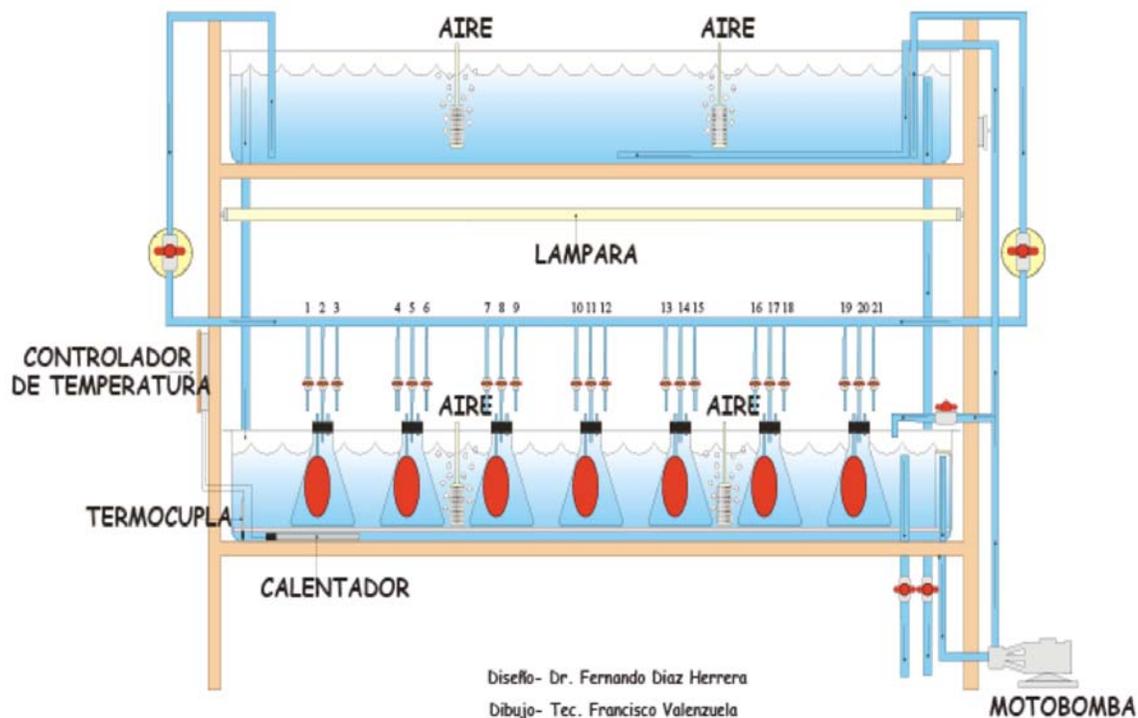


Figura 3. Respirómetro semiabierto provisto con 21 cámaras respiratorias de 1 L.

El consumo de oxígeno de los organismos se calculó a partir de la diferencia entre las concentraciones iniciales y finales del oxígeno consumido por los organismos provenientes de cada temperatura de aclimatación y se expresaron como (VO_2 mg O_2 kg^{-1} h^{-1} p.h.) donde p.h. es el peso húmedo.

El cálculo del Q_{10} se realizó por medio de la siguiente fórmula (1), propuesta por Schmidt-Nielsen (1997) para los organismos provenientes de cada temperatura de aclimatación:

$$Q_{10}: \frac{(\text{Tasa de consumo de } O_2 \text{ a la temp 2})}{(\text{Tasa de consumo de } O_2 \text{ a la temp 1})}^{(10 / \text{Temp 2} - \text{Temp 1})} \quad (1)$$

III.4 Análisis Estadístico

Los datos de la temperatura preferida obtenidos por medio de los métodos gravitacional y agudo se procesaron mediante el análisis exploratorio de datos (Tukey, 1977) y se graficaron en cajas en paralelo, dentro de las cuales el 50% de los datos se distribuyó alrededor de la mediana y en el intervalo de confianza; el otro 50% de los datos se distribuyó en cada barra. El procesamiento de datos se llevó a cabo utilizando los programas Sigma Stat y Sigma Plot.

Los datos de la temperatura preferida obtenidos mediante el método gravitacional se contrastaron por medio de la prueba de Mann y Whitney para determinar si hubo diferencias entre el preferendum diurno y nocturno.

Los datos de la temperatura preferida obtenida mediante el método agudo para cada temperatura de aclimatación se contrastaron mediante un análisis de varianza de Kruskal-Wallis, de igual manera los datos del efecto de la temperatura sobre el consumo de oxígeno de las lobinas fueron contrastados mediante esta prueba no paramétrica.

IV. RESULTADOS

IV.1 Temperatura Preferida

Las temperaturas preferidas por los juveniles de *M. salmoides* determinadas por el método agudo fueron de 27.2 ± 0.70 °C en los organismos aclimatados a 20 °C, de 27.5 ± 0.30 °C en los mantenidos en 23 °C, de 28 ± 0.40 °C en los expuestos a 26 °C, de 29 ± 0.80 °C en los aclimatados a 29 °C y de 30.2 ± 0.40 °C en los mantenidos a 32 °C (Figura 4); la influencia de la temperatura de aclimatación no fue significativa sobre la temperatura preferida en los juveniles de la lobina ($P > 0.05$). La temperatura preferida determinada mediante el método agudo en los juveniles de la lobina fue de 29 ± 0.80 °C.

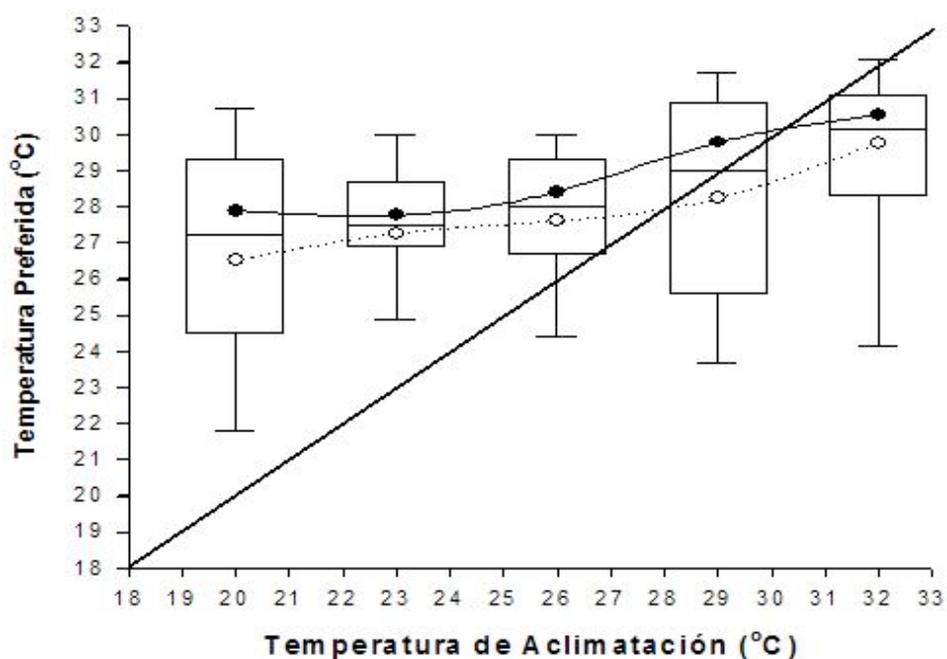


Figura 4. Temperatura preferida por los juveniles de *M. salmoides* determinada mediante el método agudo. La zona delimitada por puntos representa los intervalos de confianza de las medianas al 95%.

La temperatura preferida por los juveniles de lobina durante el día fue de 28.5 °C y durante la noche de 28.0 °C, no se observaron diferencias significativas entre el preferendum diurno de temperatura y el nocturno, así como tampoco se encontraron diferencias significativas entre el preferendum final de los juveniles determinado por el método agudo, ni por el gravitacional ($P > 0.05$).

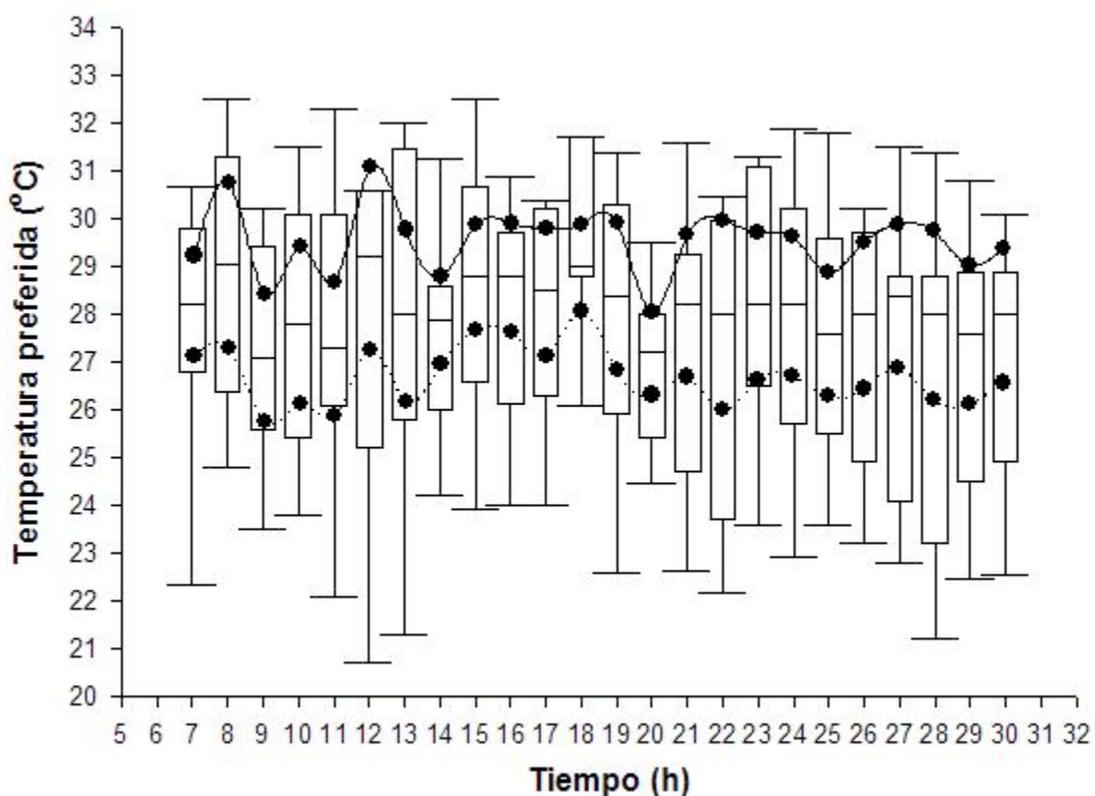


Figura 5. Temperatura preferida por los juveniles de *M. salmoides* determinada mediante el método gravitacional. La zona delimitada por puntos representa los intervalos de confianza de las medianas al 95%.

El intervalo de la temperatura preferida determinada por el método gravitacional en los juveniles de lobina fue de 27.1-29.4 °C con una mediana de 28.1 °C (Figura 5).

IV.2 Consumo de Oxígeno de Rutina

El consumo de oxígeno de los juveniles de lobina cambió según la temperatura de aclimatación a la que fueron sometidos. La tasa de consumo de oxígeno se incrementó significativamente ($P < 0.05$) conforme la temperatura de aclimatación aumentó de 20 a 32 °C.

El consumo de oxígeno de los juveniles de lobina fue de 48.8 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹ p.h. en los organismos aclimatados a 20 °C, en los aclimatados a 23 °C el VO₂ fue de 55.4 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹ p.h., los organismos aclimatados a 26 °C tuvieron un consumo de 63.0 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹ p.h., en los aclimatados a 29 °C se obtuvo un consumo de 69.4 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹ p.h. y los organismos aclimatados a 32 °C tuvieron un consumo de oxígeno de 86.4 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹ p.h. (Figura 6).

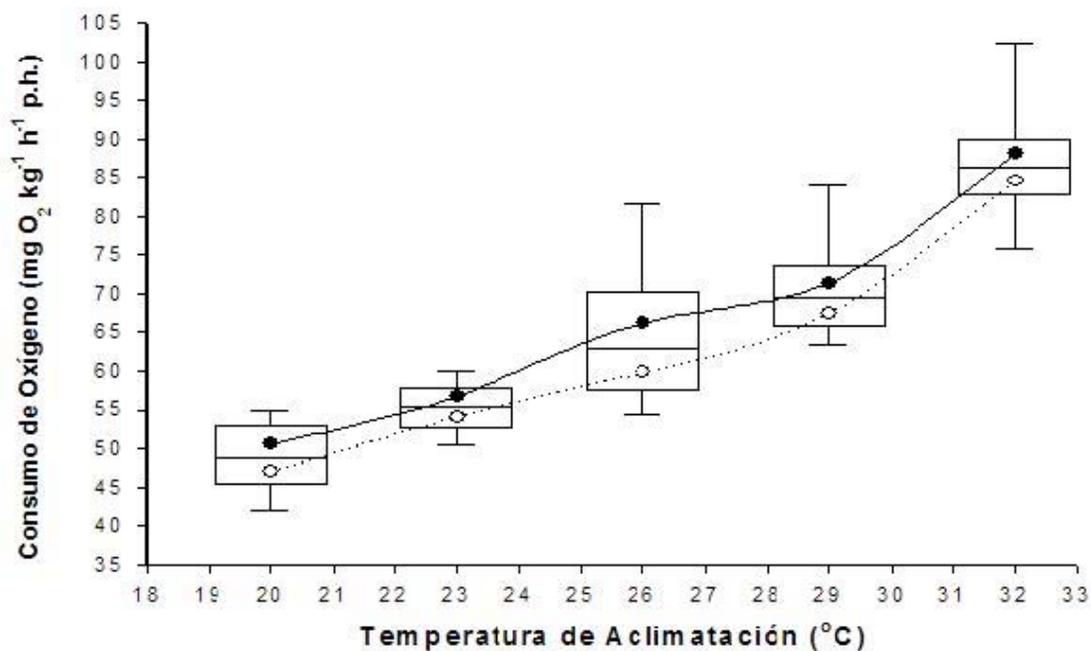


Figura 6. Consumo de oxígeno ($\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ p.h.}$) en juveniles de *M. salmoides* aclimatados a las temperaturas de 20, 23, 26, 29 y 32 °C. La zona delimitada por los puntos representa los intervalos de confianza de las medianas al 95%.

El intervalo del cociente de temperatura de la lobina (Q_{10}) entre 20-23 °C fue de 1.50, de 23-26 °C fue de 1.55, entre 26-29 °C tuvo un valor de 1.37, mientras que el obtenido en el intervalo de 29-32 °C fue de 2.00 (Tabla I).

Tabla I. Tasas de consumo de oxígeno de juveniles de lobina *M. salmoides* aclimatados a diferentes temperaturas y sus respectivos Q_{10} .

Temperatura (°C)	Consumo de oxígeno (mg O ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹ p.h.)	Intervalo de Temperatura	Q ₁₀
20	48.8 ± 1.9	-	-
23	55.4 ± 1.3	20-23	1.50
26	63.0 ± 3.2	23-26	1.55
29	69.4 ± 1.9	26-29	1.37
32	86.4 ± 1.8	29-32	2.00

V. DISCUSIÓN

La temperatura preferida en los organismos acuáticos puede ser diferenciada entre el preferendum agudo de temperatura y el preferendum final. Mientras que la temperatura aguda preferida está influenciada por la temperatura de aclimatación, el preferendum final no se ve afectado (Reynolds y Casterlin, 1979). En lo que respecta a la determinación de la temperatura preferida de los juveniles de *M. salmoides* mediante los métodos agudo y gravitacional, se encontró que el preferendum final tuvo un intervalo de 28.1-29.0 °C. Coutant (1977) reportó que el preferendum final de la lobina se encontraba entre los 26.5 y 32.0 °C, sin embargo el intervalo reportado por dicho autor es muy amplio y no permite conocer la temperatura óptima de cultivo.

En este trabajo, las temperaturas preferidas de los juveniles de *M. salmoides* fueron independientes de la temperatura de aclimatación, Badenhuizen (1967) obtuvo resultados similares en *Oreochromis mossambicus*, así como Kelsch y Neill (1990) en la tilapia azul *O. aureus* y Pérez *et al.* (2003) en el pez ángel *Pterophyllum scalare*.

En los peces se han determinado una variedad de relaciones temperatura-preferencia que pueden ser categorizadas en tres clases en base a si son positivas, independientes o negativas en función de la temperatura de aclimatación a la que se expusieron (Johnson y Kelsch, 1998). *M. salmoides* es una especie que puede ser expuesta a fluctuaciones de temperatura diarias o estacionales (ciclo corto), por lo que exhibió una relación temperatura-preferencia que fue independiente de la temperatura de aclimatación.

No se encontraron diferencias significativas en las determinaciones de la temperatura preferida para el día y la noche en los juveniles de *M. salmoides*, indicando esto que el alimento en su medio no fué un factor limitante y que nuestros resultados no concuerdan con la hipótesis bioenergética propuesta por Brett (1971).

Cuando los juveniles de *M. salmoides* fueron colocados en el gradiente térmico durante 24 horas se distribuyeron de acuerdo al efecto de la temperatura sobre la capacidad de conservación de la energía, lo que les permitió tener una ventaja metabólica en términos de procuramiento de energía versus gasto (Bryan *et al.*, 1990). Dentro del gradiente, la lobina usó como mecanismo de orientación térmica la ortotermoquinesis

(Fraenkel y Gunn, 1961). Esto debido a que los juveniles tuvieron un intervalo de temperaturas preferidas de 27.1 a 29.4 °C, por lo tanto, los juveniles de la lobina permanecieron en un intervalo estrecho de temperatura, lo que causó que disminuyera su velocidad de desplazamiento en aquellas temperaturas que maximizaron su disponibilidad de energía (Kelsch y Neill, 1990; Bryan *et al.*, 1990; Kelsch, 1996). Con base en lo mencionado por Johnson y Kelsch (1998) el preferendum final puede ser usado como una medida de la temperatura seleccionada por la lobina y como un índice de las temperaturas a las cuales la especie está adaptada.

El cultivo de *M. salmoides* en México es factible en las regiones donde el agua tenga una temperatura promedio cercana al preferendum final que se reporta en este trabajo (28-29 °C), considerando que los organismos en esa temperatura se encuentran fisiológicamente estables, ya que la temperatura afecta virtualmente todos los procesos bioquímicos y fisiológicos en los peces (Das *et al.*, 2004). Resulta de suma importancia la determinación de la temperatura preferida ya que el objetivo de la piscicultura es maximizar las tasas de sobrevivencia y crecimiento al menor costo y esto se logra a partir del conocimiento de las condiciones que mejoren el cultivo de la especie (Sanz-Rus, *et al.*, 2000).

Strawn (1961) encontró que los alevines de la lobina tuvieron un máximo crecimiento en 27.5 y 30 °C. Tidwell *et al.* (2003) expusieron juveniles de la lobina a 20, 26 y 32 °C y reportaron que en 26 °C el crecimiento, la sobrevivencia, la conversión alimenticia y la retención de proteínas pareció estar cercano al óptimo. Esto muestra que estos procesos fisiológicos son óptimos dentro del intervalo de temperaturas preferidas determinado para la lobina.

En lo que respecta al consumo de oxígeno, se encontró que conforme aumentó la temperatura, el consumo de oxígeno también se incrementó; resultados similares han sido obtenidos por Kita *et al.* (1996) en *Sebasticus marmoratus*. Das *et al.* (2004) lo reportó en tres especies de carpas de la India, en alevines de *Labeo rohita* y *Cyprinus carpio* (Chatterjee *et al.*, 2004), en alevines de *Labeo rohita* Das *et al.* (2005) obtuvieron el mismo efecto y en alevines avanzados de *Pangasius pangasius*, Debnath *et al.* (2006) obtuvieron un efecto significativo de la temperatura de aclimatación de 30-34 °C sobre el consumo de oxígeno. Los estudios de Beamish (1970) y Diana (1983) relativos a *M. salmoides* también coinciden con el aumento en la tasa de consumo de oxígeno conforme aumenta la temperatura. Se ha reportado que el consumo de oxígeno es un índice del metabolismo en

peces de agua dulce y es dependiente de la temperatura de aclimatación (Kita *et al.*, 1996).

El Q_{10} de los juveniles de lobina fue menor en el intervalo de 26-29 °C (1.37), lo que indicó que dentro de ese intervalo de temperaturas de aclimatación los organismos tuvieron una mejor adaptación en el mantenimiento de su homeostasis (Chatterjee, *et al.*, 2004 y Dent y Lutterschmidt, 2003); dicho intervalo coincidió con el preferendum final de temperatura (28.1-29.0 °C) al igual que lo reportado para *Sebasticus marmoratus* (Kita *et al.*, 1996), en el langostino *Macrobrachium rosenbergii* (Manush *et al.*, 2004), en las carpas mayores de la India *Cirrhinus mrigala*, *Catla catla* (Das *et al.*, 2004), en *Cyprinus carpio* (Chatterjee, *et al.*, 2004), así como en alevines y juveniles de *Labeo rohita* (Das *et al.*, 2004; 2005; Chatterjee, *et al.*, 2004).

Das *et al.* (2004) mencionan que el punto en el que el Q_{10} empieza a disminuir relacionado con temperaturas de aclimatación, corresponde a la temperatura óptima de crecimiento, ya que la disminución del Q_{10} significa que el metabolismo del pez se ha reducido, similar a lo obtenido para *M. salmoides* expuesta a diferentes temperaturas de aclimatación. Das *et al.* (2005) mencionan que el metabolismo

respiratorio depende de la temperatura y el período de aclimatación, así como también de la especie, además, que la tasa metabólica de los peces puede ser medida indirectamente por medio de la tasa de consumo de oxígeno y las temperaturas óptimas pueden ser estimadas indirectamente con base en la relación entre el consumo de oxígeno y la temperatura de aclimatación a través de la determinación del Q_{10} . El hecho de que coincidan la temperatura preferida y el intervalo en el que los juveniles de *M. salmoides* tuvieron un menor consumo de oxígeno, puede explicarse por el sistema enzimático que tienen los peces, ya que dicho sistema tiene también una temperatura de funcionamiento óptimo y al someter al pez a la temperatura a la cual su sistema enzimático trabaja óptimamente, su metabolismo baja, lo cual se traduce en un menor consumo de oxígeno (Kita *et al.*, 1996).

VI. CONCLUSIÓN

Se puede concluir, con base en los resultados de este trabajo, que la lobina es una especie que puede ser cultivada exitosamente en regiones donde la temperatura máxima esté entre los 28-29 °C, o bien, puede ser cultivada en estanques con temperatura controlada dentro del margen antes mencionado; esto deriva de la baja tasa de consumo de oxígeno obtenida en ese intervalo de temperaturas, que se traduce en un menor gasto energético para mantener la homeostasis de los individuos, pues aunque los juveniles de la lobina fueron aclimatados a temperaturas que oscilaron entre 20 y 32 °C, la mayoría de los juveniles prefirieron los 28-29 °C dentro del gradiente horizontal, sin importar la temperatura a la que habían sido previamente aclimatados.

VI. LITERATURA CITADA

- Altinok, I. y Grizzle J.M. 2003. Effects of low salinities on oxygen consumption of selected euryhaline and stenohaline freshwater fish. *J. World Aqua. Soc.* 34: 113-117.
- Badenhuizen, T.R. 1967. Temperature selected by *Tilapia mossambica* (Peters) in test tank with a horizontal temperature gradient. *Hydrobiologia* 30: 541-554.
- Beamish, F.W.H. 1970. Oxygen consumption of largemouth bass, *Micropterus salmoides*, in relation to swimming speed and temperature. *Can. J. Zool.* 48: 1221-1228.
- Beamish, F.W.H. 1971. Ration size and digestion in largemouth bass, *Micropterus salmoides*, Lacepede. *Can. J. Zool.* 50: 153-164.
- Beitinger, T.L. y Fitzpatrick, L.C. 1979. Physiological and ecological correlates of preferred temperature in fish. *Am. Zool.* 19: 319-330.
- Brett, J.R. 1971. Energetic responses of salmon to temperature. A study of some thermal relations in the physiology and freshwater ecology of sockeye salmon *Orcorhynchus nerka*. *Am. Zool.* 11: 99-113.
- Brougher, D.S., Douglass, L.W. y Soares J.H. 2005. Comparative oxygen consumption and metabolism of striped bass *Morone saxatilis* and its hybrid *M. chrysops* ♀ x *M. saxatilis* ♂. *J. World Aqua. Soc.* 36: 521-529.
- Bryan, J.D., S.W. Kelsch, y Neill, W.H. 1990. The maximum power principle in behavioral thermoregulation by fishes. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119: 611-621.

- Burleson, M.L., Wilhelm, D.R. y Smatresk N.J. 2001. The influence of fish size on the avoidance of hypoxia and oxygen selection by Largemouth Bass. *J. Fish Biol.* 59: 1336-1349.
- Cech, J.J. 1990. Respirometry. En: Schreck, C.B. y Moyle, P.B. (eds.). *Methods for Fish Biology*. Am. Fish. Soc. Bethesda, MD. 335-362.
- Chatterjee, N., Pal, A.K., Manush, S.M., Das, T. y Mukherjee, S.C. 2004. Thermal tolerance and oxygen consumption of *Labeo rohita* and *Cyprinus carpio* early fingerlings acclimated to three different temperatures. *J. Therm. Biol.* 29: 265-270.
- Coutant, C.C. 1977. Compilation of Temperature Preference Data. *J. Fish. Res. Board Can.* 34: 739-745.
- Das, T., Pal, A.K., Chakraborty, S.K., Manush, S.M., Chatterjee, N. y Mukherjee, S.C. 2004. Thermal tolerance and oxygen consumption of Indian Major Carps acclimated to four temperatures. *J. Therm. Biol.* 29: 157-163.
- Das, T., Pal, A.K., Chakraborty, S.K., Manush S.M., Sahu, N.P. y Mukherjee, S.C. 2005. Thermal tolerance, growth and oxygen consumption of *Labeo rohita* acclimated to four temperatures. *J. Therm. Biol.* 30: 378-383.
- Debnath, D., Pal, A.K., Sahu, N.P., Baruah, K., Yengkopam, S., Das, T. y Manush, S.M. 2006. Thermal tolerance and metabolic activity of yellowtail catfish *Pangasius pangasius* (Hamilton) advanced fingerlings with emphasis on their culture potential. *Aquaculture* (en prensa).
- Dent, L. y Lutterschmidt, W.I. 2003. Comparative thermal physiology of two sympatric sunfishes (Centrarchidae: Perciformes) with a discussion of microhabitat utilization. *J. Therm. Biol.* 28: 67-74.

- Diana, J.S. 1983. Oxygen consumption by largemouth bass under constant and fluctuating thermal regimes. *Can. J. Zool.* 61: 1892-1895.
- Diana, J.S. 1984. The growth of largemouth bass, *Micropterus salmoides* (Lacepede), under constant and fluctuating temperatures. *J. Fish. Biol.* 24: 165-172.
- Fraenkel, G.S., y Gunn, D.L. 1961. *The Orientation of Animals. Kineses, taxes and compass reactions.* Dover Publications. New York, USA. 376 pp.
- Fry, F.E.J. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. En: Hoar, W.S. y Randall, D.J. (eds.) *Fish Physiology Vol VII: Environmental Relations and Behavior.* Academic Press. New York, USA. 98 pp.
- Johnson, J.A. y Kelsch, S.W. 1998. Effects of evolutionary thermal environment on temperature preference relationships in fishes. *Env. Biol. Fish.* 53: 447-458.
- Kelsch, S.W. 1996. Temperature selection and performance by bluegills: evidence for selection in response to available power. *Trans. Am. Fish. Soc.* 112: 424-430.
- Kelsch, S.W. y Neill, W.H. 1990. Temperature preference versus acclimation in fishes: selection for changing metabolic optima. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119: 601-610.
- Kita, J., Tsuchida, S. y Setoguma, T. 1996. Temperature preference and tolerance, and oxygen consumption of the marbled rock-fish, *Sebasticus marmoratus*. *Mar. Biol.* 125: 467-471.

- Lemos, D., Phan, V.N. y Alvarez, G. 2001. Growth, oxygen consumption, ammonia-N excretion, biochemical composition and energy content of *Farfantepenaeus paulensis* Perez-Farfante (Crustacea, Decapoda, Penaeidae) early postlarvae in different salinities. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 261: 55-74.
- Luna-Figueroa, J., Díaz, F. y Espina, S. 2003. Preferred temperature of the mexican native cichlid *Cichlasoma istlanum* (Jordan and Snyder, 1899). Hidrobiologica 13: 271-275.
- McCauley, R.W. y Casselman, J.M. 1981. The final preferendum as an index of optimum growth in fish. Proceedings of the World Symposium of Aquaculture in Heated Effluents and Recirculation Systems 11: 81-93.
- Magnuson, J.J., Crowder, L.B. y Medwick, R.A. 1979. Temperature as an ecological resource. Am. Zool. 19: 331-343.
- Manush, S.M., Pal, A.K., Chatterjee, N., Das, T. y Mukherjee, S.C. 2004. Thermal tolerance and oxygen consumption of *Macrobrachium rosenbergii* acclimated to three temperatures. J. Therm. Biol. 29: 15-19.
- Pérez, E., Díaz, F. y Espina, S. 2003. Thermoregulatory behavior and critical thermal limits of angelfish *Pterophyllum scalare* (Lichtensein) (Pisces: Cichlidae). J. Therm. Biol. 28: 531-537.
- Reynolds, W.W. y Casterlin, M.E. 1979. Behavioral thermoregulation and the final preferendum paradigm. Am. Zool. 19: 211-224.
- Ruíz, C.G. y Villalobos, R.M. 1991. A simple technique for making a streamer-type fish tag. North Am. J. Fish. Man. 11: 475-476.

- Salvato, B., Cuomo, V., Di Muro, R. y Beltramini, M. 2001. Effects of environmental parameters on the oxygen consumption of four marine invertebrates: a comparative factorial study. *Mar. Biol.* 138: 659-668.
- Sanz-Rus, A., Enjuto, C., Morales, A.E., Hidalgo, M.C. y García-Gallego, M. 2000. Description of a facility for studying energy metabolism in fish: application to aquaculture. *Aqua. Eng.* 21: 169-180.
- Schmidt-Nielsen, K. 1997. *Animal Physiology: Adaptation and environment.* Cambridge University Press. USA. 612 pp.
- Stern, S., Borut, A. y Cohen, D. 1984. The effect of salinity and ion composition on oxygen consumption and nitrogen excretion of *Macrobrachium rosenbergii*. *Comp. Biochem. Physiol.* 79A: 271-274.
- Strawn, K. 1961. Growth of largemouth bass fry at various temperatures. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 90: 334-335.
- Tandler, A. y Beamish, F.W.H. 1981. Apparent specific dynamic action (SDA), fish weight and level of caloric intake in largemouth bass, *Micropterus salmoides* Lacepede. *Aquaculture.* 23: 231-242.
- Tidwell, J.H., Coyle, S.D., Bright, L.A., VanArnum, A. y Yasharian, D. 2003. Effect of water temperature on growth, survival and biochemical composition of largemouth bass *Micropterus salmoides*. *J. World Aqua. Soc.* 34: 175-183.
- Tukey, J.W. 1977. *Exploratory Data Analysis.* Addison-Wesley. USA. 688 pp.

¹ <http://www.fishbase.org/Summary/SpeciesSummary.php?id=3385>
Consultado en marzo de 2006.

² http://www.panoramaacuicola.com/noticia.php?art_clave=709
Consultado en marzo de 2006.