

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada



**BIOENERGETICA DE *Ictalurus punctatus* E INDICES
SECUNDARIOS DE ESTRES EN TEMPERATURAS
CONSTANTES Y FLUCTUANTES**

TESIS

DOCTORADO EN CIENCIAS

ELIZABETH SIERRA URIBE

ENSENADA, B. C., JULIO DEL 2000.

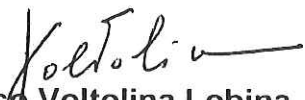
TESIS DEFENDIDA POR LA M. en C. Elizabeth Sierra Uribe Y APROBADA
POR EL SIGUIENTE COMITÉ



Dr. Fernando Díaz Herrera
Director del Comité



Dr. Luis Fernando Bückle Ramírez
Miembro del Comité



Dr. Doménico Voltolina Lobina
Miembro del Comité



Dra. Sonia Espina Aguilera
Miembro del Comité



Dr. Miguel Ángel del Río Portilla
Coordinador del Posgrado de Acuicultura



Dr. Federico Graef Ziehl
Director de Estudios de Posgrado

7 de Julio del 2000.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE
EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA, B. C.

DIVISIÓN DE OCEANOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE ACUICULTURA

**BIOENERGÉTICA DE *Ictalurus punctatus* E ÍNDICES
SECUNDARIOS DE ESTRÉS EN TEMPERATURAS
CONSTANTES Y FLUCTUANTES**

TESIS

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para
obtener el grado de **Doctora en Ciencias**

Presenta:

M. en C. Elizabeth Sierra Uribe.

Ensenada, B. C., Julio del 2000.

RESUMEN de la tesis de **ELIZABETH SIERRA URIBE**, presentada como requisito parcial, para la obtención del grado de **DOCTOR EN CIENCIAS con ESPECIALIDAD EN ACUICULTURA**. Ensenada, Baja California, México. Julio del 2000.

BIOENERGÉTICA DE *Ictalurus punctatus* E ÍNDICES SECUNDARIOS DE ESTRÉS EN TEMPERATURAS CONSTANTES Y FLUCTUANTES

Resumen aprobado por:


Dr. Fernando Díaz Herrera
Director de Tesis

En este estudio se evaluó el balance energético de juveniles de *Ictalurus punctatus* alimentados con dos dietas de diferente contenido proteínico, determinado en regímenes de temperatura constante (23, 28 y 33 °C) y fluctuante (23 a 33 °C). El mayor porcentaje de energía canalizado al campo de crecimiento en los bagres mantenidos en el régimen constante se obtuvo en la temperatura de 28 °C, que corresponde con el preferendum final de temperatura para esta especie y refleja la temperatura óptima para la mayoría de los procesos fisiológicos importantes del bagre de canal. La eficiencia en el campo de crecimiento de los peces expuestos a temperaturas cíclicas se debió 1) a una mayor tasa de consumo de alimento y 2) a una mayor eficiencia en la utilización de la energía extraída del alimento, que incluyó una disminución en el porcentaje de energía no asimilada y perdida a través de las heces, en la canalizada en el consumo de oxígeno y en el EDE así como el excretado como productos nitrogenados. El porcentaje de hematocrito y la concentración de cloruros, sodio y glucosa fueron afectados por el régimen de temperatura al que fueron expuestos los peces. Sin embargo las variaciones individuales de sodio y cloruros mantuvieron la concentración osmótica del plasma de los organismos independiente de las variaciones térmicas. Estas respuestas pueden ser utilizadas, como buenos y rápidos indicadores de la condición fisiológica de los bagres por exposición a cambios térmicos por arriba y por debajo de la temperatura preferida, particularmente la concentración de glucosa en el plasma. Estos resultados permiten recomendar que para optimizar el cultivo de los juveniles de esta especie se lleve a cabo en un régimen fluctuante, cuyo ciclo tenga un promedio cercano a la temperatura óptima de crecimiento (28 °C) y alimentados con una dieta con las características proximales de la experimental Aqua-Alimentos con 45% de proteína que pueden acelerar su crecimiento. Se midieron indicadores secundarios del estrés térmico en el bagre de canal.

Palabras clave: Balance energético, Campo de crecimiento, Índices secundarios de estrés, Bagre de canal, *Ictalurus punctatus*.

ENERGY BUDGET OF *Ictalurus punctatus* AND SECONDARY INDICATORS OF STRESS IN CONSTANT AND FLUCTUATING REGIMEN OF TEMPERATURES.

ABSTRACT

The energetic budget of *Ictalurus punctatus* juveniles fed two diets of different protein content, determined in constant (23, 28 and 33 °C) and fluctuating temperature (23 to 33 °C) regimes, showed that the greater percentage of energy channeled to scope for growth in catfish maintained in the constant regime, was obtained at the temperature of 28 °C. This temperature corresponds with the final preferendum of temperature for this species and reflects the optimum temperature for the more important physiological processes of *I. punctatus*. The efficiency for growth by channel catfish exposed at cyclic temperatures was due to a greater rate of food consumption and a greater efficiency in the utilization of the energy obtained from the diet, which included a decrease in the percentage of energy loss through faeces, and of that channeled in the oxygen consumption, SDE and excreted as nitrogen products. The secondary indicators of thermal stress in the channel catfish were measured. Hematocrit, chlorides, sodium and glucose concentrations were affected by the temperature regime to which the fish were exposed. However, the individual sodium and chlorides variations maintained the plasma osmotic concentration, independent of the thermal variations. These responses, especially glucose concentration, may be used as a good and rapid index of the physiological condition of the channel catfish for the effect of the higher and lower thermal changes from the preferred temperature. These results allow us to recommend that, to optimize the culture of juvenile of *I. punctatus* in Baja California it is necessary a maintain fluctuating regime of temperature, whit an average temperature close to the optimum temperature for growth (28 °C), and to feed it with a diet with the proximate composition of the experimental diet "Aqualimentos" with 45% of protein content which can accelerate its growth.

Key words: Energy budget, Scope for growth, Secondary indicators of stress, Channel catfish, *Ictalurus punctatus*.

DEDICATORIA

A LA MEMORIA DE MI MADRE Y ABUELA CON AMOR.

CON TODO MI CARIÑO A MI PADRE Y HERMANOS,
POR SU APOYO INCONDICIONAL.

A MIS SOBRINOS ERICKA, AMERICA Y GERARDITO, A QUIENES
AMO PROFUNDAMENTE.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Dr. Fernando Díaz Herrera por la dirección y apoyo en la realización de esta tesis, por su dedicación en mi enseñanza y formación en este "que hacer" al que llamamos investigación, pero sobre todo por la gran amistad y confianza que nos ha unido.

Agradezco al Dr. Domenico Voltolina Lobina, a la Dra. Sonia Espina Aguilera y al Dr. Fernando Bückle Ramírez por haber fungido como mis asesores y por sus valiosas recomendaciones que contribuyeron en gran medida a la culminación de este trabajo.

Al M. en C. Alberto Granados Blanco por su cariño y apoyo en esta una meta de mi formación profesional. Por estar a mi lado compartiendo los momentos buenos y difíciles de mi vida.

A Mary por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida. A mis compañeros y amigos, especialmente a Adriana, Estela, Gerardo, Varinka y Clarissa por su comprensión en todo momento.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada por el apoyo brindado a través del proyecto "Estudio Ecofisiológico para optimizar el cultivo del bagre de canal *Ictalurus punctatus* en Baja California", así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico dado al proyecto No.1882P-B9507.

A todos y cada uno de los integrantes del Departamento de Acuicultura, en especial a los compañeros del Laboratorio de Ecofisiología que de una manera u otra contribuyeron a la realización de esta tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado a través del programa de becas.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
I. INTRODUCCIÓN	1
I.1. Balance energético	5
I.2. Temperaturas: constante y fluctuante	7
I.3. Indicadores de estrés	8
II. OBJETIVO GENERAL	11
II.1. Objetivos específicos	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS	12
III.1. Obtención de los organismos	12
III.2. Mantenimiento de los organismos	12
III.3. Aclimatación	13
III.3.1. Temperaturas constantes	13
III.3.2. Régimen fluctuante	13
III.4. Balance energético	15
III.4.1. Alimento ingerido (C) y heces (F)	15
III.4.2. Metabolismo de rutina (R) y excreción amoniacal (U)	19
III.4.3. Efecto dinámico específico (EDE)	22
III.4.4. Campo de crecimiento (P)	22
III.5. Hematocrito y química sanguínea	23
III.6. Análisis estadístico	24
IV. RESULTADOS	25
IV.1. Características físicas y químicas del agua	25

CONTENIDO (Continuación)

	<u>Página</u>
IV.2. Bioenergética de <i>Ictalurus punctatus</i>	25
IV.3. Indicadores secundarios de estrés	35
IV.3.1. Hematocrito	35
IV.3.2. Concentración osmótica	35
IV.3.3. Concentración de cloruros	35
IV.3.4. Concentración de sodio	36
IV.3.5. Concentración de glucosa	36
V. DISCUSIÓN	42
V.1. Características químicas del agua	42
V.2. Bioenergética de <i>Ictalurus punctatus</i>	43
V.3. Indicadores secundarios de estrés	48
VI. CONCLUSIONES	59
LITERATURA CITADA	61
ANEXOS:	75
1. Critical thermal maxima and minima of <i>Macrobrachium rosenbergi</i> (Decapoda: Palaemonidae). J. Therm. Biol. 1998. 23(6): 381-385.	76
2. Energy budget of <i>Ictalurus punctatus</i> exposed to constant and fluctuating temperatures. Revista Italiana di Acquacoltura. 1999. 34: 71-81.	81

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1 Fluctuación de temperatura de 23-33 °C en un ciclo de 24 horas en el que se mantuvieron a los juveniles de <i>Ictalurus punctatus</i> .	14
2 Sistema de acuarios donde los juveniles de <i>Ictalurus punctatus</i> fueron mantenidos para medir la cantidad de alimento ingerido y la producción de heces.	18
3 Dispositivo experimental empleado en la medición individual del consumo de oxígeno y la excreción amoniacal de <i>Ictalurus punctatus</i> . Las cámaras respirométricas (N=21) consistieron en matraces Fernbach de 2,800 ml.	21
4 Balance energético de juveniles de <i>Ictalurus punctatus</i> aclimatados a 23 (●), 28 (⊗) y 33 °C (○) y alimentados con la dieta "Bagrina" con 36 % de proteína.	29
5 Balance energético de juveniles de <i>Ictalurus punctatus</i> aclimatados a 23 (●), 28 (⊗) y 33 °C (○) y alimentados con la dieta "Aqua-Alimentos" con 45 % de proteína.	30
6 Balance energético de <i>Ictalurus punctatus</i> aclimatados al régimen fluctuante de temperatura de 23-33 °C alimentados con la dieta "Bagrina" (●) con 36 % de proteína y Aqua-Alimentos (○) con 45 % de proteína.	31
7 Hematocrito (%) de <i>Ictalurus punctatus</i> , expuesto a diferentes regímenes de temperatura. Dieta (1) = Bagrina; Dieta (2) = Aqua-Alimentos.	37

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
8	Concentración osmótica (mmol Kg^{-1}) de <i>Ictalurus punctatus</i> , expuesto a diferentes regímenes de temperatura. Dieta (1) = Bagrina; Dieta (2) = Aqua-Alimentos.	38
9	Concentración de cloruros (mmol l^{-1}) de <i>Ictalurus punctatus</i> , expuesto a diferentes regímenes de temperatura. Dieta (1) = Bagrina; Dieta (2) = Aqua-Alimentos.	39
10	Concentración de sodio (mmol l^{-1}) de <i>Ictalurus punctatus</i> expuesto a diferentes regímenes de temperatura. Dieta (1) = Bagrina; Dieta (2) = Aqua-Alimentos.	40
11	Concentración de glucosa (mmol l^{-1}) de <i>Ictalurus punctatus</i> , expuesto a diferentes regímenes de temperatura. Dieta (1) = Bagrina; Dieta (2) = Aqua-Alimentos.	41
12	Concentración de sodio + cloro (mmol L^{-1}) de <i>Ictalurus punctatus</i> , expuesto a diferentes regímenes de temperatura. Dieta (1) = Bagrina; Dieta (2) = Aqua-Alimentos.	54

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
I Composición proximal de las dietas balanceadas "Bagrina" (1) y "Aqua-Alimentos" (2) proporcionados a los juveniles de <i>Ictalurus punctatus</i> .	17
II Tasas fisiológicas ($J\text{ día}^{-1}\text{ g}^{-1}\text{ p.s.}$) de <i>Ictalurus punctatus</i> aclimatados a diferentes temperaturas y alimentados con la dieta comercial "Bagrina" (1) con 36% de proteína cruda. C = Ingestión; R = Respiración; F = producción de heces; U = excreción amoniacal; EDE = efecto dinámico específico; P = campo de crecimiento. N=20.	27
III Tasas fisiológicas ($J\text{ día}^{-1}\text{ g}^{-1}\text{ p.s.}$) de <i>Ictalurus punctatus</i> aclimatados a diferentes temperaturas y alimentados con la dieta experimental "Aqua-Alimentos" (2) con 45% de proteína cruda. C = Ingestión; R = Respiración; F = producción de heces; U = excreción amoniacal; EDE = efecto dinámico específico; P = campo de crecimiento. N=20	28
IV Tasas fisiológicas ($J\text{ día}^{-1}\text{ g}^{-1}\text{ p.s.}$) de <i>Ictalurus punctatus</i> aclimatados a diferentes temperaturas y alimentados con la dieta "Bagrina" (1) y "Aqua-Alimentos" (2) con 36 y 45% de proteína cruda, respectivamente. C = Ingestión; R = Respiración; F = producción de heces; U = excreción amoniacal; EDE = efecto dinámico específico; P = campo de crecimiento. N=20.	34

BIOENERGÉTICA DE *Ictalurus punctatus* E ÍNDICES SECUNDARIOS DE ESTRÉS EN TEMPERATURAS CONSTANTES Y FLUCTUANTES

I. INTRODUCCIÓN

Las especies de peces pertenecientes a la familia Ictaluridae han sido ubicadas taxonómicamente en el orden de los Siluriformes. En Norte América los ictalúridos dulceacuícolas están representados por 39 especies, originalmente distribuidas sólo al Este de las montañas Rocallosas. Sin embargo, varias especies han sido introducidas al Continente Americano (Tucker, 1985).

De esta familia la especie de mayor importancia comercial es el bagre de canal *Ictalurus punctatus* nativo de México y del valle del Mississippi y actualmente su distribución se extiende desde el norte del valle del Mississippi hasta los grandes lagos y la planicie de Canadá (Tucker y Robinson, 1990).

La forma del cuerpo de *I. punctatus* es alargada con una ligera depresión en la cabeza. La piel carece de escamas y varía en color de gris-azuloso en la parte superior en los peces jóvenes a completamente negro en los adultos. La parte ventral del pez es generalmente entre blanca y plateada, pero puede ser oscura en los adultos. Los bagres presentan una línea lateral desde la aleta caudal hasta la cabeza; se distingue por su color brillante y por la presencia de poros. Las aletas son suaves, pero la aleta dorsal y pectoral tienen una espina endurecida y puntiaguda. La característica de los bagres es la presencia de barbillas que crecen alrededor de la boca. En los ictalúridos, estas barbillas se encuentran en una posición definida: cuatro por abajo de la boca, dos por arriba de ésta y una en cada extremo de la mandíbula (Tucker, 1985 y Tucker y Robinson, 1990).

El bagre de canal actualmente se produce en Estados Unidos en aproximadamente 66,000 ha de cultivo, de acuerdo a la última estimación del Servicio Nacional de Agricultura y Estadística (NASS, 1998), ya que posee las cualidades deseables en un organismo apropiado para el cultivo comercial. Entre éstas destacan su sabor apetecible, una gran diversidad de hábitos alimenticios, que lo catalogan como una especie omnívora oportunista, no se reproduce en los estanques de cultivo, tolera el cautiverio en altas densidades y sobrevive en una amplia variedad de ambientes (Tucker, 1985).

El hábitat natural del bagre de canal son los fondos de ríos con corrientes moderadas y substratos de arena, grava y canto rodado. Aunque estos organismos se pueden encontrar en aguas con alta turbiedad, generalmente prefieren aguas transparentes. Durante el día permanecen en el fondo, protegidos en cavidades y su actividad se incrementa inmediatamente después del ocaso hasta antes de la salida del sol, comportamiento que está relacionado con la alimentación. El alimento está compuesto por insectos acuáticos, caracoles, acociles, algas, plantas acuáticas y peces pequeños (Tucker y Robinson, 1990).

El crecimiento del bagre de canal en el medio natural es lento, muy probablemente debido a una escasa disponibilidad de alimento; el peso de 500 g lo alcanza de dos a cinco años. Se ha mencionado que el bagre de canal puede vivir más de 40 años y pesar hasta 29 kilos (Tucker y Robinson, 1990). En condiciones de cultivo Reigh (1999) observó que juveniles de esta especie con un promedio de 12 g alcanzaron la talla comercial de más de 340 g en aproximadamente 180 días durante el periodo de cultivo comprendido entre 1994 a 1996.

El pez gato azul *Ictalurus furcatus*, el blanco *I. catus*, el cabeza de toro café *I. nebulosus*, el cabeza de toro amarillo *I. natalis*, el cabeza de toro negro *I. melas* y el cabeza plana *Pylodictis olivaris* también son aptos para el cultivo, aunque

cada una de estas especies posee una o varias características que limitan su potencial, como crecimiento lento, susceptibilidad a enfermedades y un elevado canibalismo (Tucker y Robinson, 1990).

En México el cultivo del bagre de canal es reciente, además de estar bien cotizado para el mercado nacional, tiene un gran mercado en Estados Unidos donde su consumo se ha incrementado en las últimas décadas ocupando el cuarto lugar después del atún, el acocil y el salmón. En ese País la producción de esta especie se ha incrementado desde las menos de tres mil quinientas toneladas procesadas en 1970 a doscientas cincuenta y nueve mil toneladas en 1996 (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA 1998) y el Servicio Nacional de Agricultura y Estadística (NASS, 1997) tiene registrados 1,465 centros productores de bagre distribuidos en 15 estados, al norte Arkansas y al sur Mississippi y Alabama; la región noroeste que incluye los estados de California, Kansas, Oklahoma y Missouri; la región suroeste con Louisiana y Texas y la región sureste con Florida, Georgia, Carolina del Norte, Carolina del Sur, Tennessee y Kentucky, (Wywialowski, 1999).

Por su producción destacan los Estados de Alabama, Arkansas, Georgia, Kentucky, Louisiana y Mississippi; este último estado contribuye con la mayor producción (más de 10 millones de kg año⁻¹) que se canalizan principalmente al consumo humano y a la pesca (Tucker, 1985). En 1996 de la venta total de bagre se produjo en este País una ganancia de 425 millones de dólares, de los cuales el 64.7% le correspondió al estado de Mississippi, 12.4% a Alabama, 12.3% Arkansas, 6.6% a la región suroeste, 2.2% la región noroeste y 1.7% la región sureste (Wywialowski, 1999).

De la producción total de *I. punctatus* en Estados Unidos, se pierde aproximadamente el 8% por la mortalidad atribuida a enfermedades infecciosas. Sin embargo, se ha estimado que son más importantes las pérdidas ocasionadas

por una disminución en el crecimiento, las cuales se deben a una baja eficiencia de conversión alimenticia, relacionada con estresores ambientales como la mala calidad del agua, la temperatura y las concentraciones de oxígeno disuelto inadecuadas, que hacen a los animales más susceptibles a contraer enfermedades (Tucker, 1985).

Stickney y Lovell (1977) refieren que es necesario profundizar los estudios referentes a la genética, la nutrición, la alimentación, la reproducción, la optimización de los factores ambientales y el control de enfermedades. Estas áreas de investigación están relacionadas entre si y su comprensión es esencial para el éxito del cultivo a nivel comercial de ésta y de cualquier otra especie susceptible de cultivo.

Uno de los requerimientos principales y el más costoso cuando se trata de cultivos intensivos, es la alimentación. El objetivo principal de una nutrición adecuada es promover el crecimiento de las especies así como incrementar la resistencia a enfermedades. Los estudios de nutrición en el bagre de canal han demostrado que los requerimientos de proteína en las dietas varían de acuerdo a la talla de los organismos; los juveniles, requieren un nivel más alto de proteína que el de los peces de tallas mayores. La proteína animal en las dietas favorece el crecimiento de los bagres por su alta calidad. En los últimos años se han desarrollado investigaciones conducentes a sustituir proteína de origen animal por proteína de origen vegetal en las dietas para el bagre, principalmente debido al beneficio económico que ésta representa. Sin embargo, debido a que los resultados no son concluyentes, la proteína animal continúa incluyéndose en las dietas comerciales (Li y Robinson, 1998; Robinson y Li 1999; Reigh, 1999).

La formulación de dietas que satisfagan los requerimientos específicos y la comprensión de los requerimientos fisiológicos de los peces relacionados con las variaciones de los factores ambientales son importantes, para el éxito de la

acuicultura intensiva del bagre de canal. Entre los factores ambientales es importante considerar la calidad del agua, la concentración del oxígeno disuelto y la temperatura, ya que éstos afectan directamente la salud y la condición de los peces (Wedemeyer, 1997).

I.1. Balance energético

Los estudios bioenergéticos son relevantes para entender el efecto de diversos factores ambientales y nutrimentales sobre la fisiología de los organismos, ya que permiten conocer y predecir la distribución de la energía en los animales producidos en granjas comerciales, afectando positiva o negativamente el campo de crecimiento (Jobling, 1994). El enfoque bioenergético de la mayoría de las investigaciones en los peces se han realizado en condiciones de laboratorio, con especies que son fáciles de mantener en cautiverio o que son comercialmente importantes (Rice, 1990).

La bioenergética estudia la tasa de incorporación de materia en términos de su contenido energético y su distribución en el organismo; en este sentido es útil para conocer las relaciones entre las tasas de alimentación y de crecimiento de los organismos expuestos a diferentes condiciones ambientales. El principio básico de la bioenergética puede ser sintetizado de acuerdo a lo mencionado por Jobling (1994) "toda la energía que el organismo adquiere con la ingestión del alimento y que no es perdida a través de las heces o vía excreción o utilizada en los procesos metabólicos, se deposita como tejido nuevo (crecimiento o ganancia de energía)".

El crecimiento de los organismos de acuerdo con Nimi y Beamish (1974) puede ser definido como un cambio en peso, en el nitrógeno (proteína) o en el nivel de energía. Desde el punto de vista bioenergético, el campo de crecimiento

constituye una respuesta integradora de los diferentes procesos fisiológicos del animal y representa la fracción de la energía potencial que se canalizará a la formación de tejido somático y a la producción de gametos (Warren y Davis, 1967). Para el aprovechamiento de especies de interés comercial, es relevante el desarrollo de estudios enfocados a estimular el crecimiento bajo condiciones de cultivo.

En el presente estudio se utilizó la ecuación propuesta por Klekowski y Duncan (1975), que describe el balance de energía en los organismos:

$$C = R + F + U + P \quad (1)$$

Donde C es la energía contenida en el alimento ingerido, R es la energía utilizada en el metabolismo de rutina, el cual involucra el costo requerido para la actividad locomotora espontánea, F representa la energía incluida en el material que pasó a través del tracto digestivo sin ser digerido y que se excreta como heces, U es la porción de energía perdida a través de los compuestos nitrogenados y P es la cantidad de energía disponible que puede ser canalizada al campo de crecimiento o producción.

En esta ecuación es necesario incluir el costo energético asociado con los procesos de ingestión, asimilación, transporte, procesos bioquímicos celulares, evidenciados por un incremento en la tasa de consumo de oxígeno, conocido como efecto calorigénico o efecto dinámico específico (EDE) (Jobling, 1983).

Clifford y Brick (1979) mencionan la conveniencia de identificar y optimizar los parámetros ambientales y nutrimentales que pueden aumentar la tasa de crecimiento de organismos cultivados. Las investigaciones realizadas con alimentos balanceados tienen como objetivo definir la dieta más apropiada con el

fin de incrementar el crecimiento de las especies cultivadas o susceptibles de cultivo a nivel experimental o comercial.

1.2. Temperaturas: constante y fluctuante

La temperatura es el principal factor ambiental que influye en la vida de los animales porque influye directamente sobre las tasas de diferentes reacciones fisiológicas y bioquímicas de los organismos entre las que destacan la concentración de enzimas, la velocidad de las reacciones mediadas por ellas y la formación de isoenzimas que ajustan y mantienen el equilibrio interno del animal. Los organismos acuáticos móviles como los peces, responden a los estímulos térmicos al preferir ciertos intervalos de temperatura, que les son favorables y también exhiben respuestas de evitación a aquellas que les son adversas (Hall *et al.*, 1978; Reynolds y Casterlin, 1979; Espina *et al.*, 1993).

Tucker (1985) señala que el intervalo de temperaturas de 21 a 29 °C es óptimo para el desarrollo y la reproducción de *Ictalurus punctatus*; las temperaturas superiores e inferiores a este intervalo tienen un efecto negativo sobre el crecimiento y la sobrevivencia de la especie. Sin embargo, Kilambi *et al.* (1970) mencionan que la temperatura óptima para el bagre de canal es de 32 °C y Cheetham (1976) y Díaz y Bückle (1999) determinaron que la temperatura preferida para esta especie es de 28 a 29°C.

Generalmente las respuestas térmicas se han medido en organismos mantenidos en regímenes de temperatura constante. Los sistemas acuáticos naturales se caracterizan por cambios diarios y estacionales de la temperatura; por lo cual es necesario conocer la tolerancia térmica de los organismos y las consecuencias ocasionadas por tales variaciones (Cox, 1978).

Heath (1963) obtuvo evidencias de que los peces toleran mejor las temperaturas sub y supra-óptimas cuando se han aclimatado a temperaturas fluctuantes. En estudios realizados con la lobina rayada *Morone saxatilis*, el salmón *Oncorhynchus nerka*, la trucha *Salmo trutta* y la lobina *Micropterus salmoides* (Cox, 1978; Briette y Green, 1980; Cox y Coutant, 1981; Spigarelli *et al.*, 1982; Diana, 1984) refieren que en el caso de los animales expuestos a temperaturas fluctuantes el crecimiento fue mayor que se mantuvieron a temperaturas constantes. Estos autores señalan que los peces expuestos a los ciclos fluctuantes de temperatura con un promedio por debajo de la óptima, el crecimiento generalmente se incrementó, mientras que los expuestos a los ciclos cuyos promedios exceden la temperatura óptima se redujo significativamente. Por otra parte, Medvick (1979) y Vondracek *et al.* (1989) señalaron que en *Abudefduf abdominalis* y *Catostomus tahoensis* expuestos a ciclos de temperatura fluctuante, el crecimiento y la eficiencia de asimilación no fueron diferentes al de los peces mantenidos en temperaturas constantes.

1.3. Indicadores de estrés

En la naturaleza los peces están expuestos a condiciones fluctuantes de temperatura, a variaciones en la velocidad de las corrientes, a aumento de la turbiedad, a bajas concentraciones de oxígeno disuelto, a la escasa disponibilidad de alimento y también a los contaminantes. Estos cambios en los factores ambientales, individualmente o en su conjunto, pueden producir estrés en los organismos (Adams, 1990 y Espina y Vanegas, 1996).

El estrés ha sido definido por Brett (1971) como la perturbación del funcionamiento normal de un animal producido por cualquier factor ambiental que limite o reduzca su oportunidad de sobrevivencia considerablemente.

Selye (1973) definió al estrés como la respuesta ante cualquier factor ambiental que altere el estado fisiológico del organismo más allá de su estado estable normal. También se ha definido estrés como “cualquier alteración de la homeostasis”. Sin embargo esta última definición, no implica que el estrés sea nocivo para el organismo. Barton (1997) considera que las respuestas adaptativas al estrés que utilizan los organismos son las que promueven una mayor oportunidad de sobrevivencia y les permiten colonizar nuevos hábitat.

En este contexto, Pankhurst y Van Der-kraak (1997) reconocen que las prácticas propias de la acuicultura, como la obtención de gametos, las interacciones sociales, las altas densidades y la manipulación a la que se someten los organismos son estresantes y actúan principalmente afectando el crecimiento y la reproducción.

El término estresor se refiere al estímulo, el término estrés, se refiere al estado alterado del organismo y las respuestas de estrés son aquellas manifestaciones fisiológicas y de comportamiento que pueden ser medidas como indicadores de una respuesta a tal condición. Weiner (1992) adoptó el término “experiencia al estrés”, en lugar de estrés, para indicar que el fenómeno es en sí mismo un proceso dinámico e integrativo.

El Síndrome General de Adaptación de Selye (1936) ha sido dividido en tres estadios: el primero es una reacción de alarma, que es la respuesta inicial del animal al estímulo, seguido por el periodo de resistencia en el cual se desencadenan las respuestas de compensación en el organismo, manteniendo la homeostasis. Si a través de estas respuestas el organismo no supera el estrés, se presenta el tercer estadio, la extenuación, el cual lleva al desarrollo de una condición patológica o la muerte de los animales.

Mayzaud *et al.* (1977) propusieron que en los peces los efectos primarios se asocian con el sistema neuroendocrino y se detectan por el aumento y la liberación de corticoesteroides y catecolaminas. Entre los secundarios, se mencionan los cambios en la química sanguínea, en los tejidos y en ciertas funciones metabólicas, osmorreguladoras y renales. Estos cambios se reflejan en respuestas terciarias como son la disminución de la tasa de crecimiento y de reclutamiento, a nivel poblacional (Pickering, 1981; Adams, 1990; Espina y Vanegas, 1996).

Wedemeyer y Yasutake (1977) propusieron el empleo de varios métodos para detectar y medir el efecto de las variaciones de los factores ambientales estresantes que deterioran la salud de los peces mantenidos en cultivo o en los organismos que conforman las poblaciones naturales. A nivel sanguíneo propusieron el conteo celular, la concentración del ion cloruro, determinación de los niveles de colesterol, cortisol, glucosa, hemoglobina, metahemoglobina, ácido láctico y el tiempo de coagulación, la osmolaridad de la hemolinfa, el hematocrito y el contenido de proteína total. En el músculo e hígado sugieren evaluar el contenido de glucógeno.

El potencial que tiene en México el bagre de canal *Ictalurus punctatus* en la acuicultura hace necesario complementar la información existente con estudios ecofisiológicos que permitan profundizar el conocimiento del efecto estresante de la temperatura sobre la bioenergética de esta especie.

II. OBJETIVO GENERAL

Este trabajo tiene el propósito de conocer el régimen de temperatura y la dieta que promuevan el crecimiento de juveniles de *Ictalurus punctatus* alimentados con dietas comerciales de diferente contenido proteínico (36 y 45%) y mantenidos tanto a temperaturas constantes de 23, 28 y 33 °C, como en un régimen fluctuante (23 - 33 °C), en ciclos de 24 h durante 30 días.

II.1. Objetivos específicos

- a) Medir las siguientes tasas fisiológicas consumo de alimento, respiración, producción de heces, excreción amoniacal y efecto calorigénico, y expresarlas en $\text{J día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{p.s.}$ e integrarlas en la ecuación del balance energético, para calcular el campo de crecimiento que resulta de cada una de las diferentes combinaciones experimentales.
- b) Medir el hematocrito, la concentración de glucosa, de sodio, de cloruro y la osmolaridad en el plasma de los bagres, con el fin de evaluar el estrés provocado por la exposición de los organismos a los diferentes regímenes térmicos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

III.1. Obtención de los organismos

Los juveniles de *Ictalurus punctatus* de 6 a 7 cm de longitud estándar fueron adquiridos en el “Campo Mosqueda” del Estado de Baja California, México y fueron transportados en cajas de polietileno al Laboratorio de Acuicultura del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

III.2. Mantenimiento de los organismos

En el laboratorio los peces se sometieron a un tratamiento con tetraciclina para evitar enfermedades; posteriormente los animales permanecieron durante un mes en estanques ovalados de 1,500 l con aireación constante a la temperatura preferida (28 °C) determinada para esta especie por Díaz y Bückle (1999).

Durante la fase de mantenimiento, los animales se alimentaron diariamente con la dieta comercial Bagrina suministrada *ad libitum*. Se realizó la limpieza diaria de los estanques, se retiró el alimento remanente y se recambió la mitad del agua.

Las características físicas y químicas del agua de los estanques de mantenimiento se midieron dos veces por semana. Se midió la concentración de oxígeno disuelto (Oxímetro YSI modelo 54B), la temperatura (termómetro de mercurio Kessler), el pH (Orion modelo SA230) y la dureza como mg CaCO₃ l⁻¹ (Hach modelo 5B 1453-00).

III.3. Aclimatación

III.3.1. Temperaturas constantes

Los organismos ($N = 3000$) con un intervalo de peso húmedo de 5 a 9 g, se separaron en tres grupos, que se aclimataron durante un período de 30 días a 23, 28 y 33 °C en estanques circulares de 500 l. Para establecer las temperaturas de 23 y 33 °C, la temperatura del agua se redujo o se incrementó a una tasa de dos grados centígrados por día, a partir de la temperatura de mantenimiento de 28 °C.

III.3.2. Régimen fluctuante

Otros 3000 organismos se dividieron en tres grupos, los cuales se mantuvieron en estanques circulares de 500 l y se aclimataron durante 30 días, a un régimen de temperatura fluctuante simétrico de 23 a 33 °C en un ciclo de 24 horas. Para mantener las temperaturas en el régimen fluctuante, en el agua de los estanques se introdujeron calentadores de 1000 W conectados a un reloj electrónico programable (CHONTROL serie XT) para incrementar gradualmente la temperatura del agua de 23 a 33 °C en 5 h, temperatura en la cual los peces permanecieron durante 7 h. Posteriormente la temperatura del agua en los estanques fue enfriada gradualmente con agua a 18 °C por un periodo de 5 h, hasta llegar a la temperatura inferior del ciclo de 23 °C, en la cual los peces permanecieron por 7 h. El ciclo se inició a las 04:00 h con la temperatura de 23 °C, la velocidad de calentamiento y enfriamiento del agua fue de 2 °C por hora (Figura 1).

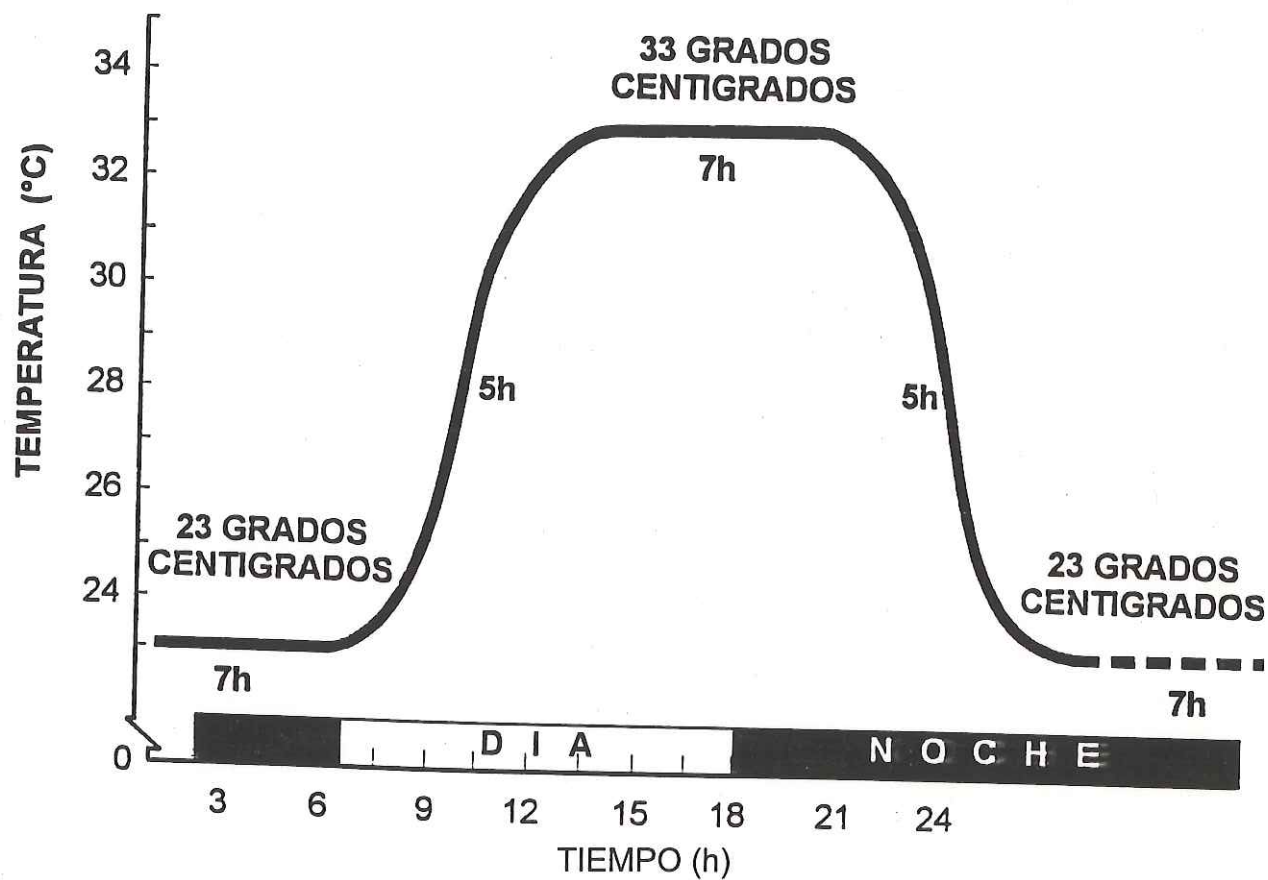


Figura 1.

Fluctuación de temperatura de 23-33 °C en un ciclo de 24 h en el que se mantuvieron a los juveniles de *Ictalurus punctatus*.

Este ciclo de temperaturas se seleccionó considerando los límites inferior y superior del valor promedio mensual de las temperaturas registradas diariamente durante los últimos 24 años en la zona donde se ubican las granjas de cultivo del bagre en Baja California. El límite inferior se encuentra entre 15 y 24 °C y el superior entre 34 y 35 °C (Miranda *et al.*, 1991). Tucker y Robinson (1990) mencionan que el crecimiento y la eficiencia de absorción del alimento son mayores al 80% entre 22 y 34°C y el sistema inmunológico de los bagres funcionan más eficientemente entre 21 y 33 °C.

III.4. Balance energético

III.4.1. Alimento ingerido (C) y heces (F)

El balance energético de *I. punctatus* se evaluó en peces aclimatados a dos regímenes de temperatura y dos dietas con diferente contenido de proteína (Tabla 1). La primera dieta comercial utilizada fue Bagrina, elaborada por Purina, con un contenido proteínico de 36%. La segunda dieta utilizada en este estudio fue una dieta experimental Aqua-Alimentos formulada por el grupo de Nutrición del CICESE, basada en los requerimientos nutricionales del bagre de canal (Stickney y Lovell, 1977) con un contenido de proteína de 45%.

Con el fin de cuantificar la cantidad de alimento ingerido y la producción de heces, los organismos procedentes de cada una de las condiciones experimentales (N=120), se distribuyeron en seis acuarios de 25 l con flujo continuo de agua (Figura 2). En este sistema los peces se alimentaron diariamente durante 2 h con la dieta correspondiente proporcionada a razón del 8% del peso húmedo de los organismos a los organismos aclimatados al régimen constante y al 10% en los animales en los cuales se mantuvo un régimen de temperatura fluctuante.

El alimento remanente se retiró de los acuarios por medio de un sifón con una malla de 70 μm colocada en el extremo distal. Este alimento se colocó en una estufa BLUE M a 60°C hasta peso constante (p.s. g). La cantidad de alimento ingerido por los organismos se cuantificó diariamente durante un mes, mediante el método gravimétrico, por diferencia entre la cantidad del alimento proporcionado y el remanente.

Las heces fueron extraídas de los acuarios cada 24 h de la misma manera que el alimento remanente y se obtuvo el peso seco (g) mediante el mismo procedimiento. El contenido energético del alimento ingerido y de las heces producidas por los peces provenientes de cada tratamiento, se determinaron utilizando una microbomba calorimétrica (PARR 1425); cada análisis se llevó a cabo por triplicado. Ambos parámetros fueron expresados en $\text{J día}^{-1} \text{g}^{-1}$ p.s.

Se realizaron por triplicado pruebas de solubilidad de ambas dietas, para lo cual se colocó 1 g de alimento en los matraces Fernbach de 2800 ml durante 2 h. Los datos obtenidos del alimento consumido por los peces se corrigieron por el factor de dilución de los alimentos.

Tabla I. Composición proximal de las dietas balanceadas "Bagrina" (1) y "Aqua-Alimentos" (2) proporcionados a los juveniles de *Ictalurus punctatus*.

CONTENIDO (%)	DIETA (1)	DIETA (2)
PROTEÍNAS	36.0	45.0
LÍPIDOS	8.2	6.6
CARBOHIDRATOS	40.9	32.9
FIBRA	4.1	2.0
CENIZA	9.73	8.59
HUMEDAD	5.55	8.38
DIGESTIBILIDAD	95.88	94.36
ENERGÍA (k J g ⁻¹)	21.9	23.3

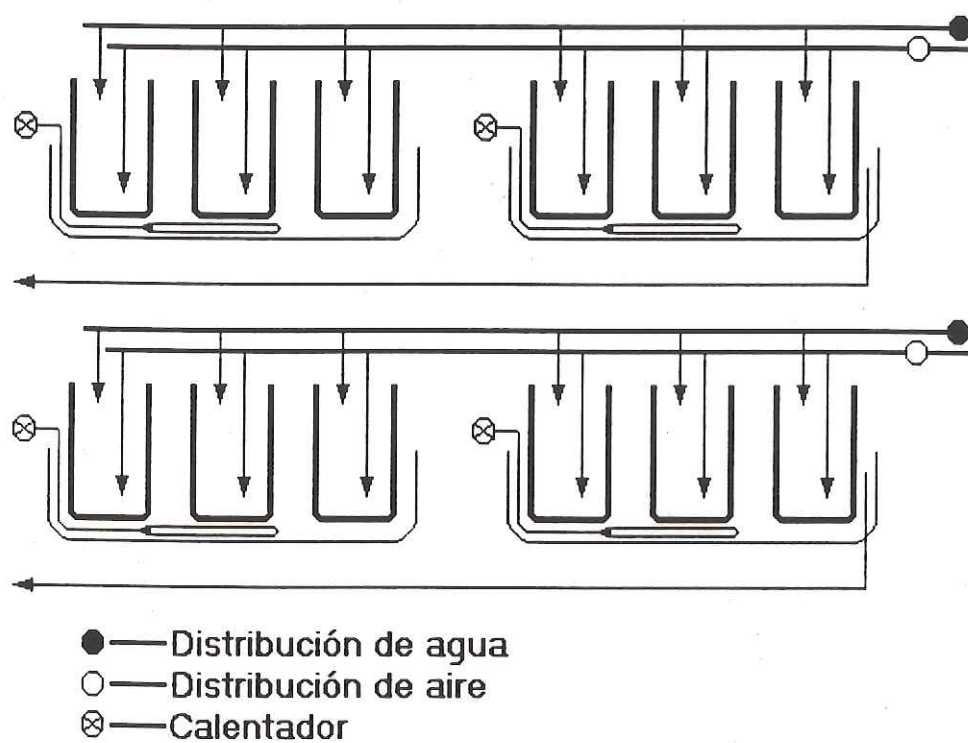


Figura 2. Sistema de acuarios empleado para medir la ingestión de alimento y producción de heces de *Ictalurus punctatus*.

III.4.2. Metabolismo de rutina (R) y excreción amoniacal (U)

El consumo de oxígeno de rutina del bagre de canal provenientes de cada condición experimental, se midió por duplicado en un respirómetro cerrado. Los peces se colocaron individualmente en 20 cámaras Fernbach de 2800 ml (Figura 3). Las cámaras estaban conectadas a un sistema de flujo; de cada cámara se obtuvieron dos muestras de agua iniciales, antes de cerrar el flujo de agua, y dos finales después de permanecer cerradas durante 2 h. Las muestras se obtuvieron por el desplazamiento de agua al inflar un globo en el interior de cada cámara, a través de un sistema de mangueras conectadas a dispositivos cerrados herméticamente que contenían en su interior electrodos específicos.

La concentración de oxígeno disuelto (mg l^{-1}) de las muestras iniciales y finales (10 ml) de cada cámara se cuantificó por medio de un oxímetro digital (YSI-54 $\pm 0.1 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$). El consumo de oxígeno de los peces se calculó por la diferencia entre la concentración inicial y final. Los resultados se expresaron en $\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ p.s.}$ Posteriormente se transformaron en $\text{J día}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ p.s.}$ utilizando el coeficiente oxicalórico $19.37 \text{ J mg l}^{-1} \text{ O}_2$ (Brett y Groves, 1979).

La excreción amoniacal se midió en cada cámara en muestras de 200 ml tomadas como anteriormente se describió para el consumo de oxígeno. La concentración de amonio se midió con un electrodo de amonio (Fisher) conectado a un analizador de iones (ORION EA-940 $\pm 0.01 \text{ mg NH}_4^+ \text{ l}^{-1}$). La excreción amoniacal de los peces se calculó por diferencia entre la concentración final e inicial de las muestras. Los datos se expresaron en $\text{mg NH}_4^+ \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ p.s.}$ y se transformaron en $\text{J día}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ p.s.}$ utilizando el coeficiente nitrocalórico $19.17 \text{ J mg l}^{-1} \text{ NH}_4^+$ (Brett y Groves, 1979).

En esta fase experimental se mantuvieron dos cámaras control sin peces con el fin de medir el consumo de oxígeno y la producción de amonio de los microorganismos eventualmente presentes en el agua, para hacer las correcciones pertinentes.

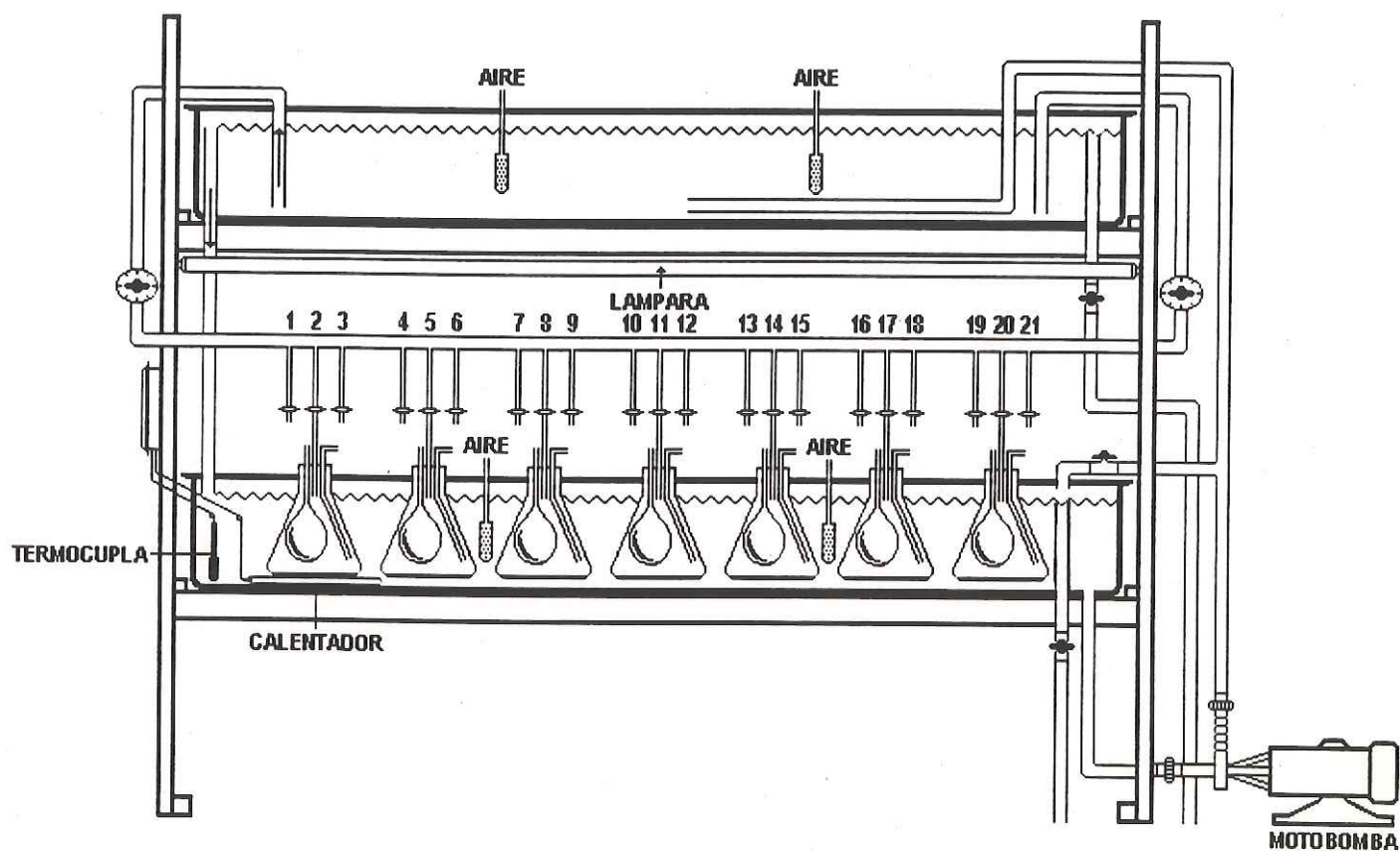


Figura 3. Dispositivo experimental empleado en la medición individual del consumo de oxígeno y la excreción amoniacal de *Ictalurus punctatus*. Las cámaras respirométricas (N=21) consistieron en matraces Fernbach de 2,800 ml.

III.4.3. Efecto dinámico específico (EDE)

Para conocer el efecto dinámico específico o efecto calorigénico del alimento se midió el consumo de oxígeno de los organismos recién alimentados y en los mantenidos por un período de 48 h sin alimento. Los valores del EDE se expresaron en $\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ p.s.}$ Posteriormente se transformaron en $\text{J día}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ p.s.}$ utilizando el coeficiente oxicalórico $19.37 \text{ J mg l}^{-1} \text{ O}_2$ (Brett y Groves, 1979).

Cabe señalar que en el régimen fluctuante de temperatura las tasas del metabolismo de rutina (R) y excreción amoniacal (U), se midieron durante la fase fría (23°C) y caliente (33°C).

III.4.4. Campo de crecimiento (P)

El campo de crecimiento o producción (P, $\text{J día}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ p.s.}$) se calculó por diferencia entre la energía contenida en el alimento ingerido (C) y la suma de la energía utilizada en la respiración (R), la excreción nitrogenada (U) y en la producción de heces (F) y la invertida en el efecto dinámico específico (EDE).

$$P = C - (R + F + U + \text{EDE}) \quad (2)$$

III.5. Hematocrito y química sanguínea

Como indicadores secundarios de estrés se midieron el hematocrito, la concentración de sodio, de cloruro, de glucosa y la osmolaridad en el plasma (Wedemeyer y Yasutake, 1977).

Para este fin 40 peces de cada condición experimental (N= 40) se distribuyeron en ocho acuarios de 20 l forrados con plástico negro para evitar perturbaciones en los animales y se mantuvieron sin alimentar 24 h. Posteriormente se anestesiaron con 2, fenoxi-etanol a una concentración de 0.8 ml l⁻¹. En seguida se les practicó una incisión diagonal detrás de la cabeza, hasta encontrar la aorta dorsal donde se tomaron muestras de sangre con un tubo capilar para microhematocrito heparinizado (Kimble 73810); se sellaron en un extremo con plastilina y se centrifugaron a 7000 r.p.m. durante 5 min en una centrifuga (Adams). Los valores de hematocrito, se determinaron directamente mediante un carta comercial Arthur H. Thomas Company como el volumen de células rojas contenidas en una muestra de sangre expresadas en porcentaje.

Para obtener el plasma se tomó una segunda muestra de sangre de la aorta dorsal con una jeringa de 1 ml y se colocó en viales de 3 ml previamente heparinizados, la sangre se centrifugó a 30,000 r.p.m. durante 5 min en una centrifuga (Sorvall).

La concentración osmótica se midió en muestras de plasma de 10 µl, con un osmómetro Wescor modelo 5500. Los valores obtenidos se expresaron en mmol Kg⁻¹. La concentración de cloruro se midió en 25 µl de plasma mediante el procedimiento clínico de SIGMA (Nº 461-3). Esta técnica se basa en el desplazamiento cuantitativo del tiocianato de mercurio por el cloruro. La intensidad del color de este compuesto leído en un espectrofotómetro (Elyptica 2000) a 460 nm, es directamente proporcional a la concentración de cloruros. La concentración

de glucosa se midió en 10 μ l de plasma, mediante el procedimiento clínico de SIGMA (Nº 315) basado en la reacción enzimática de Trinder, donde la hidrogeno peroxidasa reacciona con la 4-aminoantipirina y con el p-hidroxibenceno sulfonato formando quinonemina, la intensidad de este compuesto leído en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 505 nm es proporcional a la concentración de glucosa de la muestra. Los niveles de sodio plasmático se determinaron en un flamómetro digital Cole-Palmer (2655-00). Los valores plasmáticos de cloruro, glucosa y sodio se expresaron en mmol l⁻¹.

III.6. Análisis estadístico

En el análisis de los valores obtenidos correspondientes a las tasas fisiológicas de *I. punctatus* (C, R, H, U, EDE y P) mantenidas en las diferentes condiciones experimentales se empleó el diagrama de cajas del Análisis Exploratorio de Datos de Tukey (1977); así se calcularon el valor mediano (M) y el intervalo de confianza de la mediana ($M \pm 1.58 (\Delta H / \sqrt{n})$). Las diferencias se consideraron significativas ($P < 0.05$) cuando no se observó traslape entre dichos intervalos. Cuando fue necesario se empleó la prueba confirmatoria de Kruskal-Wallis (Zar, 1974).

Para contrastar el efecto del régimen de temperaturas constante y fluctuante sobre los valores obtenidos de hematocrito, concentración de cloruros, sodio, glucosa y osmolaridad, se utilizó la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis (Zar, 1974).

IV. RESULTADOS

IV.1. Características físicas y químicas del agua

La concentración de oxígeno disuelto en los estanques donde los bagres se mantuvieron a las temperaturas constantes de 23, 28 y 33 °C fue de 8.54 ± 0.45 , 8.11 ± 0.53 , 7.30 ± 0.29 mg O₂ l⁻¹ y en el régimen fluctuante en la temperatura inferior del ciclo 23°C fue de 8.4 ± 0.35 mg O₂ l⁻¹ y en la superior 33°C de 7.22 ± 0.89 mg O₂ l⁻¹. Los valores de pH fueron similares en todas las condiciones experimentales con un intervalo de 7.8 a 8.0. La dureza del agua tuvo un intervalo de 534 ± 98 mg de CaCO₃ l⁻¹ en los estanques mantenidos en los regímenes de temperatura constante, cuyo abastecimiento de agua provenía de la red central de la ciudad. Para los estanques de mantenimiento en régimen de temperatura fluctuante la dureza del agua, proveniente de la red periférica, de las instalaciones del Departamento de Acuicultura CICESE fue de 328 ± 26 mg de CaCO₃ l⁻¹. Así con respecto a la dureza del agua, esta fue 18.8% más alta en el primer experimento que en el segundo ($P < 0.05$).

IV.2. Bioenergética de *Ictalurus punctatus*

En los bagres aclimatados a las temperaturas constantes de 23, 28 y 33 °C, la cantidad de energía del alimento ingerido (Purina) se encontró entre 1624 a 3074 J día⁻¹ g⁻¹ p.s. En la temperatura de aclimatación de 28 °C que corresponde a la preferida determinada para esta especie por Díaz y Bückle (1999) el porcentaje de energía que los peces obtuvieron del alimento ingerido fue el doble con respecto a los mantenidos en 23 °C y 21% y fue mayor con respecto a los expuestos a 33 °C (Tabla 2). No se observaron diferencias significativas ($P >$

0.05) entre el consumo del alimento en los peces aclimatados a 28 °C y los expuestos al régimen fluctuante de temperatura.

La tasa de ingestión de los peces alimentados con la dieta experimental Aqua-Alimentos con 45% proteína fue significativamente mayor ($P < 0.05$) con respecto a los obtenidos en peces alimentados con la dieta comercial Bagrina. Los peces mantenidos en 28 °C obtuvieron una mayor cantidad de energía del alimento consumido, que fue de $5732.1 \text{ J día}^{-1} \text{ g}^{-1}$ p.s. (Tabla 3), mientras que, en los bagres aclimatados a 23 °C y 33 °C, la energía ingerida fue de 2259.0 y $3498.0 \text{ J día}^{-1} \text{ g}^{-1}$ p.s. respectivamente (Tabla 3). En los organismos expuestos al régimen fluctuante de temperatura la energía incorporada del alimento ingerido fue 3.5, 1.4 y 2.3 veces mayor con respecto a la obtenida por los peces mantenidos en los regímenes constantes de temperatura de 23, 28 y 33 °C, respectivamente.

La energía que *Ictalurus punctatus* alimentado con la dieta comercial Bagrina perdió a través de las heces se incrementó desde 6.3% hasta 10 % a medida que la temperatura de aclimatación aumentó de 23 a 28 y a 33 °C (Figura 4). En los peces alimentados con la dieta experimental y expuestos a 23 °C la energía perdida fue de 9.4 y de 10.8 % en los peces aclimatados a 33 °C. En los organismos mantenidos en 28 °C esta pérdida energética (5.5 %) fue significativamente menor ($P < 0.05$) (Figura 5). En los bagres aclimatados al régimen térmico fluctuante la energía perdida a través de las heces fueron 3.2 y 3.4 % cuando se alimentaron con Purina o con Aqua-Alimentos (Figura 6).

Tabla II. Tasas fisiológicas ($\text{J día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{p.s.}$) de *Ictalurus punctatus* aclimatados a diferentes temperaturas y alimentados con la dieta comercial "Bagrina" (1) con 36% de proteína cruda. C = ingestión; R = respiración; F = producción de heces; U = excreción amoniacal; EDE = efecto dinámico específico; P = campo de crecimiento. N = 20.

	TEMPERATURAS CONSTANTES DIETA (1)		
	23 °C	28 °C	33 °C
C	1624.0 ^a (1607.6 ; 1640.4)	3257.0 ^c (3246.6 ; 3267.4)	2573.0 ^b (2562.4 ; 2583.6)
R	187.0 ^b (174.1 ; 199.9)	118.0 ^a (117.7 ; 118.3)	257.0 ^c (241.0 ; 261.0)
F	103.0 ^a (102.2 ; 103.8)	318.0 ^b (315.3 ; 320.7)	256.0 ^b (251.0 ; 261.0)
U	75.0 ^c (72.2 ; 77.8)	11.0 ^b (9.4 ; 12.6)	7.5 ^a (6.7 ; 8.3)
EDE	288.0 ^b (280.4 ; 259.6)	172.0 ^a (169.5 ; 174.5)	531.0 ^c (508.2 ; 553.8)
P	971.0 ^a (930.5 ; 1011.5)	2638.0 ^c (2620.5 ; 2655.5)	1521.5 ^b (1466.3 ; 1576.7)

Mediana y entre paréntesis intervalo de confianza. Los valores en la misma línea seguidos por diferente letra indican diferencias significativas ($a < b < c$) con un $\alpha = 0.05$.

Tabla III. Tasas fisiológicas ($\text{J día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{p.s.}$) de *Ictalurus punctatus* aclimatados a diferentes temperaturas y alimentados con la dieta experimental "Aqua-Alimentos" (2) con 45% de proteína cruda. C = ingestión; R = respiración; F = producción de heces; U = excreción amoniacal; EDE = efecto dinámico específico; P = campo de crecimiento. N = 20.

	TEMPERATURAS CONSTANTES DIETA (2)		
	23 °C	28 °C	33 °C
C	2259.0 (± 20.3) ^a (223.8; 2279.3)	5724.0 (± 11.0) ^c (55735; 5713)	3498.0 (± 47.0) ^b (3545.0; 3451.0)
R	269.0 ^a (262.1; 275.9)	222.0 ^a (224.8; 219.2)	308.0 ^b (314.3; 301.7)
F	212.0 ^a (210.3; 213.7)	315.0 ^b (315.8; 314.2)	377.0 ^c (379.9; 374.1)
U	69.7 ^c (69.5; 69.9)	11.7 ^a (12.4; 11.0)	18.4 ^b (19.1; 17.7)
EDE	371.0 ^a (356.9; 385.1)	314.0 ^a (317.9; 310.1)	488.0 ^b (497.8; 478.2)
P	1337.3 ^a (1294.3; 1380.4)	4861.3 ^c (4880.5; 4842.1)	2306.6 ^b (2373.4; 2239.8)

Mediana y entre paréntesis intervalo de confianza. Los valores en la misma línea seguidos por diferente letra indican diferencias significativas ($a < b < c$) con un $\alpha = 0.05$.

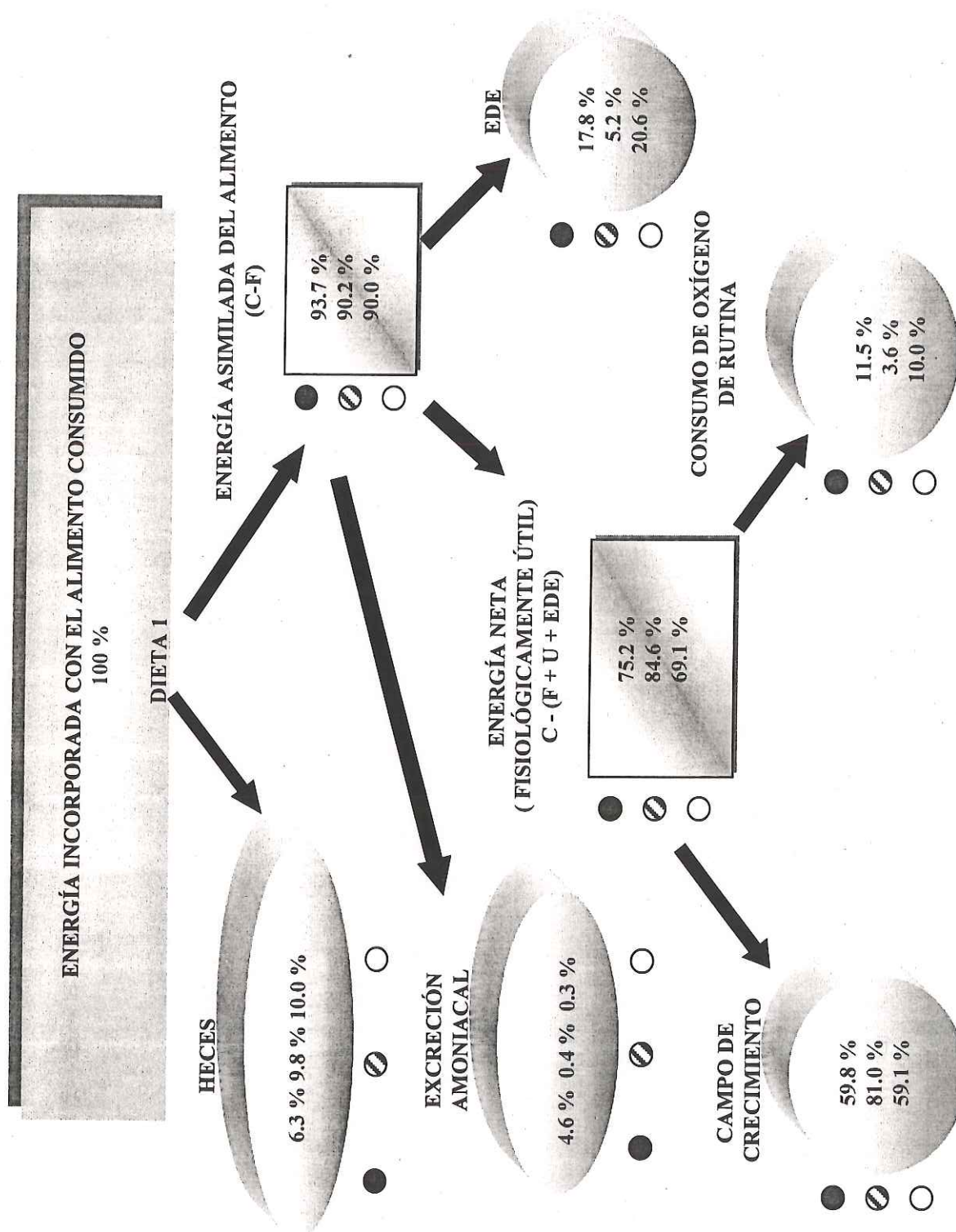


Figura 4. Balance energético de juveniles de *Ictalurus punctatus* aclimatados a 23 (●), 28 (○) y 33 °C (◐) y alimentados con la dieta "Bagrina" con 36 % de proteína.

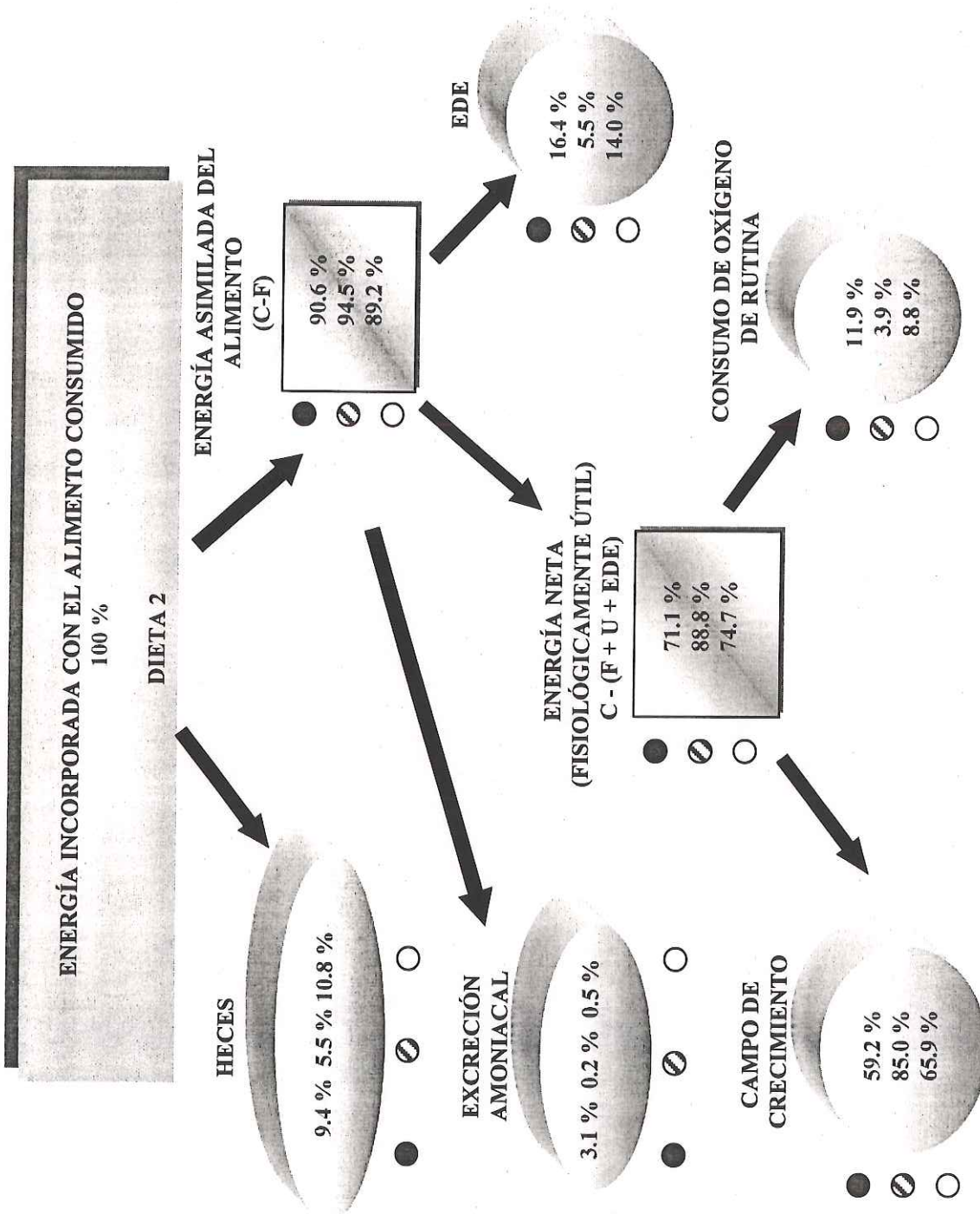


Figura 5. Balance energético de juveniles de *Ictalurus punctatus* acimatados a 23 (●), 28 (○) y 33 °C (○) alimentos con la dieta "Aqua-Alimentos" con 45 % de proteína.

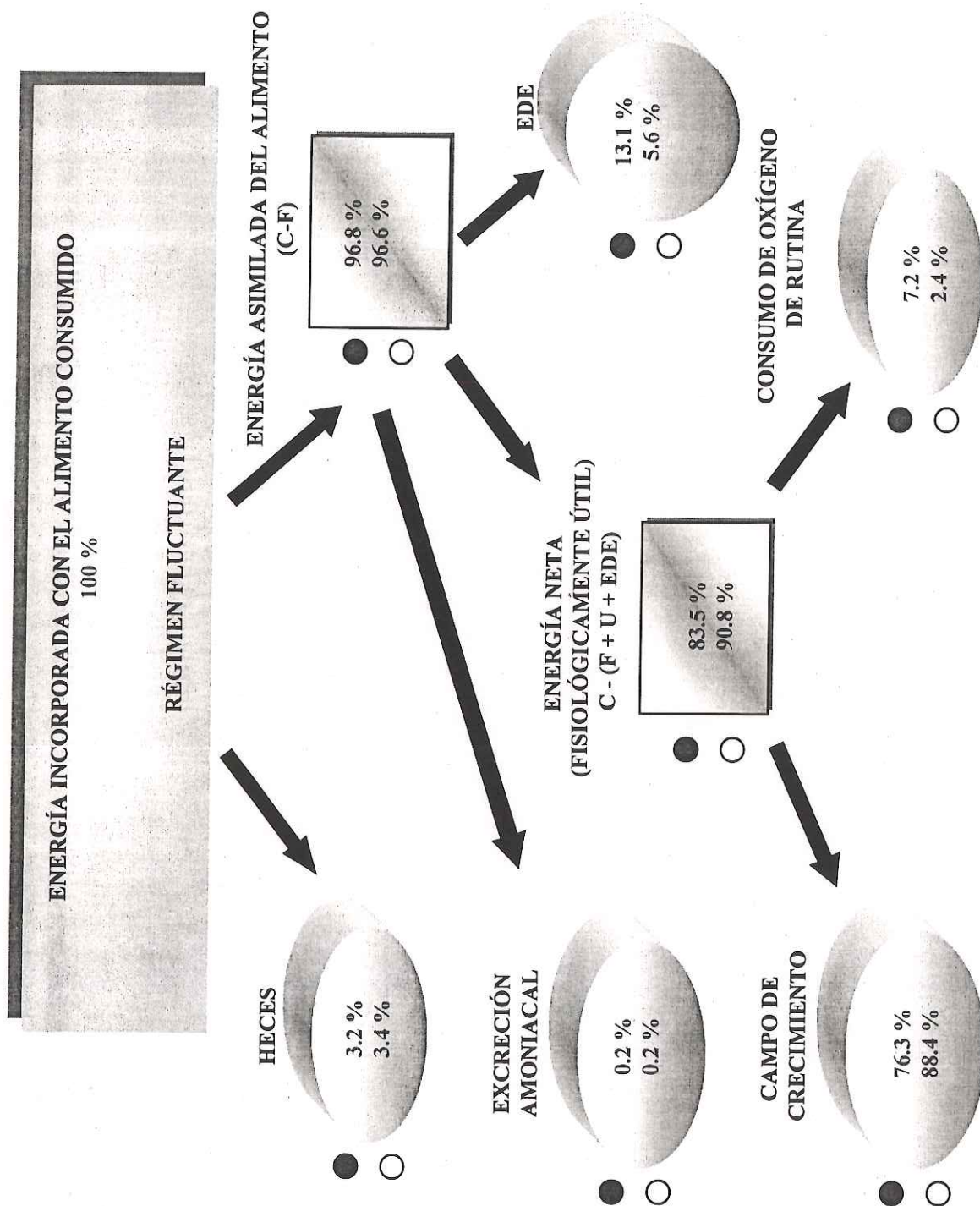


Figura 6. Balance energético de juveniles de *Ictalurus punctatus* aclimatados al régimen fluctuante de temperatura de 23-33 °C aclimatados con la dieta "Bagrina" (●) con 36 % de proteína y Aqua-Alimentos (○) con un 45 % de proteína.

Las tasas del metabolismo de rutina y excreción amoniacal medidas durante la fase fría (23 °C) y caliente (33 °C) del ciclo de temperatura fluctuante, se promediaron debido a que no se observaron diferencias significativas con un alfa de 0.05.

Al aumentar la temperatura de aclimatación de 23 a 28 y a 33 °C, la energía perdida por los peces a través de la excreción amoniacal disminuyó de 4.6 a 0.3%, cuando fueron alimentados con la dieta de Purina (Tabla 2 y Figura 4) y en los bagres mantenidos con la dieta Aqua-Alimentos a 23 °C perdieron un 3% en cambio en 28 y en 33 °C tuvieron pérdidas de 0.2 y 0.5 % del total de la energía del alimento consumido (Tabla 3 y Figura 5). La energía que los peces perdieron vía la excreción amoniacal fue significativamente menor (0.2%) en los bagres mantenidos en el régimen fluctuante que los expuestos a las diferentes temperaturas en el régimen constante, al alimentarlos tanto con Bagrina como Aqua-Alimentos (Figura 6).

En el régimen fluctuante, la energía que los organismos utilizaron en el consumo de oxígeno fue significativamente menor ($P < 0.05$) en los peces mantenidos con la dieta Aqua-Alimentos que con Purina (Figura 6). Los bagres aclimatados en los regímenes constantes de 23, 28 y 33 °C utilizaron en este proceso 11.5%, 3.6% y 10.0% del total de la energía que obtuvieron al consumir la dieta de Purina y de 11.9% 3.9 % y 8.8% al consumir la dieta Aqua-Alimentos (Figuras 4 y 5).

Con respecto al efecto dinámico específico (EDE) bagres mantenidos en las temperaturas constantes de 23, 28 y 33 °C y alimentados con la dieta Bagrina perdieron 17.8, 5.2 y 20.6 % y con Aqua-Alimentos 16.4, 5.5 y 14.0% (Tablas 2 y 3). El porcentaje de energía que los peces alimentados con Bagrina emplearon en este proceso al aclimatarlos al régimen fluctuante fue de 401.8 y

455 J día⁻¹ g⁻¹ p.s. en los peces alimentados con Bagrina y Aqua-Alimentos, respectivamente (Figura 6).

En los bagres alimentados con Bagrina la energía canalizada hacia el campo de crecimiento fue 2.7 y 1.7 veces mayor en la temperatura constante de 28 °C respecto al obtenido en los organismos mantenidos en 23 y 33 °C respectivamente (Tabla 2 y Figura 4). La energía que los juveniles de *I. punctatus* destinaron al campo de crecimiento fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en los alimentados con la dieta experimental Aqua-Alimentos que los alimentados con la dieta comercial Bagrina (Figuras 4 y 5). En la temperatura de aclimatación de 28 °C los bagres canalizaron 85% de la energía incorporada hacia el campo de crecimiento y fue significativamente mayor ($P < 0.05$), con respecto al obtenido en las temperaturas de aclimatación de 23 °C y 33 °C (Figura 5).

Al comparar los valores del campo de crecimiento entre los organismos mantenidos a 28 °C y los aclimatados al régimen fluctuante de 23-33 °C no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) cuando se les alimentó con la dieta Bagrina. Sin embargo, cuando se les alimentó con la dieta Aqua-Alimentos la cantidad de energía derivada hacia el campo de crecimiento por los bagres mantenidos en el régimen fluctuante fue 45.5% mayor (Tabla 4 y Figura 6).

Tabla IV. Tasas fisiológicas ($\text{J día}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ p.s.}$) de *Ictalurus punctatus* aclimatados a diferentes temperaturas y alimentados con la dieta "Bagrina" (1) y Aqua-Alimentos (2) con 36 y 45% de proteína cruda, respectivamente. C = ingestión; R = respiración; F = producción de heces; U = excreción amoniacal; EDE = efecto dinámico específico; P = campo de crecimiento. N = 20.

TEMPERATURA FLUCTUANTE		
23 °C – 33 °C		
	DIETA (1)	DIETA (2)
C	3074.0 (± 6.9) ^a (3067.1; 3080.9)	7946.0 (± 90.6) ^b (7855.4; 8036.6)
R	222.0 (± 1.7) ^a (220.3; 223.7)	187.9 (± 6.5) ^a (181.4; 194.4)
F	100.0 (± 3.9) ^a (96.1; 103.9)	269.0 (± 5.9) ^b (263.1; 274.9)
U	6.7 (± 0.03) ^a (6.67; 6.73)	16.6 (± 0.09) ^b (16.51; 16.69)
EDE	401.8 (± 1.6) ^a (400.2 ; 403.4)	445.0 (± 3.9) ^a (441.1; 448.9)
P	2343.5 (± 14.3) ^a (2329.2 ; 2357.3)	7027.5 (± 106.4) ^b (6921.1; 7133.9)

Mediana y entre paréntesis intervalo de confianza. Los valores en la misma línea seguidos por diferente letra indican diferencias significativas ($a < b < c$) con un $\alpha = 0.05$.

IV.3. Indicadores secundarios de estrés

IV.3.1. Hematocrito

En *Ictalurus punctatus* alimentado con la dieta comercial Purina el valor del hematocrito fue de 25 a 28% y no fue afectado por los regímenes térmicos a los que fueron expuestos (Figura 7). En los peces alimentados con la dieta experimental Aqua-Alimentos el hematocrito fue de 18 a 19 % en los mantenidos en las temperaturas de aclimatación de 23 y 33 °C, en tanto que en los mantenidos en la temperatura de 28 °C y expuestos al régimen fluctuante de 23 a 33 °C, el hematocrito fue significativamente mayor (Figura 7).

IV.3.2. Concentración osmótica

En los bagres alimentados con la dieta comercial como con la experimental la concentración osmótica no fue afectada por el régimen de temperatura al que fueron expuestos con un intervalo de 260 a 263.5 mmol Kg⁻¹, mientras que en los peces alimentados con la dieta experimental este parámetro se mantuvo en el intervalo indicado en el régimen de temperatura fluctuante y la temperatura de 28 °C, pero disminuyó y aumentó significativamente, a 248 y 289 mmol Kg⁻¹ en los peces mantenidos en 23 y 33 °C, respectivamente (Figura 8).

IV.3.3. Concentración de cloruros

La concentración del cloruro plasmático de los peces aclimatados a 23, 28 y 33°C y alimentados con Bagrina se mantuvo constante entre 118.2, 125 y 132 mmol l⁻¹ (Figura 9), en tanto que en los bagres mantenidos en el régimen fluctuante la concentración de cloruros en el plasma de los peces disminuyó significativamente hasta 73.3 y 74.2 mmol l⁻¹ en los peces alimentados con la dieta 1 y 2, respectivamente. Valores similares fueron observados en los peces

alimentados con Aqua-Alimentos y mantenidos en la temperatura de 23 °C (66.3 mmol l⁻¹). En los peces mantenidos en 28 y 33 °C y alimentados con la dieta 2, los valores fueron similares a los mantenidos en éstas mismas temperaturas y alimentados con la dieta Purina (Figura 9).

IV.3.4. Concentración de sodio

En los bagre de canal aclimatados a 23 y 28 °C y alimentados con ambas dietas la concentración de sodio plasmático no fue significativamente diferente con valores de 135 a 150 mmol l⁻¹. En los animales mantenidos a 33 °C se observaron valores de sodio significativamente menores (100 mmol l⁻¹); por el contrario en los peces alimentados con Purina y expuestos al régimen fluctuante de temperatura la concentración de sodio plasmático fue significativamente mayor (186 mmol l⁻¹). En los peces alimentados la dieta Aqua-Alimentos y mantenidos en el régimen fluctuante los valores de sodio fueron similares a los obtenidos en 23 y 28 °C (Figura10).

IV.3.5. Concentración de glucosa

La concentración de glucosa en el plasma de los bagres se incrementó 3.5 veces al aumentar la temperatura de aclimatación de 23 a 33 °C en los peces alimentados con Bagrina, en tanto que a los que se les proporcionó Aqua-Alimentos el aumento fue de 1.7 veces. En los organismos mantenidos en el régimen fluctuante de 23 a 33 °C los valores de glucosa plasmática fueron similares en los peces alimentados con Bagrina y Aqua-Alimentos (Figura 11).

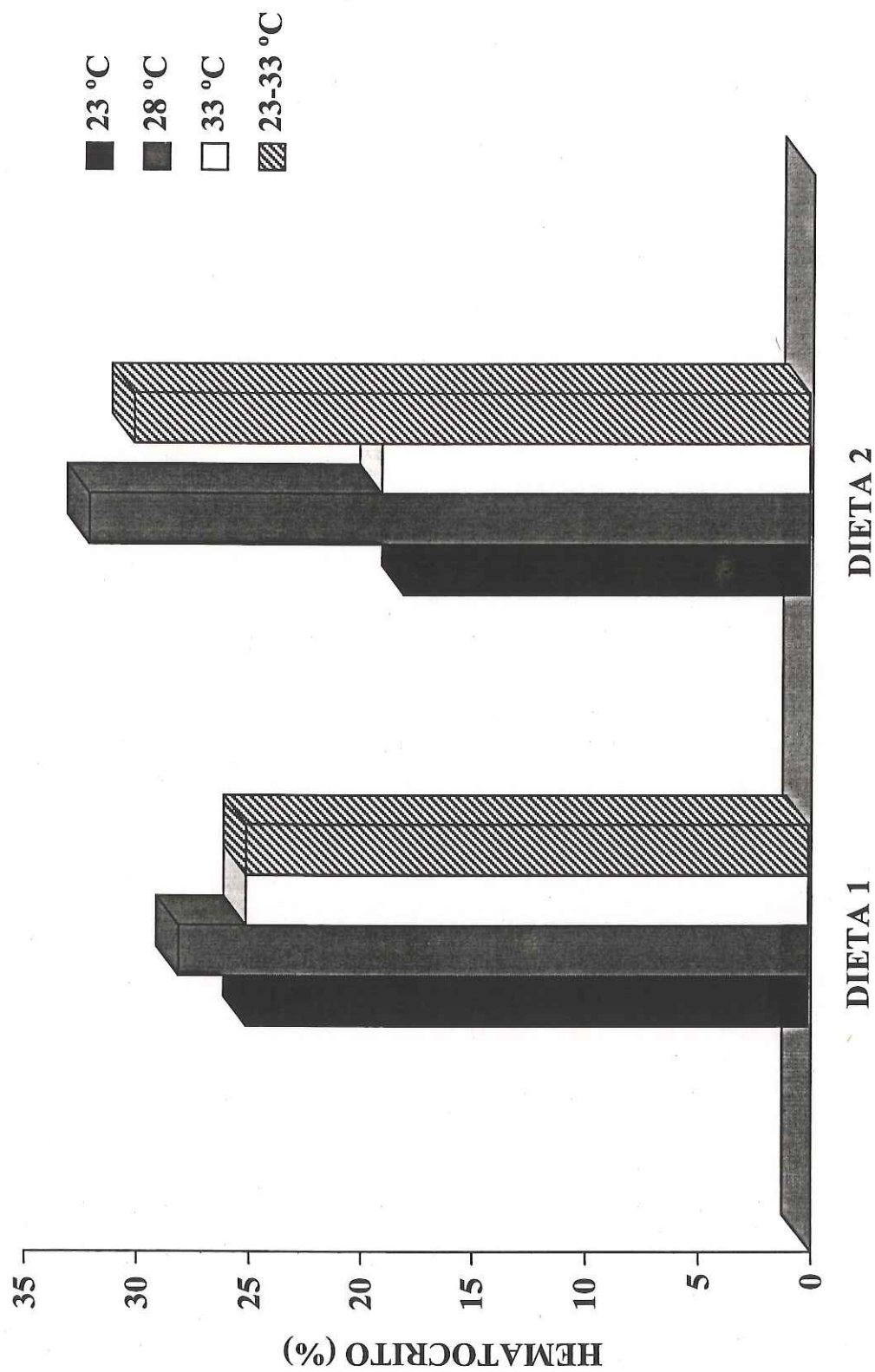


Figura 7. Hematocrito (%) de *Ictalurus punctatus*, expuesto a diferentes regímenes de temperatura. Dieta 1 = Bagrina; Dieta 2 = Aqua-Alimentos.

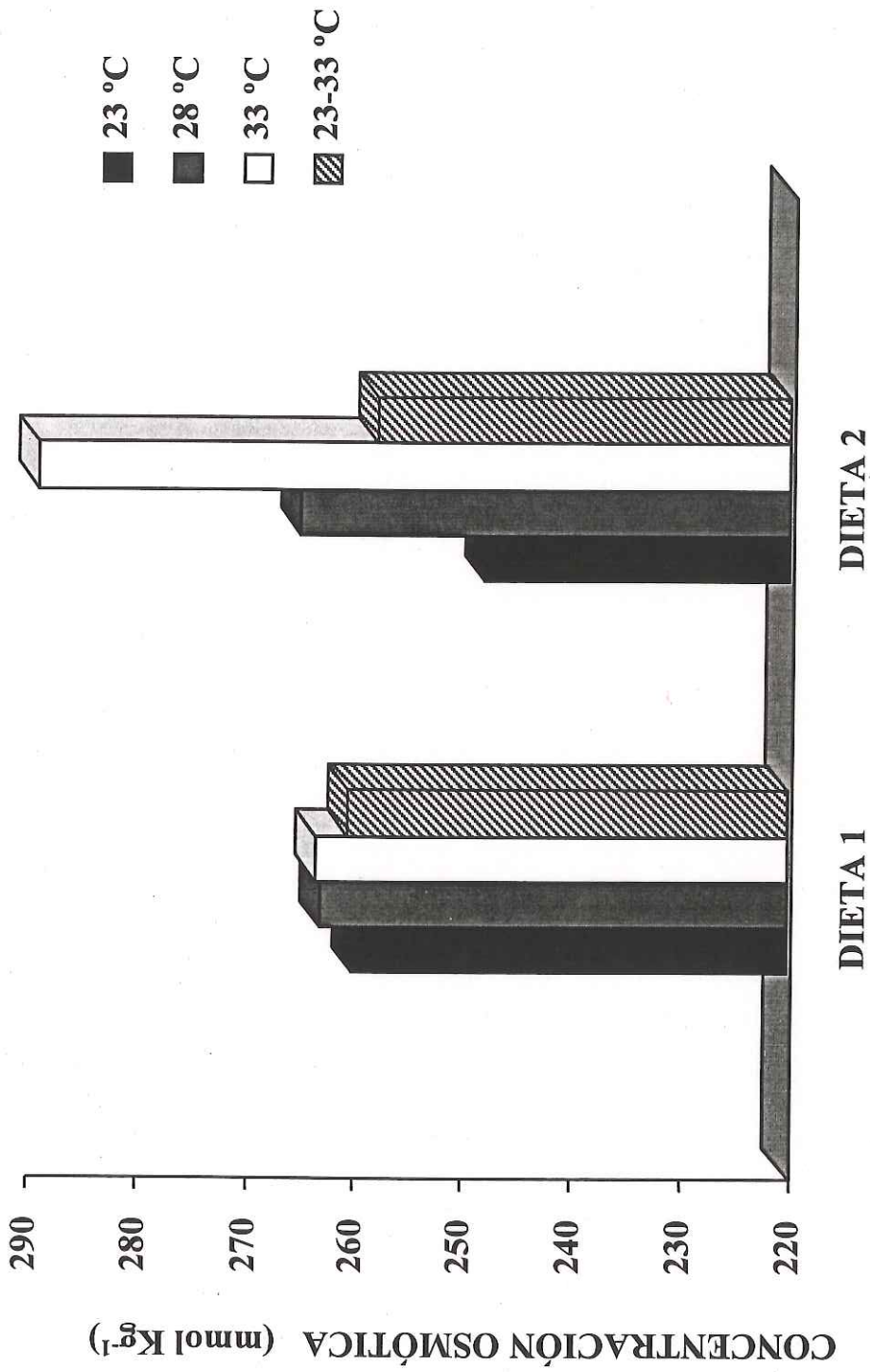


Figura 8. Concentración osmótica (mmol Kg^{-1}) de *Ictalurus punctatus*, expuesto a diferentes regímenes de temperatura. Dieta 1 = Bagrina; Dieta 2 = Aqua-Alimentos.

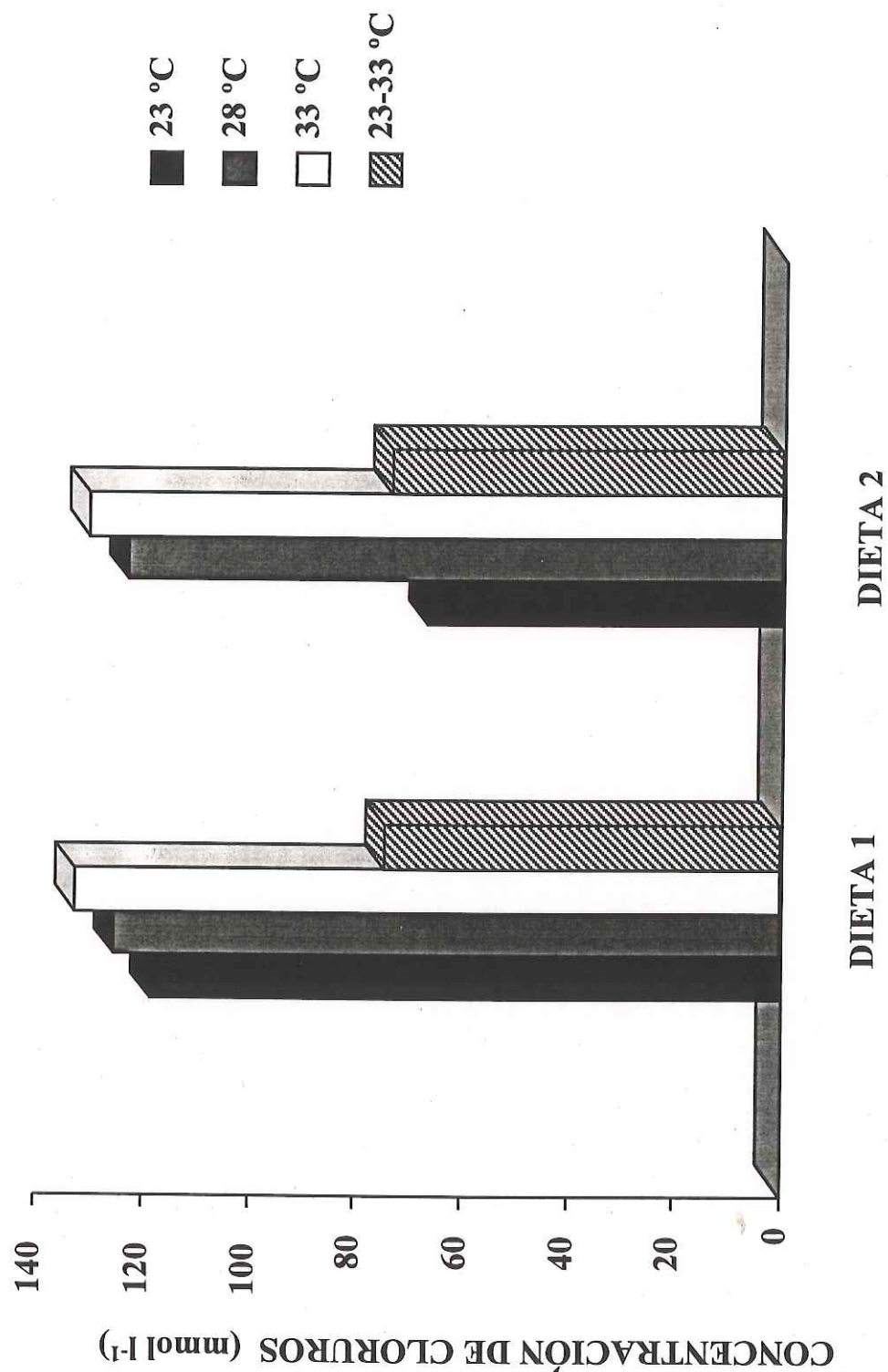


Figura 9. Concentración de cloruros (mmol l^{-1}) de *Ictalurus punctatus*, expuesto a diferentes regimenes de temperatura. Dieta 1 = Bagrina; Dieta 2 = Aqua- Alimentos.

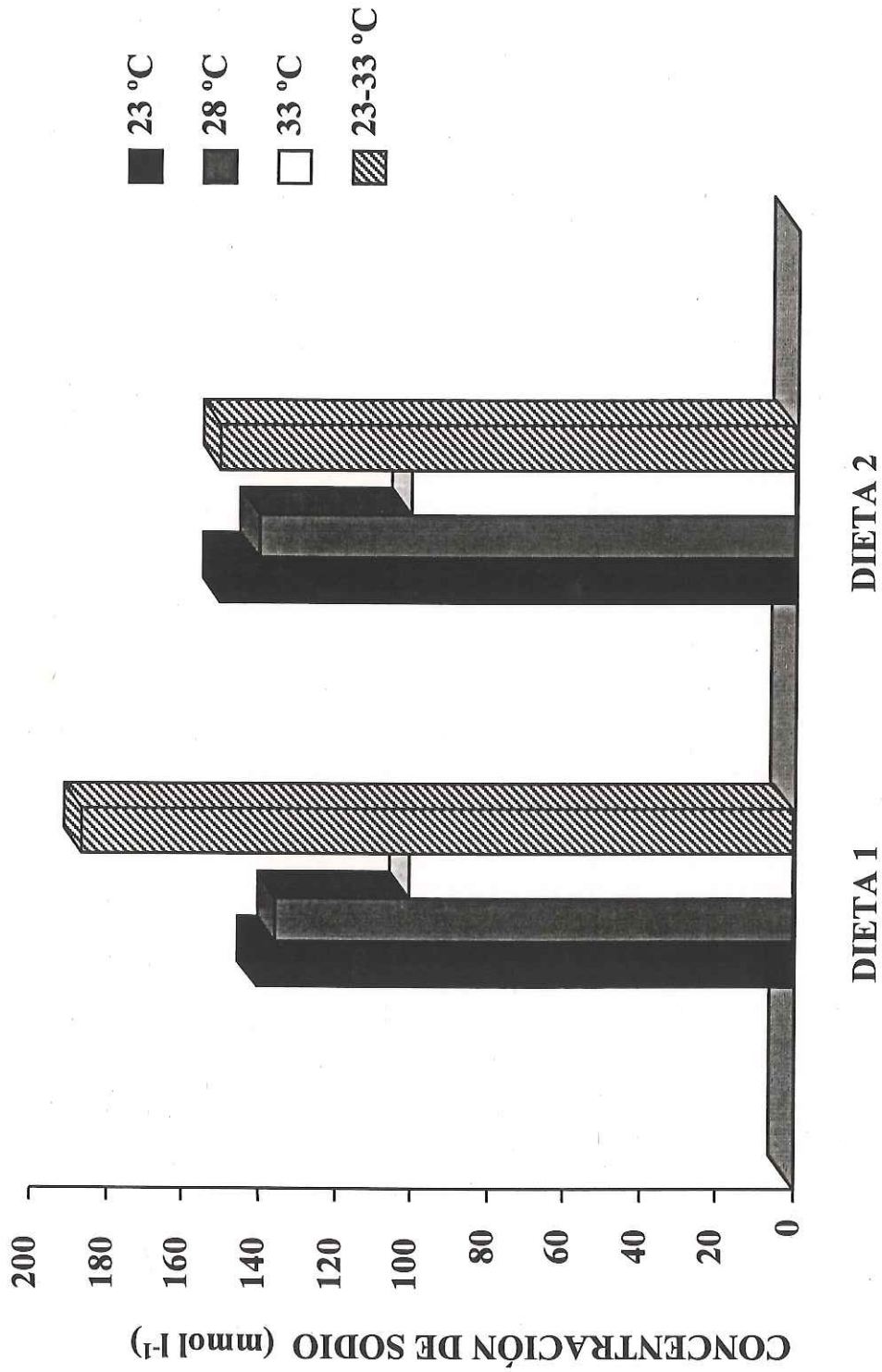


Figura 10. Concentración de sodio (mmol l^{-1}) de *Ictalurus punctatus*, expuesto a diferentes regímenes de temperatura. Dieta 1 = Bagrina; Dieta 2 = Aqua-Alimentos.

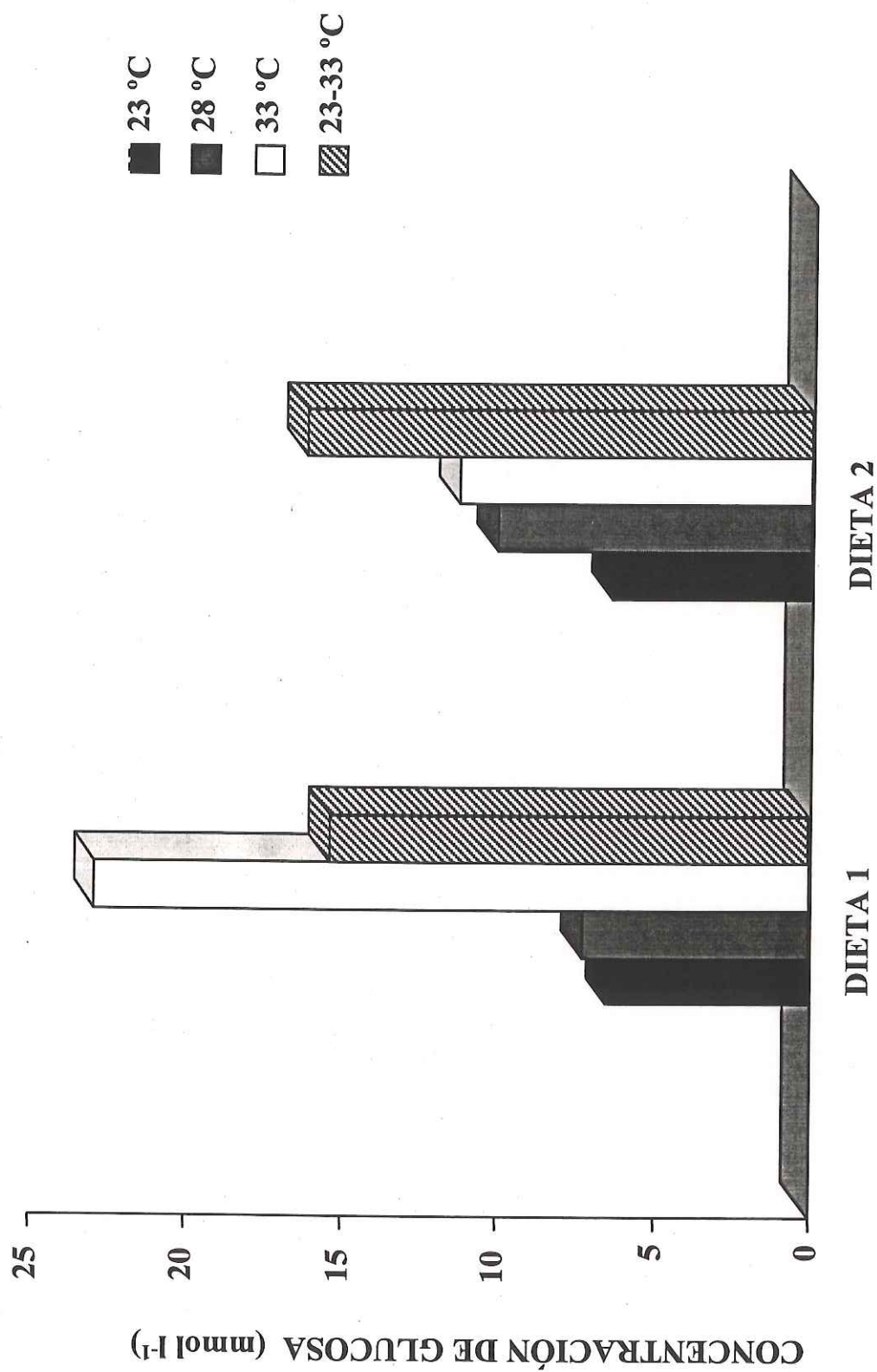


Figura 11. Concentración de glucosa (mmol l⁻¹) de *Ictalurus punctatus*, expuesto a diferentes regímenes de temperatura. Dieta 1 = Bagrina; Dieta 2 = Aqua- Alimentos.

V. DISCUSIÓN

V.1. Características químicas del agua

El bagre de canal *Ictalurus punctatus* prospera en aguas con una dureza desde menos de 5 mg de $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ hasta más de 400 mg $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ (Tucker y Robinson, 1990). El bagre es una especie que sobrevive en aguas muy duras; sin embargo se tienen registros de que valores de dureza mayores de 400 ppm podrían afectar el crecimiento o el desempeño del animal. Por otro lado, aguas con dureza menores de 20 ppm de CaCO_3 no son recomendables para el mantenimiento de los peces, aunque la baja dureza no tiene un efecto directo sobre su fisiología. El calcio y el magnesio son minerales esenciales para el crecimiento de los peces y los bagres absorben cantidades significativas de estos iones del medio, aunque también *I. punctatus* se puede cultivar en aguas libre de magnesio y de calcio, si en la dieta estos elementos se encuentran en suficientes cantidades. En los adultos el calcio es requerido fundamentalmente para el endurecimiento de los huevos y para el desarrollo de los alevines. Por otra parte, el calcio disminuye la toxicidad del amoníaco (NH_3) y de algunos metales como el cobre y el zinc. En general, es recomendable que el agua de los cultivos del bagre de canal tengan una dureza total mayor a los 20 mg $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ y como máximo menores de 500 mg $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ (Tucker y Robinson 1990).

En el agua de los estanques de mantenimiento, de aclimatación y de experimentación el intervalo de los valores de dureza se encontraron dentro de los límites tolerables recomendados para el cultivo de esta especie (Tucker y Robinson, 1990) por lo que se puede afirmar que la variación de este factor en las redes de suministro de agua durante el periodo experimental no afectó el crecimiento de los juveniles de *I. punctatus*.

V.2. Bioenergética de *Ictalurus punctatus*

El periodo de alimentación de los juveniles de *I. punctatus* mantenidos en el régimen fluctuante de temperatura se llevó a cabo durante la fase de temperaturas altas del ciclo, entre los 26 y 28 °C, lo que aparentemente estimuló la tasa de ingestión del alimento y por lo tanto los peces tuvieron una mayor disponibilidad de energía que utilizaron en los diferentes procesos fisiológicos. Esto fue notorio en los peces alimentados con la dieta experimental Aqua-Alimentos. Los resultados concuerdan con la hipótesis propuesta por Brett (1971), que la alimentación de los organismos durante el periodo caliente del ciclo aumenta la capacidad para consumir y digerir más alimento debido a que los procesos de digestión ocurren más rápidamente a temperaturas altas. El aumento en la tasa de ingestión de alimento obtenido en este estudio fue de 1.0 a 1.8 veces mayor para la dieta 1 y de 1.3 a 3.5 para la dieta 2 en los juveniles de *Ictalurus punctatus* mantenidos en regímenes de temperatura fluctuante. Estos resultados son similares a los descritos por Spiragelli *et al.* (1982) para *Salmo trutta* y Diana (1984) para *Micropterus salmoides*; ambas especies consumieron de 1.1 a 1.6 veces más alimento por día, que los peces mantenidos en el régimen térmico constante.

Xie *et al.* (1997) observaron que *Oreochromis niloticus* perdió en las heces 16.9 a 18.5 % de la energía incorporada. Valores más bajos que éstos (7.4-11%) se han encontrado en *Cyprinus carpio*, *Carassius auratus*, *Pseudorasbora parva*, *Pseudobagrus fulvidraco*, *Oreochromis mossambicus* y *Macropodus chinensis* (Cui y Liu, 1990a). Beamish (1972) menciona que la pérdida de energía vía heces no excede el 10% del total de la energía incorporada con el alimento ingerido. Este valor es similar a lo obtenido en este estudio con *I. punctatus*, ya que los porcentajes de energía perdida mediante la producción de heces se mantuvo entre el 3.2 y 10.8%, considerando las dos dietas y los diferentes regímenes térmicos experimentales.

La tasa de asimilación está relacionado con los hábitos alimenticios de los animales y con la tasa de ingestión (Jobling, 1994). Brett y Groves (1979) mencionan que en un organismo predominantemente herbívoro la proporción de la energía incorporada con el alimento asimilado es del 40 al 80%; estos valores son mucho más bajos que en los animales predominantemente carnívoros (70 al 95%). La proporción de energía asimilada por los juveniles de *I. punctatus* fue mayor del 90% en los peces alimentados tanto con la dieta comercial como con la dieta experimental en todos los regímenes de temperatura; no obstante, en el caso de los mantenidos a 33 °C y alimentados con la dieta comercial este valor fue menor del 89.2%

La energía requerida para satisfacer las demandas metabólicas de un pez constituye una gran porción del total de la energía incorporada, lo cual está principalmente influenciado por la temperatura del agua que controla las tasas de las reacciones bioquímicas (Tucker y Robinson 1990; Jobling, 1994).

La tasa metabólica medida indirectamente como consumo de oxígeno de rutina, fue afectada de manera diferente por el régimen de aclimatación térmica al que fueron expuestos los bagres. La proporción derivada a procesos metabólicos fue significativamente menor en los organismos expuestos al régimen fluctuante, lo que significa una disminución en los costos de mantenimiento del organismo. En *Cyprinus carpio*, Crawshaw (1976) observó que en los animales aclimatados a temperaturas constantes y expuestos a un cambio brusco de temperatura la tasa de respiración se incrementó considerablemente, lo que podría indicar estrés. En la lobina *Micropterus salmoides* aclimatada a termociclos, la tasa metabólica no fue afectada por los cambios de temperatura ya que fue similar a la obtenida en los peces aclimatados a temperaturas constantes (Diana, 1983). En *Catostomus tahoensis*, la tasa metabólica de los organismos mantenidos en regímenes fluctuantes no fue significativamente diferente al de los aclimatados a las

temperaturas constantes de 8 °C y 13 °C, en cambio, fue significativamente más alta que la de los animales mantenidos en 18 °C (Vondracek *et al.*, 1982).

En *I. punctatus* se obtuvo una disminución de la tasa metabólica similar a la mencionada para los crustáceos *Panopeus herbstii* y *Uca pugilator* (Dame y Vernberg, 1978) cuando se mantuvieron en regímenes de temperatura fluctuante; lo que permitiría conservar energía que puede ser destinada a otros procesos importantes, que finalmente se traduce en un mejor crecimiento. La tasa de consumo de oxígeno más baja en los bagres aclimatados al régimen fluctuante puede ser atribuida a que los organismos incrementan su tolerancia térmica a medida que aumenta el número de ciclos térmicos al que están expuestos Cox (1978). Para explicar el incremento en la tolerancia térmica de *I. punctatus* expuestos a los regímenes fluctuantes, Cox (1978) y Feldmeth y Stone (1974) mencionan que el incremento en el intervalo de tolerancia térmica en los peces aclimatados a una fluctuación diaria de temperatura les confiere la capacidad de compensar fisiológicamente de manera simultánea tanto para temperaturas altas como bajas, con la consecuente disminución en la tasa metabólica.

La excreción amoniacal de los organismos ha sido relacionada tanto positiva como negativamente con la tasa de consumo de alimento (Andrews y Page, 1975; Xie *et al.*, 1997; Cui *et al.*, 1994; Jarboe, 1995; Jarboe y Grant, 1996), así como con el porcentaje de proteína y la composición de aminoácidos (proporción entre aminoácidos esenciales y no esenciales) de la dieta (Jobling, 1994). En *Perca fluviatilis* la energía perdida en productos de excreción representó el 10% de la energía extraída del alimento consumido (Solomon y Brafield, 1972), y de 13.6-15.1% en *Salmo trutta* (Elliot, 1976). Valores menores de 3.6-5.9% fueron obtenidos en *Cyprinus carpio*, *Carassius auratus*, *Pseudorasbora parva*, *Pseudobagrus fulvidraco*, *Oreochromis mossambicus* y *Macropodus chinensis* (Cui and Liu 1990a; Cui *et al.* 1994) y de 5.1% en

Phoxinus phoxinus (Cui y Wootton, 1988). Resultados similares fueron obtenidos en los juveniles de *I. punctatus* aclimatados a 23 °C. Sin embargo, la energía perdida en la excreción amoniacal en los bagres aclimatados a 28 y 33 °C así como en los aclimatados al régimen fluctuante fueron significativamente menores. La baja producción de amonio del bagre de canal en el régimen constante de temperatura y en particular en los expuestos al régimen fluctuante, indica que sólo una pequeña porción del total de aminoácidos fue perdido vía excreción amoniacal (Brown y Cameron, 1991), lo cual implica que la mayoría del nitrógeno proveniente del alimento fue incorporado en la síntesis de tejido en *Ictalurus punctatus*.

La tasa de consumo de oxígeno se incrementó abruptamente después de la ingestión de alimento. Generalmente en los peces se ha observado un aumento de dos a tres veces el nivel de consumo de oxígeno después de la alimentación. Hay varios factores que modifican la magnitud del efecto dinámico específico, entre los que se incluyen el tamaño del alimento y la ración alimenticia (Jobling, 1994). Las diferencias observadas en la magnitud del EDE entre los bagres alimentados con la misma dieta pueden atribuirse al efecto de la temperatura a la que fueron aclimatados los peces, ya que ésta incrementó o redujo el EDE.

Brett (1971) refiere que el *preferendum* final de temperatura está muy cerca o coincide con la temperatura óptima para algunos procesos tales como el metabolismo y el crecimiento. La temperatura óptima de crecimiento o la temperatura fisiológicamente óptima ha sido definida como la temperatura en la cual ocurre el máximo crecimiento de tejido somático, cuando los organismos son alimentados a saciedad (Hokanson, 1977; Jobling, 1981). Los resultados de este trabajo confirma lo anterior, ya que la mayor proporción de la energía captada por el bagre mediante la ingestión de alimento se canalizó hacia el campo de crecimiento somático en la temperatura de 28 °C, que es la preferida para los

juveniles de esta especie (Díaz y Bückle, 1999). McCauley y Casselman (1981) y Kellogg y Gift (1983) comprobaron la relación existente entre el *preferendum* final de temperatura y la temperatura óptima de crecimiento para 16 especies de peces de agua dulce, en los cuales el *preferendum* final fue igual o ligeramente superior a la determinada como la temperatura óptima de crecimiento, lo cual coincide con los resultados obtenidos para el bagre en este trabajo.

El campo de crecimiento fue significativamente mayor cuando los bagres se mantuvieron en el régimen fluctuante de temperatura. Resultados similares se encontraron en la trucha arcoiris *Salmo gairdneri* (Hokanson *et al.*, 1977); en *Morone saxatilis* (Cox, 1978); en la trucha café *Salmo trutta* (Spiragelli *et al.* (1982); en el salmón *Orcorhynchus nerka* (Biette y Green, 1980) y en la lobina *Micropterus salmoides* (Diana, 1984).

El efecto de mantener a los organismos con un régimen térmico fluctuante, en lo que se refiere al crecimiento de los peces expuestos a temperaturas cíclicas implica, de acuerdo con Spiragelli *et al.* (1982), Diana (1984), Cui y Liu (1990b): 1) una mayor tasa de consumo de alimento y 2) una mayor eficiencia en la utilización de la energía incorporada con el alimento, lo que incluye una disminución en la proporción de energía perdida en las heces, en el efecto calorigénico del alimento (EDE), así como una reducción en las pérdidas vía excreción amoniacal y un el gasto metabólico fue menor. Dando como resultado un aumento en la cantidad absoluta y relativa de energía canalizada al campo de crecimiento, demostrando la mayor eficiencia de in régimen de temperatura fluctuante, siempre y cuando los límites del intervalo térmico coincidan con el de tolerancia de *I. punctatus*.

La importancia de evaluar el balance energético de las especies potencialmente cultivables, radica en que es un índice que permite describir, explicar y predecir cuantitativamente la condición o estado fisiológico de los organismos (Bayne *et al.*, 1977). Los resultados de este estudio permiten

recomendar, con el fin de optimizar el cultivo de *Ictalurus punctatus* en Baja California, que éste se lleve a cabo preferentemente en regímenes de temperatura fluctuante, con temperaturas promedio del ciclo cercano a la temperatura óptima de crecimiento para esta especie que es de 28 °C.

En las ultimas décadas los alimentos para bagre con 32-35% de proteína, han sido tradicionalmente utilizados y aceptados como un estándar en la industria para la producción del bagre de canal; sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos en los peces alimentados con la dieta experimental Aqua-Alimentos, que contiene un 45% de proteína, se recomienda utilizar un alimento con estas características, ya que los juveniles de la especie tienen la habilidad de asimilar niveles de proteína en la dieta relativamente altos (Robinson y Li, 1997), lo que aumenta la cantidad de energía canalizada al acampo de crecimiento.

V.3. Indicadores secundarios de estrés

Elliot (1981) propone que el estrés térmico puede definirse como cualquier cambio en la temperatura que produce perturbaciones significativas en las funciones de los peces teleósteos lo que disminuye su capacidad de sobrevivencia. Los peces de agua dulce responden a la mayoría de los estímulos estresantes con un patrón predecible de cambios fisiológicos, que se pueden detectar mediante diversas técnicas clínicas y son generalmente independientes del tipo de estresor (Barton, 1997). Dentro de las respuestas de estrés indicadoras de la condición fisiológica de los peces se incluyen: los cambios en los niveles de cortisol, lactato, glucosa, colesterol, cloruro, hemoglobina, ácido láctico, así como variaciones en el hematocrito, concentración osmótica del plasma y los cambios en el tiempo de coagulación de la sangre (Mazeaud *et al.*, 1977; Wedemeyer, 1981; Hilge *et al.*, 1981; Carmichael *et al.*, 1984 a y b).

Los valores del hematocrito obtenidos en este trabajo para el bagre de canal fueron similares a los observados en *I. nebulosus*, *I. punctatus*, *Oncorhynchus kisutch* y *Salmo gairdneri* (Haws y Goodnight, 1962; Weinberg *et al.*, 1972; McLeay y Gordon, 1977; Scott y Rogers, 1981; Ellsaesser y Clem, 1986). En contraste Blaxhall (1972), Grizzle (1977), Hilge *et al.* (1981), Klinger *et al.* (1983) y Sandnes *et al.* (1988) encontraron valores más altos en *Salvelinus fontinalis*, *Salmo trutta*, *Salmo gairdneri*, *I. punctatus* y *Salmo salar*.

En *I. punctatus* alimentados con la dieta comercial el valor del hematocrito no varió al cambiar la temperaturas de manera similar a lo observado en *Sarotherodon mossambicus*, *Cyprinus carpio* y *Carassius auratus* (Smit *et al.*, 1981 y Murad *et al.*, 1990). En contraste, Dheer (1988) y Franklin *et al.* (1991) señalan que el hematocrito aumentó a medida que se incrementó la temperatura a la que fueron expuestos *Channa punctatus* y *Pogothemia borchgrevinki*. La estabilidad del hematocrito observada en los bagres se podría relacionar con la capacidad osmorreguladora de los organismos así como al eficiente transporte de oxígeno por la sangre a los tejidos acorde a lo mencionado por Dheer (1988) y Franklin *et al.* (1991).

En este estudio los valores de hematocrito fueron mayores tanto en los bagres alimentados con Aqua-Alimentos que fueron mantenidos en 28 °C como en el régimen fluctuante, que en los alimentados con Bagrina. Es posible inferir, de acuerdo a Wedemeyer y (1981) y Elliot (1981) que semejantes resultados podrían deberse a las variaciones hematológicas que acompañan a la aclimatación a intervalos térmicos óptimos, que tienen la finalidad de aumentar la capacidad de transporte de oxígeno por la sangre. Esto no sucede aparentemente en *Salmo gairdneri* para el cual los valores de hematocrito son inversamente proporcionales al incremento de la temperatura (Smit *et al.*, 1981). Sin embargo, para los animales alimentados con la dieta experimental y mantenidos en 23 y 33 °C se observó una disminución en la concentración de hematocrito

(hemodilución), efecto que podría estar relacionado con las consecuencias del estrés térmico, como la pérdida de apetito (Blaxhall, 1972; Wedemeyer, 1981).

Tucker y Robinson (1990) mencionan que el sistema inmunológico del bagre de canal funciona eficientemente en temperaturas entre 21 y 33 °C con un óptimo en 29 °C. En este estudio se observaron daños en la piel de los peces y un aumento en la secreción de mucosidad cuando se mantuvieron en 23 y 33 °C posiblemente debido las alteraciones del sistema inmunológico con el consecuente aumento de la susceptibilidad a enfermedades. Las alteraciones en el sistema inmunológico se manifiestan tanto en el número como en la producción de anticuerpos de los linfocitos (Barton, 1997).

Con respecto a los valores de sodio plasmático obtenidos en el bagre, éstas fueron menores que los de *Carassius auratus* (Heinicke y Houston, 1965) en todas las condiciones experimentales. En cambio Stanley y Colby (1971) y Mackay (1974) trabajando en *Alosa pseudoharengus* y en *C. auratus* encontraron niveles de sodio similares a los obtenidos en *I. punctatus*. Al igual que para el bagre de canal, Heinicke y Houston (1965) observaron que en *C. auratus* los niveles de sodio plasmático disminuyeron a medida que aumentó la temperatura de aclimatación. Por el contrario en esta misma especie Mackay (1974) encontró que los niveles de sodio fueron significativamente menores en los grupos de peces aclimatados a 10, 20 y 30 °C que en los aclimatados a 14 y 24 °C, mientras que en un segundo experimento realizado en peces de esta misma especie pero provenientes de otra población, aunque obtenidos en la misma época del año, el sodio no fue afectado por el aumento en la temperatura. Smit *et al.* (1981) tampoco observaron diferencias significativas en los niveles de sodio en *Sarotherodon mossambicus* y en *Cyprinus carpio* en las temperaturas de 15, 20 y 25 °C mientras que en *Salmo gairdneri* disminuyó significativamente tanto en las

temperaturas de exposición inferior como superior en este mismo intervalo de temperaturas.

Postlethwaite y McDonald (1995) mencionan que en los peces las pérdidas de sodio y cloruro aumentan por un incremento en el consumo de oxígeno, que asociaron con el aumento en la temperatura al aumentar la superficie funcional de las branquias. Por el contrario, Stanley y Colby (1971) encontraron los menores valores de sodio en *Alosa pseudoharengus* expuesta a bajas temperaturas. Maetz y Evans (1972) refieren que la aclimatación de los organismos dulceacuícolas a las bajas temperaturas es acompañado por la disminución del sodio y del cloruro plasmáticos y que, por el contrario, en los especímenes de agua salada las bajas temperaturas producen un incremento en la concentración de la mayoría de los electrolitos. En el bagre de canal se observó un menor efecto en la magnitud de cambio de los niveles de sodio por la exposición a 23 °C que por la aclimatación a las altas temperaturas de 33 °C.

La concentración de cloruros determinados en *I. punctatus* en todas las condiciones experimentales fueron similares a los mencionadas en esta misma especie por Wedemeyer (1996) de 131.5 mmol l⁻¹ en peces clínicamente saludables que fueron mantenidos en condiciones de cultivo. Así como a los obtenidos para otras especies como *Cyprinus carpio* de 111.6 a 114.8 mmol l⁻¹, en *Salmo gairdneri* de 101.8 a 114 mmol l⁻¹, en *Sarotherodon mossambicus* 125.6 a 131.4 mmol l⁻¹, en *Micropterus dolomieu* 101 a 112 mmol l⁻¹, en *Tilapia aurea* 152.1 a 169.1 mmol l⁻¹, en *Morone saxatilis* 87.8 a 117.8 mmol l⁻¹ expuestas a diferentes temperaturas (Smit *et al.*, 1981; Carmichael *et al.*, 1983; Kindle y Whitmore, 1986; Davis y Parker, 1990).

Las mediciones de cloruro en este estudio indicaron que los mecanismos de regulación iónica en *I. punctatus* fueron afectadas en mayor medida por la exposición de los peces a la temperatura de 23 °C que a las altas temperaturas

de 33 °C. En *C. auratus* Mackay (1974) menciona este mismo efecto en los peces aclimatados a 10 °C. Por el contrario la temperatura de aclimatación no afectó la concentración de este ion en *Sarotherodon mossambicus*, *Cyprinus carpio* y *Salmo gairdneri* (Smit *et al.*, 1981). Kindle y Whitmore (1986) señalan que en *Tilapia aurea* la concentración de cloruros no fue afectada de manera significativa por las temperaturas de 22 a 35 °C, aunque la concentración de cloruros se incrementó ligeramente (11%) a 12 °C.

Wedemeyer (1981) relacionó la hipocloremia plasmática con la disminución en el número de las células del cloro de las branquias y con una liberación masiva de electrolitos celulares al compartimiento extracelular. La disminución de las células del cloro compromete el proceso de osmorregulación. En *Cyprinus carpio* y *Carassius auratus*, Mackay (1974) y Houston *et al.* (1970) observaron esta misma tendencia cuando los peces se aclimataron a bajas temperaturas y la atribuyeron al aumento de la permeabilidad de las branquias así como a la disminución en la eficiencia de la reabsorción renal. De acuerdo con estos autores, la disminución de Cl^- obtenida en los bagres expuestos a 23 °C y los mantenidos en el régimen fluctuante de 23 a 33 °C pudo ser una consecuencia de cambios en la permeabilidad y en el transporte de iones en las branquias.

Las variaciones más evidentes se obtuvieron en los niveles de cloruros, ya que el porcentaje de cambio medido entre los animales mantenidos en la temperatura preferida y el de los expuestos a las diferentes condiciones experimentales fue del 6.6 al 46.5%, mientras que las fluctuaciones de sodio fueron del 27 al 35%. El transporte activo de iones en las branquias en los peces de agua dulce, compensa los cambios en el balance de iones a través del aumento en el número de acarreadores tanto para Na^+ como para Cl^- en las branquias, este incremento sugiere la activación de acarreadores más que las síntesis de nuevos acarreadores (Postlethwaite y McDonald, 1995). Maetz y

García-Romeu (1964) proponen que las concentraciones internas de Na^+ y Cl^- controlan los mecanismos de absorción, de tal manera que la disminución o el incremento interno de sodio y de cloruro resulta en un aumento o disminución de la tasa de absorción del ion respectivo.

El balance osmótico en los peces teleósteos es afectado por la temperatura del agua; sin embargo, la concentración osmótica en el plasma de los bagres en este estudio no fue afectada significativamente por la temperatura de exposición, excepto por el aumento registrado en los animales alimentados con Aqua-Alimentos y mantenidos a 33 °C (de solo el 9%). La concentración osmótica puede ser entonces un indicador poco sensible del efecto de la variaciones térmicas sobre esta especie. En *Morone saxatilis* la temperatura afectó significativamente la concentración plasmática de cortisol, glucosa, cloruros y hematocrito pero no varió la osmolaridad de la sangre de los peces aclimatados a 5, 10, 16, 25 y 30 °C (Davis y Parker, 1990). De igual manera Smit *et al.* (1981) informaron una estabilidad osmótica en *Cyprinus carpio*, mientras que *Sarotherodon mossambicus* y *Salmo gairdneri* presentaron un colapso osmorregulatorio en 15 y 25 °C, respectivamente.

Davis *et al.* (1998) y Wedemeyer (1996) mencionaron que la concentración osmótica de *I. punctatus* permaneció estable y es similar a los valores obtenidos en este estudio, lo que refleja que el bagre de canal puede tener la capacidad de mantener la concentración osmótica del plasma estable en condiciones en las cuales otras especies no pueden. En este estudio la suma de las concentraciones individuales de sodio y cloruro plasmático de los bagres (Figura 12) mantuvieron la estabilidad de la osmolaridad del plasma, esto sugiere que *I. punctatus* ha desarrollado una buena capacidad para regular su concentración en la sangre y en los fluidos corporales a diferentes temperaturas ambientales. Esta capacidad puede considerarse como una de las cualidades que permiten cultivar a esta especie exitosamente.

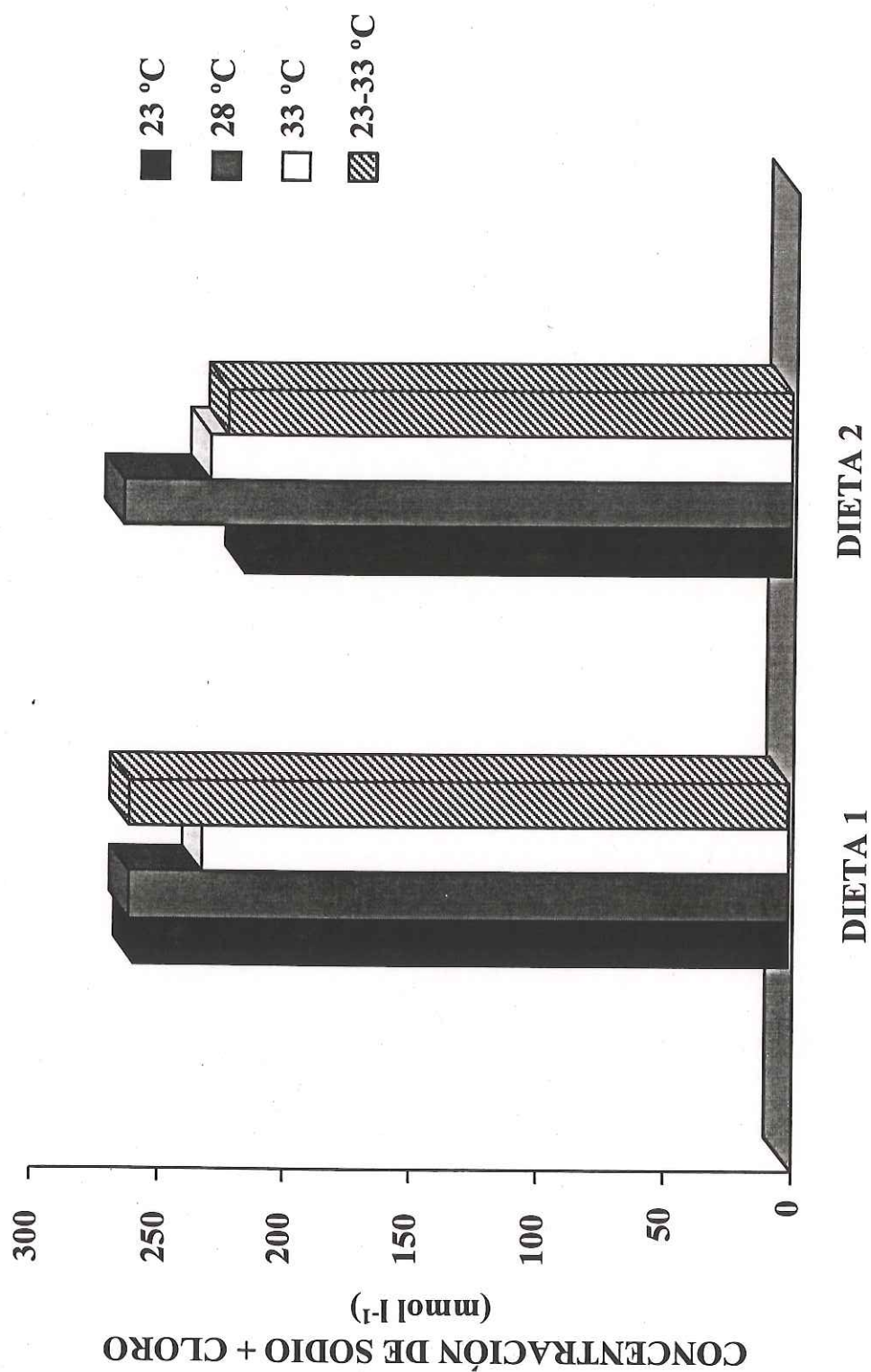


Figura 12. Concentración de sodio + cloro (mmol l⁻¹) de *Ictalurus punctatus*, expuesto a diferentes regímenes de temperatura. Dieta 1 = Bagrina; Dieta 2 = Aqua-Alimentos.

Chaving y Young (1970) realizaron una revisión de los niveles de glucosa en 83 especies de teleosteos concluyendo que los niveles de glucosa en la sangre son modificados tanto por factores ambientales como fisiológicos. La exposición a diferentes temperaturas en *Ictalurus melas*, *Cyprinus carpio* y *Pamoxis annularis* causó hiperglucemia, en *Lepomis macrochirus* la concentración de glucosa disminuyó en tanto que en *Micropterus salmoides* la glucosa plasmática permaneció sin cambio, por lo que el patrón de glucosa obtenido para esas especies no permite llegar a definir un patrón general (Chaving y Young, 1970). En este estudio los juveniles *I. punctatus* resultaron hipoglucémicos cuando fueron expuestos a 23 °C e hiperglucémicos en 33 °C y en el régimen fluctuante con respecto a los niveles observados en la temperatura preferida de 28 °C. Sin embargo, la concentración de glucosa de los bagres medida en todas las condiciones experimentales fueron más altas que los valores citados por Wedemeyer (1996) en los peces de esta misma especie clínicamente saludables.

Tucker (1985) refiere que la disminución en la concentración de cloruros y el aumento de glucosa plasmática en el bagre de canal, es una consecuencia del estrés térmico. En *Ictalurus melas* Ottolenghi *et al.* (1995) obtuvieron una disminución de los valores de glucosa a medida que subía la temperatura de aclimatación de 24 a 36 °C en tanto que en bagres recolectados en tres periodos estacionales (primavera, primavera-otoño e invierno) los niveles de glucosa no fueron significativamente diferentes. En *Tilapia aurea* Kindle y Whitmore (1986) observaron que los niveles de glucosa del plasma en los peces aumentó significativamente por un incremento en la temperatura de 11 a 12 °C, sin embargo el aumento de la temperatura de 22 a 35 °C no afectó la concentración de glucosa de estos peces.

La hiperglucemia en los peces como resultado de la disminución en la temperatura del agua es causado por la actividad de las catecolaminas (Mazeaud

et al., 1977). De acuerdo con los resultados del balance energético en *I. punctatus* la tasa de crecimiento se redujo significativamente a bajas temperaturas, lo cual puede relacionarse con los bajos niveles de glucosa observados en los bagres mantenidos en 23 °C, ya que ésta es la fuente primaria de energía requerida para ser utilizada en el metabolismo.

De acuerdo con Chaving y Young (1970) y MacLey (1977) los niveles elevados de glucosa en el plasma de los animales es el resultado de la movilización de la reserva energética (glucógeno) para cubrir las demandas energéticas de los peces expuestos a diversos factores estresantes. Las catecolaminas a través del cortisol son las responsables de regular los niveles de glucosa en el plasma de los peces, incrementando las reservas de aminoácidos libres disponibles para la gluconeogenesis, ya sea inhibiendo la síntesis de proteínas o estimulando el catabolismo de proteínas (Pankhurst y Van Der-Kraak, 1997). Según Tucker (1985), el aumento en la temperatura provoca en los peces la pérdida del equilibrio plasmático de los carbohidratos originando, hiperglucemia derivada de la degradación y movilización del glucógeno tisular (glucogenolisis).

Deeher (1988) y Pankhurst y Van Der-Kraak (1997) refirieron que la disminución en la tasa de crecimiento también podría explicar los niveles altos de glucosa en el plasma, como lo observado en este estudio en *I. punctatus* mantenidos en 33 °C. De acuerdo con los resultados del balance energético la hiperglucemia en los bagres mantenidos en el régimen fluctuante estuvo relacionada con la movilización de carbohidratos almacenados que contrarrestaron la posible disminución en la concentración de oxígeno disuelto en el agua por el efecto del aumento de la temperatura (Scott y Rogers, 1981; Pankhurst y Van Der-Kraak, 1997).

Un buen indicador de estrés es aquél que es afectado directa y significativamente por el estresor (Silbergeld, 1974). Así las variaciones de los

niveles de glucosa plasmática en el bagre de canal observadas en este estudio, demuestran que ésta es mejor respuesta como indicador al estrés térmico en *I. punctatus* que las determinaciones del hematocrito y concentraciones de cloruro y sodio plasmáticos. De igual manera Iwama y Morgan (1995), Wedemeyer y Yasutake (1997) y Morgan e Iwama (1997) recomendaron utilizar a este factor como una técnica rutinaria en los sistemas de cultivo para monitorear la condición de los peces y realizar las modificaciones pertinentes, cuando éstos son afectados por factores estresantes.

Las respuestas fisiológicas medidas en este trabajo reflejan diferentes mecanismos. Las concentraciones osmótica, de cloruro y de sodio plasmáticas son afectadas por las tasas de difusión de electrolitos entre el pez y el ambiente diluido; son controlados por los procesos de osmorregulación de las branquias y el riñón. Los niveles de glucosa y el hematocrito están influidos por efecto de la temperatura sobre el metabolismo, de acuerdo con lo mencionado por Davis y Parker (1990). Entre los mecanismos de regulación osmótica se encuentra la ganancia y la pérdida de agua que afecta directa y significativamente el peso de los organismos (Mazeaud *et al.*, 1977). Davis *et al.* (1998) señalan que la concentración osmótica y el cloruro medido en *I. punctatus* no fueron afectados significativamente cuando los organismos fueron alimentados con dietas en las cuales se modificaron alguna o una combinación de vitaminas específicas como vitamina C, piroxina o tiamina; niacina, riboflamina y el ácido pantoténico. Estas vitaminas están relacionadas con la reducción del efecto de ciertos estresores al reducir la síntesis de cortisol.

La importancia de evaluar estos índices radica en que el estrés térmico inducido implicó un gasto de energía para los bagres, el que se utilizó en los procesos catabólicos, en vez de ser canalizado hacia el campo de crecimiento. Los cambios fisiológicos inducidos en *I. punctatus* dependieron de la temperatura de aclimatación a la que fueron expuestos los bagres. Los resultados obtenidos

en las mediciones de los efectos secundarios particularmente la concentración de glucosa, indican que con la excepción de la concentración osmótica, éstos pueden ser utilizados como buenos y rápidos indicadores de la condición fisiológica de los peces por el efecto de las variaciones térmicas por arriba y por debajo de la temperatura preferida.

VI. CONCLUSIONES

El intervalo de la dureza del agua de 328 a 534 mg de CaCO_3 al que fueron expuestos los juveniles de *Ictalurus punctatus* no afectó el campo de crecimiento.

Los organismos mantenidos en la temperatura constante de 28 °C derivaron al campo de crecimiento una mayor cantidad de energía que los aclimatados a 23 y 33 °C y además en los bagres mantenidos en esas temperaturas se observó un aumento en la secreción de mucosidad y daños en la piel.

En el caso de los bagres alimentados con la dieta Aqua-Alimentos y aclimatados al régimen fluctuante de temperatura, la energía canalizada al campo de crecimiento fue 45% mayor que para los mantenidos en las temperaturas constantes.

La concentración osmótica plasmática no fue afectada por la exposición de los juveniles a diferentes regímenes de temperatura.

Las variaciones en la concentración de cloruros y de sodio mantuvieron en los bagres la estabilidad de la osmolaridad del plasma sugiriendo que *I. punctatus* tiene la capacidad de regular la concentración osmótica de la sangre y fluidos corporales a diferentes temperaturas.

La glucosa en el plasma de los bagres fue el indicador más sensible del efecto estresante de la temperatura.

Para optimizar el cultivo del bagre de canal en Baja California se recomienda utilizar una dieta con la composición proximal de Aqua-Alimentos y un régimen

fluctuante de temperatura, cuyo ciclo tenga un promedio cercano a la temperatura óptima de crecimiento de 28 °C.

LITERATURA CITADA

- Adams, S.M. 1990. Status and use of biological indicators for evaluating the effect of stress on fish. Amer. Fisheries Soc. Sym. 8:1-8.
- Andrews, W.J. y W.J. Page. 1975. The effects of frequency of feeding on culture of catfish. Trans. Am. Fish. Soc. 2: 317-321.
- Barton, B.A. 1997. Stress in finfish: past, present and future. A historical perspective. En: Iwama, G.K; A.D. Pickering; J.T. Sumpter y C.B. Schreck. (eds.). Fish stress and health in aquaculture. Cambridge University Press. United Kingdom. 1-33 pp.
- Bayne, B.L; J. Widdows y R.J. Thompson. 1976. Physiological integrations. En: Bayne, B.L. (ed.). Animal physiology: Principles and adaptation. Macmillan Company, New York. 261-291 pp.
- Beamish, F.W.H. 1972. Ration size and digestion in largemouth bass, *Micropterus salmoides* Lacepede. Can. J. Zool. 48:1121-1228.
- Blaxhall, P. C. 1972. The haematological assessment of the health of freshwater fish: A review of selected literature. J. Fish Biol. 4: 593-604.
- Brett, J.R. 1971. Energetic responses of salmon to temperature, a study of some relations in the physiology and freshwater ecology of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka*. Amer. Zool. 11:9-113.

- Brett, J.R. y D.D. Groves. 1979. Physiological energetics. En: Hoar W.S; D.J. Randall y J.R. Brett. (eds.). Fish physiology: Bioenergetics and growth. Academic Press, Inc. New York. III: 279-252.
- Briette, R.M. y G.H. Green. 1980. Growth of underyearling sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* under constant and cyclic temperatures in relation to live zooplankton ration size. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 203-210.
- Brown, C.R. y N.C. Cameron. 1991. The induction of specific dynamic action in channel catfish by infusion of essential amino acids. Physiol. Zool. 64: 276-297.
- Carmichael, G.J; J.R. Tomasso; B.A. Simco y K.B. Davis. 1984a. Confinement and water quality-induced stress in largemouth bass. Trans. Am. Fish. Soc. 113: 767-777.
- Carmichael, G.J; J.R. Tomasso; B.A. Simco y K.B. Davis. 1984b. Characterization and alleviation of stress associated with hauling largemouth bass. Trans. Am. Fish. Soc. 113: 778-785.
- Carmichael, G.J; G.A. Wedemeyer; J.D. McCraren y J.L. Millard. 1983. Physiological effects of handling and hauling stress on smallmouth bass. Prog. Fish-Cult. 42(2): 110-113.
- Chavin, W. Y J.E. Young. 1970. Factors in the determination of normal serum glucose of goldfish *Carassius auratus* L. Comp. Biochem. Physiol. 33: 629-653.

- Clifford, H.C. y R.W. Brick. 1979. A physiological approach to the study of growth and bioenergetics in the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii*. Proc. World Maricul. Soc. 10:710-719.
- Cox, D.K. 1978. Acclimation states of juvenile striped bass held in constant and fluctuating temperature regimes. En: Thorp, H.J. y J.W Gibbons. (eds.). Energy and environmental stress in aquatic systems. Technical Information Center, U.S. Department of Energy Publisher, Georgia. 703-713 pp.
- Cox, D.K. y C.C. Coutant. 1981. Growth dynamics of juvenile striped bass as functions of temperature and ration. Trans. Am. Fish. Soc. 110: 226-238.
- Crawshaw, L.I. 1976. Effect of rapid temperature change on mean body temperature and gill ventilation in carp. Am. J. Physiol. 231:837-841.
- Cui, Y; S. Chen y S. Wang. 1994. Effect of ration size on the growth and energy budget of the grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val. Aquaculture. 123: 95-107.
- Cui, Y. y Y.Liu. 1990a. Comparison of energy budget among six teleosts – I. Food consumption, fecal production and nitrogenous excretion. Comp. Biochem. Physiol. 96A: 163-171.
- Cui, Y. y Y. Liu. 1990b. Comparison of energy budget among six teleosts - III. Growth rate and energy budget. Comp. Biochem. Physiol. 97A: 381-384.

- Cui, Y. y R.J. Wootton. 1988. Bioenergetics of growth of a cyprinid, *Phoxinus phoxinus*: the effect of ration, temperature and body size on food consumption, fecal production and nitrogenous excretion. J. Fish. Biol. 33: 431-443.
- Dame, R.F. y F.J. Venberg. 1978. The influence of constant and cyclic acclimation temperatures on the metabolic rates of *Panopeus herbstii* and *Uca pugilator*. Biol. Bull. 154: 188-197.
- Davis, K. B. y N. C. Parker. 1990. Physiological stress in striped bass: effect of acclimation temperature. Aquaculture. 91: 349-358.
- Davis, K.B; B.A. Simco; M. Li y E. Robinson. 1998. Effect of reduction of supplementary dietary vitamins on the stress response of channel catfish *Ictalurus punctatus*. J. World Acua. Soc. 29(3): 319-324.
- Dheer, J. M. 1988. Haematological, haematopoietic and biochemical responses to thermal stress in an air-breathing freshwater fish, *Channa punctatus* Bloch. J. Fish Biol. 32: 197-206.
- 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.
- Díaz, F. y F.L. Bückle. 1999. Effect of the critical thermal maximum on the preferred temperatures of *Ictalurus punctatus* exposed to constant and fluctuating temperatures. J. Therm. Biol. 24: 155-160.

- Elliot, J.L. 1976. Energy losses in the waste products of brown trout (*Salmo trutta* L.). J. Anim. Ecol. 45: 561-580.
- Elliot, J.L. 1981. Some aspects of thermal stress on fresh water teleost. En: Pickering A.D. (ed.). Stress and fish. Academic Press. New York. 209-237 pp.
- Ellsaesser, C. F. y L. W. Clem. 1986. Haematological and immunological changes in channel catfish stressed by handling and transport. J. Fish Biol. 28: 511-521.
- Espina, S. y C. Vanegas. 1996. Ecofisiología y contaminación. En: Botello A.B; J.L. Rojas Galaviz; J.A. Benitez y D. Zárate Lomelí (eds.). Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias. EPOMEX Serie Científica 5. Universidad Autónoma de Campeche. México. 66 pp.
- Espina, S; Díaz, F.H. y F.L.R. Buckle. 1993. Preferred and avoided temperatures in the crawfish *Procambarus clarkii* (Decapoda, Cambaridae). J. Therm. Biol. 18 (1): 35-39.
- Feldmeth, C.R. y A.E. Stone. 1974. An increased scope for thermal tolerance upon acclimating pupfish (*Cyprinodon*) to cyclic temperatures. J. Comp. Physiol. 89:39-44.
- Franklin, C. E; W. Davison y P. W. Carey. 1991. The stress response of an Antarctic teleost to an acute increase in temperature. J. Therm. Biol. 16(3): 173-177.

- Grizzle, J. M. 1977. Hematological changes in fingerling channel catfish exposed to malachite green. *Prog. Fish Cult.* 39 (2): 90-93.
- Hall, L.W; D.A.Cincotta; J.R. Stauffer y C.H. Hocutt. 1978. Temperature preference of the crayfish *Orconectes obscurus* Arch. Environm. Cont. Toxicol. 7:379-383.
- Haws, T. G. y C. J. Goodnight. 1962. Some aspects of the hematology of two species of catfish in relation to their habitats. *Physiol. Zool.* 35: 8-17.
- Heath, G.W. 1963. Thermoperiodism in sea-run cutthroat trout *Salmo clarki clarki*. *Science.* 42: 486-488.
- Heinicke, E. A. y A. H. Houston. 1965. Effect to thermal acclimation and sublethal heat shock upon ionic regulation in the goldfish, *Carassius auratus* L. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 22(6): 1455-1476.
- Hilge, V. H; Delventhal y H. Klinger. 1981. Influences of heated, recirculated water and heated well water on several physiological and hematological parameters of channel catfish, *Ictalurus punctatus* Raf. reared at two stocking densities. En: Tiews, K (ed.). *Aquaculture in heated effluents and recirculation systems.* Vol. II. 185-190 pp.
- Hokanson, E.F.K; F.C. Kleiner y W. Thorslund. 1997. Effects of constant temperatures and diel temperature fluctuations on specific growth and mortality rates and yield of juvenile rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Fish. Res. Board. Can.* 34: 639-648.

- Hokanson, K.E.F. 1977. Temperature requirements of some percids and adaptations to the seasonal temperature cycle. J. Fish. Res. Board Can. 34: 1524-1550.
- Houston, A.H; A.J. Madden y M.A. DeWille. 1970. Environmental temperature and the body fluid system of the freshwater teleost. IV. Water electrolyte regulation in thermal acclimated carp, *Cyprinus carpio*. Comp. Biochem. Physiol. 34: 805-818.
- Iwama, G.K. y J.D. Morgan. 1995. Simple methods for monitoring stress and general condition of fish. Aquaculture Research. 26: 273-282.
- Jarboe, H.H. 1995. Diel oxygen consumption and total ammonia nitrogen production by fingerling channel catfish following feeding at different times. Prog. Fish-Culturist. 57: 156-160.
- Jarboe, H.H. y J.W. Grant. 1996. Effects of feeding time and frequency on growth of channel catfish *Ictalurus punctatus* in closed recirculating raceway system. J. World Aquac. Soc. 27: 235-239.
- Jobling, M. 1981. Temperature tolerance and final preferendum, rapid methods for the assessment of optimum growth temperatures. J. Fish. Res. Board. Can. 24: 1515-1519.
- Jobling, M. 1983. Towards an explanation of specific dynamic action (SDA). J. Fish. Biol. 23: 549-555.
- Jobling, M. 1994. Fish bioenergetics. Fish and fisheries series 13. Primera edición. Chapman & Hall. London. 309 pp.

- Kellogg, L.R. y J.J. Gift. 1983. Relationship between optimum temperatures for growth and preferred temperatures for the young of four fish species. Trans. Am. Fish. Soc. 112: 424-430.
- Kilambi, R. V; Noble, J. y C.E. Hoffman. 1970. Influence of temperature and photoperiod on growth, food conversion and food conversion efficiency of channel catfish. Proc. Annual Conf. Southeast Assoc. Game and Fish Comm. 24: 519-531.
- Kindle, K.R. y D.H. Whitmore. 1986. Biochemical indicators of stress in *Tilapia aurea* (Steindachner). J. Fish Biol. 29: 243-255.
- Klekowski, R.Z. y A. Duncan. 1975. Physiological approach to ecological energetics. En: Grodzinski, W; R.Z. Klekowski y A. Duncan. (eds.). Methods for ecological bioenergetics. I.B.P. Blackwell. Sci. Pub. Oxford. 15-56 pp.
- Klinger, H; H. Delventhal y V. Hilge. 1983. Water quality and stocking density as stressors of channel catfish (*Ictalurus punctatus* Raf.). Aquaculture. 30:263-272.
- Li, H.M. y H.E. Robinson. 1998. Evaluation of three strains of channel catfish *Ictalurus punctatus* fed diets containing three concentrations of protein and digestible energy. J. World Aqua. Soc. 29: 155-160.
- Mackay, W. C. 1974. Effect to temperature on osmotic and ionic regulation in goldfish *Carassius auratus* L. J. Comp. Physiol. 88: 1-19.
- Maetz, J. y D. H. Evans. 1972. Effects of temperature on branchial sodium-exchange and extrusion mechanisms in the seawater-adapted flounder *Platichthys flesus* L. J. Exp. Biol. 56: 565-585.

- Maetz, J. y F. G. Romeu. 1964. The mechanism of sodium and chloride uptake by the gills of a fresh-water fish, *Carassius auratus*. II. Evidence for $\text{NH}_4^+/\text{Na}^+$ and $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ exchanges. J. Gen. Physiol. 47:1209-1227.
- Mazeaud, M. M; F. Mazeaud y E. M. Donalson. 1977. Primary and secondary effects on stress in fish: some new data with a general review. Trans. Amer. Fish. Soc. 106 (3): 201-212.
- McCauley, R.W. y J.M. Casselman. 1981. The final preferendum as an index of the temperature for optimum growth in fish. En: Tiews, K. (ed.). Aquaculture in heated effluents and recirculation systems. Proceedings of World Symposium on Aquaculture Heated Effluent and Recirculations Systems. 81-93 pp.
- McLeay, D.J. 1997. Development of a blood sugar bioassay for rapid measuring stressful levels of pulpmill effluent to salmoind fish. Fish. Res. Board Can. 34: 477-485.
- McLeay, D. J. y M. R. Gordon. 1977. Leucocrit: A simple hematological technique for measuring acute stress in salmonid fish, including stressful concentration of pulpmill effluent. J. Fish. Res. Can. 34: 2164-2175.
- Medvick, A.P. 1979. Growth rates of juvenile Maomao *Abudefduf abdominalis* at constant and cyclic temperatures. Trans. Am. Fish. Soc. 108: 293-298.
- Miranda, F; C.S. Reyes; I.J.G. Espinoza y L.J. García. 1991. Climatología de la región noroeste de México (Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa). Parte II. Temperatura: series de tiempo del valor mensual y estadísticas del año climatológico. Reporte Técnico CIOFT9108. CICESE.

- Morgan; J.D. y G.K. Iwama. 1997. Measurements of stressed states in the field. En: Iwama G.K.; A.D. Pickering; J.P. Sumpter y C.B. Schreck. (eds.). Fish stress and health in aquaculture. Cambridge University Press. 247-270. pp.
- Murad, A; A.H. Houston y L. Samson. 1990. Haematological response to reduce oxygen-carry capacity, increased temperature and hipoxia in goldfish, *Carassius auratus* L. J. Fish Biol. 36: 289-305.
- Nimi, A.J. y F.W.H. Beamish. 1974. Bioenergetics and growth of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in relation to body weight and temperature. Can. J. Zool. 52: 447-456.
- Ottolenghi, C; A.C. Puviani; D. Ricci; L. Brighenti y E. Morsiani. 1995. The effect of high temperature on blood glucose level in two teleost fish (*Ictalurus melas* and *Ictalurus punctatus*). Comp. Biochem. Physiol. 111A(2): 229-235.
- Pankhurst, N.W. y G. Van Der-Kraak. 1997. Effects on reproduction and growth of fish. En: Iwama, G.K; Pickering, A.D; Sumpter, J.P. y C.B. Schreck. (eds.). Fish stress and health in aquaculture. Society for experimental biology. Seminar serie 62. Cambridge University Press. United Kingdom. 247-268 pp.
- Pickering, A.D. 1981. Stress and fish. Academic Press. Primera edición. New York. 366 pp.
- Postlethwaite, E. K. y D. G. McDonald. 1995. Mechanisms of Na⁺ and Cl⁻ regulation in freshwater-adapted rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during exercise and stress. J. Exp. Biol. 198: 295-304.

- Reigh, C.R. 1999. Production characteristics of pond-raised channel catfish *Ictalurus punctatus* fed diets with and without animal protein for three growing seasons. J. World Aquac. Soc. 30: 154-160.
- Reynolds, W.W. y M.E. Casterlin. 1979. Behavioral thermoregulation and the "Final Preferendum" paradigm. Am. Zool. 19: 211-224.
- Rice, A.J. 1990. Bioenergetics modeling approaches to evaluation of stress in fishes. Am. Fish. Soc. Sym. 8: 80-90.
- Robinson, H.E. y H.M. Li. 1977. Low protein diets for channel catfish *Ictalurus punctatus* raised in earthen ponds at high density. J. World Aquac. Soc. 28: 224-229.
- Robinson, H.E. y H.M. Li. 1999. Evaluation of practical diets with various levels of dietary protein and animal protein for pond-raised channel catfish *Ictalurus punctatus*. J. World Aquac. Soc. 30: 147-153.
- Sandnes, K. Ø. Lie y R. Waagbø. 1988. Normal ranges of some blood chemistry parameters in adult farmed atlantic salmon, *Salmo salar*. J. Fish Biol. 32: 129-136.
- Scott, A.L. y W.A. Rogers. 1981. Hematological effects of prolonged sublethal hypoxia on Channel catfish *Ictalurus punctatus* (Rafinesque). J. Fish Biol. 18: 591-609.
- Selye, H. 1936. A syndrome produced by diverse nocuous agents. Nature. 138: 1-32.
- Selye, H. 1973. The evolution of the stress concept. Am. Scien. 61: 692-699.

- Silbergeld, E.K. 1974. Blood glucose: A sensitive indicator of environmental stress in fish. *Bull. Environ. Cont. Toxicol.* 2(1): 20-25.
- Smit, G.L; J. Hatting y J.T. Ferreira. 1981. The physiological responses of blood during thermal adaptation in three freshwater fish species. *J. Fish Biol.* 19: 147-160.
- Solomon, J.D. y A.E. Brafield. 1972. The energetics of feeding, metabolism and growth of perch (*Perca fluviatilis* L.). *J. Anim. Ecol.* 41: 699-718.
- Spigarelli, S.A; M.M. Thommes y W. Prepejchal. 1982. Feeding, growth, and fat deposition by brown trout in constant and fluctuating temperatures. *Trans. Am. Fish. Soc.* 111: 199-209.
- Stanley, J. G. y P. J. Colby. 1971. Effects of temperature on electrolyte balance and osmoregulation in the alewife (*Alosa pseudoharengus*) in fresh and sea water. *Trans. Am. Fish. Soc.* 4: 624-638.
- Stickney, R.R. y R.T. Lovell 1977. Nutrition and feeding of channel catfish. Southern Coop. Series Bull. 218.
- Tucker, C.S. 1985. Channel catfish culture. Elsevier Science Publishers. Primera edición. New York. 657 pp.
- Tucker, C. S. y E.H. Robinson. 1990. Channel catfish farming handbook. Chapman & Hall. Primera edición. New York. 454 pp.
- Tukey, J.M. 1977. Exploratory data analysis. Addison-Wesley. Pub. Co. Massachusetts. 668 pp.

- Vondracek, B; J.J. Cech Jr. y K.R. Buddington. 1989. Growth efficiency and assimilation efficiency of the Tahoe sucker in cyclic and constant temperature. *Environ. Biol. Fish.* 24: 151-156.
- Vondracek, B; J.J. Cech Jr; y D. Longanecker. 1982. Effect of cyclic and constant temperatures on the respiratory metabolism of the Tahoe sucker, *Catostomus tahoensis* (Pisces: Catostomidae). *Comp. Biochem. Physiol.* 37: 11-14.
- Warren, C.E. y G.E. Davis. 1967. Laboratory studies on the feeding, bioenergetics, and growth of fish. En: Gerking S.D. (ed.). *The biological basis of freshwater fish production*. Blackwell Scientific Publications, Oxford 175-213 pp.
- Wedemeyer, G.A. 1997. Effects of rearing conditions on the health and physiological quality of fish in intensive culture. En: Iwama, G.K; A.D. Pickering; J.P. Sumpter y C.B. Schreck (eds.). *Fish and stress and health in aquaculture*. Cambridge University Press. 35-71 pp.
- Wedemeyer, G.A. 1981. The physiological response of fish to the stress of intensive aquaculture in Recirculation system. En: Tiews, K (ed.). *Aquaculture in heated effluents and Recirculation systems*. Vol. II 3-18 pp.
- Wedemeyer, G.A. 1996. *Physiology of fish in intensive culture system*. Primera edición. Chapman Hall. New York. 232 pp.
- Wedemeyer, G.A. y W.T. Yasutake. 1997. Clinical methods for the assessment of the effects of environmental stress on fish health. Technical papers (89) of the U.S. fish and wildlife service. United States Department of the Interior Fish and Wildlife Service. Washington, D.C. 1-18 pp.

- Weinberg, S. R; C. D. Siegel; R. F. Nigrelli y A. S. Gordon. 1972. The hematological parameters and blood cell morphology of the brown bullhead catfish, *Ictalurus nebulosus* (Le Sueur). Zoologica. 57: 71-78.
- Widdows, J. 1978. Combined effects of body size, food concentration and season on the physiology of *Mytilus edulis*. J. Mar. Biol. assoc. U.K. 58: 109-124.
- Wywialowski, P.A. 1999. Wildlife-caused losses for producers of channel catfish *Ictalurus punctatus* in 1996. J. World Aqua. Soc. 30: 461-471.
- Xie, S; Y. Cui; Y. Yang y J. Liu. 1997. Energy budget of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in relation to ration size. Aquaculture. 154:57-68.
- Zar, J.H. 1974. Biostatistical analysis. Prentice-Hall Englewood Cliffs. Primera edición. New York. 619 pp.

ANEXOS



CRITICAL THERMAL MAXIMA AND MINIMA OF *MACROBRACHIUM ROSENBERGII* (DECAPODA: PALAEMONIDAE)

FERNANDO DÍAZ HERRERA,¹† ELIZABETH SIERRA URIBE,¹
 L. FERNANDO BÜCKLE RAMIREZ¹ and ARTURO GARRIDO MORA²

¹Departamento de Acuicultura, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (C.I.C.E.S.E.) Kilómetro 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, Baja California, México and

²División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Bosques de Saloya, Km 0.5, Villahermosa Tabasco

(Received 20 June 1998; accepted in revised form 1 September 1998)

Abstract—1. Critical thermal maxima (CTMax) and minima (CTMin) were determined for postlarvae and juveniles of *Macrobrachium rosenbergii* acclimated at 20, 23, 26, 29 and 32 ± 1°C. 2. At each acclimation temperature the CTMax and CTMin for postlarvae were 37.3, 38.3, 39.0, 41.0, 41.6°C and 10.0, 11.0, 13.0, 14.8, 16.8°C respectively and for juveniles 36.5, 38.4, 39.2, 41.5, 42.0 and 10.5, 11.3, 13.3, 14.6, 16.4°C respectively. 3. We found no indication of significant differences ($P > 0.05$) in the CTMax and CTMin of the prawn postlarvae and juveniles. 4. The zone of thermal tolerance base on the CTMax and CTMin boundaries for postlarvae was 821.2°C² and 816.9°C² for juveniles, showing a high degree of eurythermality. To cultivate this species it should be done in no less than 16°C (CTMin) and below 42°C. © 1998 Elsevier Science Ltd. All rights reserved

Key Word Index: Critical thermal minima and maxima; postlarvae; juveniles; *Macrobrachium rosenbergii*

INTRODUCTION

There are a variety of molluscs, fish and crustaceans with culture potential. *Macrobrachium rosenbergii* among freshwater crustaceans is most valuable owing to a high reproduction rate, an acceptable growth rate and survival. They can also easily be maintained in captivity and have a high commercial value for human consumption (New and Singholka, 1984; Hollschmit, 1988).

Thermal acclimation can involve all life cycle stages and results can physiological compensatory temperature responses with adaptative resistance changes transpose resulting in a thermal niche expansion. Temperature can be a limiting factor in the distribution of an aquatic organism if they are exposed to the resistance zone represented by the critical thermal minima and maxima.

The critical maxima (CTMax) and minima (CTMin) were introduced by Cowles and Boggert (1944), modified by Lowe and Vance (1955) and

standardized by Hutchison (1961). Cox (1974) defined these tolerance measurements as the arithmetic mean of the thermal points in which the locomotive activity becomes disorganized and the organism loses its ability to escape the conditions that would result in death.

Thus the knowledge of thermal acclimation and critical temperatures are important in the understanding of the biology, distribution and ability of the organisms to adapt to different thermal regimens. The aim of this study was to determine the critical temperatures of postlarvae and juveniles of *Macrobrachium rosenbergii* acclimated at five constant temperatures to assess the possibility of its culture in the tropical area of México.

MATERIALS AND METHODS

Postlarvae and juveniles were obtained from the aquaculture farming facility "El Carrizal" in the State of Guerrero, México (102° Lat. N.; 18° Long. W.). After transferring the organisms to the laboratory they were maintained for two weeks in a 3000 l reservoir provided with a biological filter at the collection site temperature (29 ± 1°C).

† Correspondence address: Department of Aquaculture, (CICESE) P.O. Box 434844, San Diego, CA 92143-4844, U.S.A. Fax: (52-61)75-05-34. E-mail: fdiaz@cice-se.mx.

Table 1. Critical thermal maxima and minima of postlarvae and juveniles of *Macrobrachium rosenbergii* acclimated at different temperatures. Median $\pm$ confidence interval

Acclimation temperature (°C)	Postlarvae		Juveniles	
	CTMax (°C)	CTMin (°C)	CTMax (°C)	CTMin (°C)
20	36.3 $\pm$ 0.1	10.0 $\pm$ 0.1	36.5 $\pm$ 1.1	10.5 $\pm$ 0.3
23	38.3 $\pm$ 0.2	11.0 $\pm$ 0.6	38.4 $\pm$ 0.1	11.3 $\pm$ 0.1
26	39.0 $\pm$ 0.3	13.0 $\pm$ 0.2	39.2 $\pm$ 0.8	13.3 $\pm$ 0.9
29	41.0 $\pm$ 0.3	14.8 $\pm$ 0.3	41.5 $\pm$ 1.0	14.6 $\pm$ 0.1
32	41.6 $\pm$ 0.3	16.8 $\pm$ 0.3	42.0 $\pm$ 0.8	16.4 $\pm$ 0.7

The wet weight of the postlarvae was 0.08 to 0.2 g and juveniles 0.6 to 1.7 g, both stages were acclimated for four weeks at 20, 23, 26, 29 and 32 $\pm$ 1°C in 30 aquaria (each 60 l capacity) with 5 organism m² as recommended by New and Singholka (1984). Daily temperature was increased by 2°C until the acclimation temperature was reached.

The organisms were fed daily *ad libitum* for two hours with Purina Prawn Chow and uneaten food was extracted with a siphon, then 50% of the aquarium fresh water was replaced. A day–night photoperiod was established at 12 h/12 h.

CTMin and CTMax were recorded for 300 individuals from both stages. Each individual was transferred to 1 l flask at the respective water acclimation temperature with constant aeration that afterwards were submerged in a thermoregulated bath connected to a cooling or heating system to increase or decrease the temperature at a rate of 1°C/min until the critical temperatures responses were observed. All CTMin and CTMax measurements were started between 10:00 and 14:00 h. no animals were used for more than one determination, and the data from animals not recovering were discarded.

The endpoint of the critical responses of postlarvae and juveniles was determined by the total disorientation method according to Nelson and Hooper (1982).

The acclimation response ratio (ARR) was also calculated by dividing the tolerance change by the total change in acclimation temperature according

to Claussen (1977). The thermal tolerance polygon drawn with the CTMin and CTMax was estimated according to Brett (1956) and Barrionuevo and Fernandes (1995). Analyses of variance were used to determine the statistical significance.

RESULTS AND DISCUSSION

The critical thermal maxima and minima response temperatures of postlarvae and juveniles of *M. rosenbergii* were significantly affected by the acclimation temperatures ($P < 0.05$). When the values for CTMax and CTMin for postlarvae are compared with those of juveniles no significant differences ($P > 0.05$) were observed for any acclimation condition (Table 1). The values of the CTMin and CTMax were similar to those reported by Uno *et al.* (1975) who used different criteria, such as activity, inactivity and lethal reactions to determine CTMax and CTMin. The CTMax decreased in low dissolved oxygen levels in juveniles and adults of *M. rosenbergii* (Farmanfarmaian and Moore, 1978) and Hernandez *et al.* (1996) obtained in *M. tenellum* a direct relation between acclimation and critical temperatures. The ample thermal tolerance of the postlarvae and juveniles of this species indicates the ability to acclimate to different thermal regimens therefore showing a high degree of eurythermality.

The acclimation response ratio (ARR) for the CTMax and CTMin of postlarvae and juveniles was 0.47 to 0.63 and 0.45 to 0.46 respectively (Table 2). The ARR respective values of the

Table 2. Acclimation responses ratios (A.R.R.) of *Macrobrachium rosenbergii*

		Acclimation temperature (°C)		
		20–26	23–29	26–32
Postlarvae	CTMax	0.45	0.45	0.43
	CTMin	0.50	0.63	0.63
Juveniles	CTMax	0.45	0.52	0.46
	CTMin	0.47	0.55	0.52

CTMax and CTMin reported by Layne *et al.* (1987) for cold or temperate species, as *Orconectes rusticus* were 0.25 and 0.23, Claussen (1980) obtained for the same species a value of 0.24. Whereas Spoor (1955) and Bowler (1963) reported for the CTMax of *Astacus pallipes* the ARR values of 0.12 and 0.18 respectively. For the postlarvae of *Homarus americanus* McLeese (1956) reported an ARR of 0.24. We found that the ARR of the CTMax and CTMin of the postlarvae of *M. rosenbergii* is 0.44 and 0.58 and for the juveniles 0.48 and 0.51 respectively. This results suggest that the value of the ARR is dependent on the geographical temperature gradient that exists. Whilst insufficient data is available for a thorough comparative judgement to be made, the existing data for ARR in decapod crustaceans suggests that tropical species have higher ARR values.

The scope for acclimation temperature for postlarvae and juveniles was from 24.8 to 27.3°C with no significant difference ($P < 0.05$) (Fig. 1). The amplitude of the scope of thermal tolerance reveals the degree of thermal adaptation of aquatic species that can be correlated with the thermal stability of the environment (Brett, 1970). The scope of the postlarvae and juveniles was similar to that reported for *Prochilodus scrofa* by Barrionuevo and Fernandes (1995) indicating that both species have

the ability to endure marked thermal seasonal fluctuations. This species shows a high degree of eurythermicity and so will maintain functions over a wide range of environmental temperature (Feldmeth *et al.*, 1974).

The areas of the thermal tolerance polygon delimited by CTMin and CTMax at different acclimation temperatures for postlarvae and juvenile prawns are 821.2°C and 816.9°C respectively and they are equivalent to the degree of eurythermicity of the species (Fig. 2). The lobster *Homarus americanus* has an area of 830°C² (McLeese, 1956). In comparison juveniles of *Callinectes sapidus* had a tolerance area of 1,350°C² in 100% salinity and 1,204°C² in 20% seawater (Tagatz, 1969). Barrionuevo and Fernandes (1995) indicate for two size classes of the fish curimbata *Prochilodus scrofa* an area of 1,046 and 964.2°C². Brett (1956) found in closely related species from cold water rivers that the thermotolerance range was from 450 in *Oncorhynchus gorboscha* to 1,220°C² in *Carassius auratus*. The values around 800°C² as in *M. rosenbergii* are consistent for organisms that live in shallow waters, marine bays, pools that are comparable to the abundant bodies of water that exist in subtropical and tropical zone of Mexico.

To cultivate postlarvae and juveniles of this species we recommend those geographical zones of

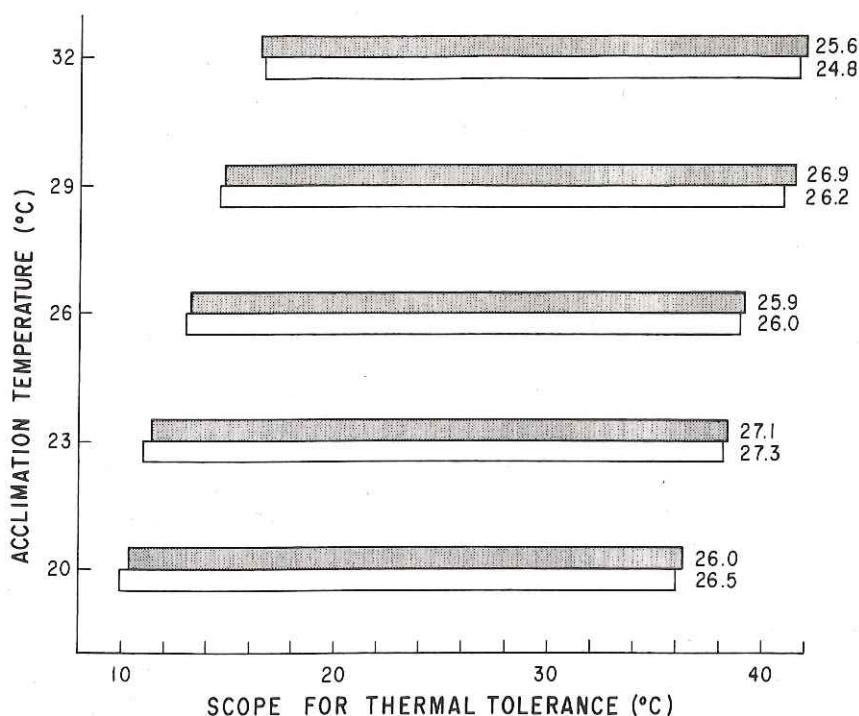


Fig. 1. Scope for thermal tolerance of postlarvae (open rectangles) and juveniles (shaded rectangles) of *Macrobrachium rosenbergii* calculated as the difference between the critical thermal maxima and minima for each acclimation temperature.

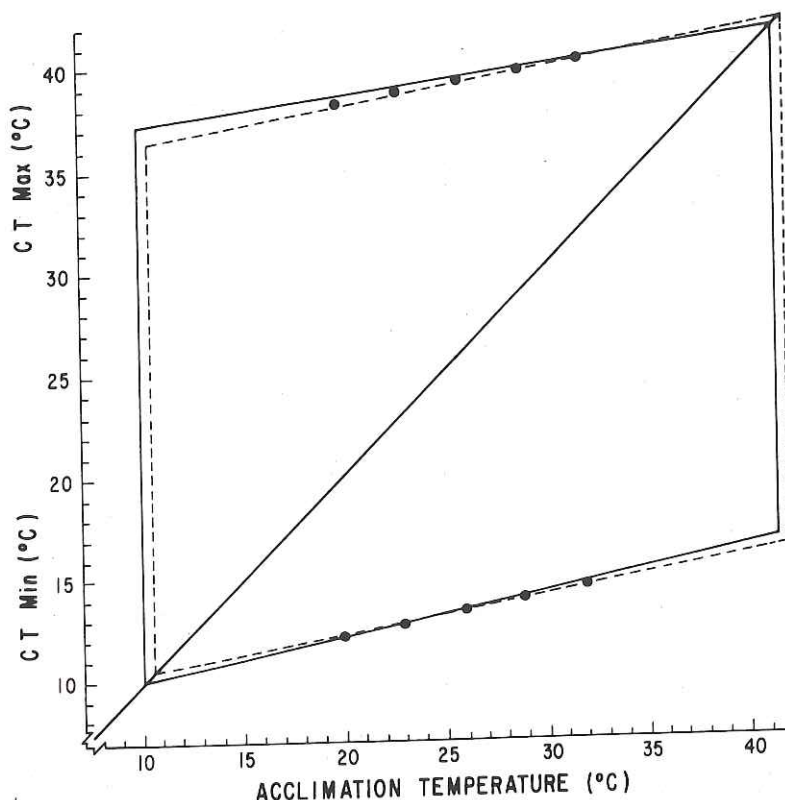


Fig. 2. Thermal tolerance polygon of *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae (continuous line) and juveniles (dotted line). The 45° line represents the equality line.

the country were winter temperatures are no less than 16°C (CTMin) and summer temperatures below 42°C (CTMax). The thermal tolerance area limited by the CTMin and CTMax involves also the preferred and avoided temperatures were the organisms can find their thermal preferendum determined by Diaz et al. (1993) and Diaz and Bückle (1993) were all physiological functions are maximized particularly growth and reproduction.

REFERENCES

- Barrionuevo, W.R. and Fernandes, N.M. (1995) Critical thermal maxima and minima for curimatá, *Prochilodus scrofa* Steindachner, of two different sizes. *Aquaculture Research* **26**, 447–450.
- Brett, J.R. (1956) Some principles in the thermal requirements of fishes. *The Quarterly Review of Biology* **31**, 75–86.
- Brett, J.R. (1970) Temperature animals fish. In *Marine Ecology*, ed. O. Kinne, Vol I. Part 1, pp. 515–560. John Wiley & Sons, New York.
- Bowler, K. (1963) A study of factors involved in acclimatization to temperature and death at higher temperatures in *Astacus pallipes*. I Experiments on intact animals. *J. Cell. Comp. Physiol.* **62**, 119–132.
- Claussen, D.L. (1977) Thermal acclimation in ambystomatid salamanders. *Comp. Biochem. Physiol.* **58A**, 33–340.
- Claussen, D.L. (1980) Thermal acclimation in the crayfish *Orconectes rusticus* and *O. virilis*. *Comp. Biochem. Physiol.* **66A**, 377–384.
- Cowles, R.B. and Boggert, M.C. (1944) A preliminary study of the thermal requirements of desert reptiles. *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.* **83**, 265–296.
- Cox, D.K. (1974) Effects of three heating rates on the critical thermal maximum of bluegill. In *Thermal Ecology*, ed. J. W. Gibbons and R. R. Sharitz, pp. 150–163. AEC Symposium Series (Conf-73055), Springfield, VA.
- Díaz, H.F., Gutierrez, P. and Garrido, A. (1993) Temperatura preferida y óptima para el crecimiento de postlarvas y juveniles de *Macrobrachium rosenbergii* (Crustacea, Palaemonidae). *Rev. Biol. Trop.* **41**, 153–155.
- Díaz, H.F. and Bückle, F. (1993) Thermoregulatory behaviour of *Macrobrachium rosenbergii* (Crustacea, Palaemonidae). *Trop. Ecol.* **34**, 199–203.
- Farmanfarmanian, A. and Moore, R. (1978) Diseasonal thermal aquaculture. 1. Effects of temperature and dissolved oxygen on survival and growth of *Macrobrachium rosenbergii*. *Proc. World Maricult. Soc.* **9**, 55–66.
- Feldmeth, C.R., Stone, A.E. and Brown, H.J. (1974) An increased scope for thermal tolerance upon acclimating pupfish (*Cyprinodon*) to cycling temperatures. *J. Comp. Physiol.* **89**, 39–44.
- Hernández, R.M., Bückle, R.L.F. and Díaz, H.F. (1996) Critical thermal maximum of *Macrobrachium tenellum*. *J. Therm. Biol.* **21**, 139–143.

- Hollschmit, H.K. (1988) *Manual técnico para el cultivo y engorda del langostino malayo*. Fondepesca. México, p. 128.
- Hutchison, V.H. (1961) Critical thermal maxima in salamanders. *Physiol. Zool.* **34**, 92–125.
- Layne, J.R., Claussen, L.D. and Manis, L.M. (1987) Effects of acclimation temperature season, and time of day on the critical thermal maxima and minima of the crayfish *Orconectes rusticus*. *J. Therm. Biol.* **12**, 183–187.
- Lowe, C.H. and Vance, J.V. (1955) Acclimation of critical thermal maximum of the reptile *Urosaurus ornatus*. *Science* **122**, 73–74.
- McLeese, D.W. (1956) Effects of temperature salinity and oxygen on the survival of the American lobster. *J. Fish. Res. Bd. Canada* **13**, 247–272.
- Nelson, D.H. and Hooper, K.D. (1982) Thermal tolerance and preference of the freshwater shrimp *Palaemonetes kadiakensis*. *J. Therm. Biol.* **7**, 183–187.
- New, B.M. and Shingholka, S. (1984) *Cultivo del camarón de agua dulce. Manual para el cultivo de Macrobrachium rosenbergii*. FAO. Doc. Téc. Pesca., p. 225.
- Spoor, W. (1955) Loss and gain of heat-tolerance by the crayfish. *Biol. Bull.* **108**, 77–87.
- Tagatz, M.E. (1969) Some relations of temperature acclimation and salinity to thermal tolerance of the blue crab, *Callinectes sapidus*. *Trans. Amer. Fish. Soc.* **4**, 713–716.
- Uno, Y., Bejie, B. A. and Igarashi, Y. (1975) Effects of temperature on the activity of *Macrobrachium rosenbergii*. *Bull. Soc. Franc.-Jap. Ocean.* **13**, 150–154.

Bilancio energetico in esemplari di *Ictalurus punctatus* esposti a temperature costanti e fluttuanti

Energy budget of *Ictalurus punctatus* exposed to constant and fluctuating temperatures

ELISABETH SIERRA¹, FERNANDO DIAZ¹ & SONIA ESPINA²

¹ Departamento de Acuicultura. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE). Kilómetro 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Baja California, México 22830.

² Laboratorio de Ecofisiología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. (UNAM) México, D.F. 04510.

Riassunto

E' stato determinato il bilancio energetico in esemplari immaturi di *Ictalurus punctatus* alimentati con due diete a diverso contenuto proteico e mantenuti a temperatura costante (23, 28 e 33°C) oppure fluttuante (tra 23 e 33°C). Negli animali mantenuti a temperatura costante, la percentuale più elevata di energia utilizzata per l'accrescimento si è riscontrata con entrambe le diete a 28°C, che rappresenta la temperatura ottimale per lo svolgimento dei più importanti processi fisiologici in questa specie. Tra gli animali esposti a cicli di temperatura fluttuante, quelli nutriti con la dieta sperimentale "Aqualimentos", contenente 45% di proteine, hanno presentato un accrescimento del 45% più elevato, in ragione di un maggiore consumo dell'alimento e di una migliore efficienza nell'utilizzazione dell'energia proveniente dalla dieta. Inoltre, in condizioni di temperatura fluttuante, si è osservata una diminuzione della percentuale dell'energia dissipata con le feci, impiegata nel consumo di ossigeno e nell'azione dinamica specifica ed escreta sotto forma di prodotti azotati. I risultati suggeriscono che per ottimizzare la coltura di *I. punctatus* in Baja California sono raccomandabili: 1) condizioni di temperatura fluttuante tra i 23 ed i 33°C, nelle quali la temperatura media di 28°C corrisponde alla temperatura ottimale per l'accrescimento, e 2) un alimento la cui composizione sia simile a quella della dieta sperimentale "Aqualimentos", con un contenuto proteico del 45% che può accelerare l'accrescimento.

Abstract

The energy balance of *Ictalurus punctatus* juveniles fed with two diets with different protein contents was determined in regimes of constant (23, 28 and 33 °C) and fluctuating temperature (23 to 33 °C). The highest percentage of energy channeled to the scope for growth in the channel catfish maintained in the constant regime was at the temperature of 28 °C on both diets. This temperature corresponds with the final preferendum for this species and reflects the optimum temperature for the most important physiological processes of *I. punctatus*. In the channel catfish exposed to cyclic

*Autore per la corrispondenza - Corresponding author: Department of Aquaculture. (CICESE) P.O.Box 434844, San Diego, Ca. 92143-4844, U.S.A. Fax (52-61) 75-05-34.
E-mail: esierra@cicese.mx

temperatures and maintained on the experimental diet "Aqualimentos" (with 45% of protein) the scope for growth was 45% higher, due to a greater rate of food consumption and to a greater efficiency in the utilization of the energy extracted from the diet. There was a decrease in the percentage of energy loss through faeces, used in oxygen consumption, specific dynamic action and excreted as nitrogen products. We recommend that to optimize the culture of *I. punctatus* in Baja California it is necessary to maintain a fluctuating temperature regimen of 23 to 33 °C, a cycle which has an average at the optimum temperature for growth (28 °C), and to feed the fish with a diet with the proximate composition of the experimental diet "Aqualimentos" with 45% of protein content, which can accelerate growth.

Introduction

In the last decades, the commercial cultivation of the channel catfish *Ictalurus punctatus* has been increased. It has great potential for commercial cultivation since it possesses desirable qualities among those, are a good flavor, great diversity of nutritional habits and lack of reproduction in the cultivation ponds (which permits a good control of the population density). It tolerates captivity at high densities, and is adaptable to confinement in different cultivation systems. It tolerates a broad range of temperatures and it has a high nutritional value (Tucker and Robinson, 1990). However, for the successful cultivation of this species, it is useful to perform further studies on genetics, nutrition, reproduction, and optimization of the environmental factors and the control of diseases (Stickney and Lovell, 1977). Bioenergetic studies are a powerful tool for understanding the effect of environmental and nutritional conditions on the growth and the reproduction of aquatic animals (Warren and Davis, 1967; Rice, 1990).

The growth of the organisms can be defined as a change in weight, in nitrogen (protein) or energy level Niimi and Beamish (1974). The majority of investigations on bioenergetics have been laboratory studies using species that are easy to maintain in captivity or which are commercially important. These studies have a central place within the aquaculture investigations, since they permit to estimate the scope for growth of the organisms, by predicting and evaluating the effects of various environmental factors on the allocation of energy for organisms produced in commercial farms (Jobling, 1994). Temperature has great importance for the energetic balance because it affects biochemical and

physiological rates of the fish. Variations of the temperature cause disturbances to the homeostasis of organisms. Tucker and Robinson (1990) note that the temperature in cultivation reservoirs of the channel catfish *I. punctatus* is one of the main factors affecting growth and survival. Generally, the physiological responses in fishes have been measured under regimes of constant temperature. However, diel and seasonal changes of temperature characterize natural aquatic systems. It is necessary to know the effect of these variations on the ecophysiology of the organisms (Cox, 1978). In studies conducted on striped bass (*Morone saxatilis*), sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*), brown trout (*Salmo trutta*) and largemouth bass (*Micropterus salmoides*) it was found that growth was greater in fish exposed to fluctuating temperature rates than in those maintained at constant temperatures (Cox, 1978; Biette and Green, 1980; Cox and Coutant, 1981; Spiragelli *et al.*, 1982; Diana, 1984). This study was carried out to evaluate the effect of two diets with different protein content on the energetic balance of juveniles of *Ictalurus punctatus* exposed to constant and fluctuating temperature regimes. This species was chosen because it is economically important in Baja California.

Material and methods

Animals and their maintenance

Juveniles of *Ictalurus punctatus* of 5-7 cm in standard length were acquired in Rancho Acuicultural Mosqueda, in Baja California; México and they were transported in polyethylene bags to the laboratory. The animals were placed in 1500-L reservoirs with constant aeration and were subjected to treatment with tetracycline to

avoid diseases. They were maintained for a month at a temperature of 28°C, which corresponds to the temperature *final preferendum* determined for this species by Díaz and Bückle (1999). During this phase the fish were fed *ad libitum* with the commercial diet Purina with a protein content of 36%.

Acclimation

Constant temperatures

To evaluate the effect of the constant temperatures of *I. punctatus*, 3,000 fish were separated into three groups and maintained in 1,500-l reservoirs. Each group was acclimated for 30 days at 23, 28 and 33°C with constant aeration and a natural photoperiod of 12/12-h light dark. To establish the 23 and 33 °C, the temperature was reduced and increased at a rate of two degrees per day, from the maintenance temperature of 28 °C.

Fluctuating temperatures

For the fluctuating regime trials, a symmetrical 24-h cycle was established for one thousand five hundred channel catfish, separated into two groups during a month. The fish were maintained in 500-L circular reservoirs that were heated with a 1000 W heater connected to a programmable timer (CHONTROL series XT) to increase water temperature in 5 h from 23 to 33°C, a temperature level that was kept stable for 7 h. Then the temperature of the reservoir was cooled with water a 18°C over a 5 h period to lower the temperature to 23 °C, keeping this temperature level stable for 7 h using a 1000 W heater controlled with a programmable device. The cycle was begun at 04:00 h at 23°C and the heating and cooling water rate in the cycle was 2 °C per hour. This cycle reflects the natural variation present in the geographic zone in which the fish farm of *Ictalurus punctatus* are localized in Baja California.

Feeding

The effects of two diets on the energetic balance were compared in separate groups of catfish maintained at constant temperatures (23, 28 and 33°C) and fluctuating regime. The first diet used was the commercial food "Bagrina" of Purina, with a protein content of 36%. The second diet used in this study was an experi-

Tab. 1 - Proximate composition, of the "Bagrina" Diet (1) and "Aqualimentos" Diet (2), fed to channel catfish *Ictalurus punctatus*.

	Diet 1 (%)	Diet 2 (%)
Protein	36.0	45.0
Carbohydrate	40.9	32.9
Lipid	6.6	8.2
Fibre	4.1	2.0

mental food "Aqualimentos". This diet was formulated by the nutrition group of CICESE, based on the nutrition requirements for the catfish (Stickney and Lovell, 1977) with a protein content of 45% (Tab. 1).

Energy Balance

The effects of environmental (temperature regime) and nutritional factors (diet) were determined in juveniles catfish maintained in constant and fluctuating regimes through the equation of energy balance ($C = R - F + U + P$) (Klekowski and Duncan, 1975). To evaluate the effects of the fluctuating temperatures on the energy budget of *I. punctatus* two experiments were carried out, with animals taken either during the low (23 °C) or the high (33 °C) temperature of the cycle.

To evaluate the ingested food, three trials were carried out for both constant and fluctuating regimes, each one performed with groups of 20 channel catfish, with a body mass of 5-9 g, placed in twenty 25-L aquarium systems with continuous water flow. In this system, the fish were fed once time a day for two hours with the corresponding diet and known excess quantity of food. Any uneaten food was siphoned from the aquarium trough a 70-µm mesh. This food was dried to constant weight (d.w.) in a BLUE M oven at 60°C. The quantity of ingested food (C) by the fish was calculated by the weight difference between the quantity of supplied and uneaten food.

The quantity of faeces (F) was evaluated by collecting them from the aquaria at 24-h intervals and drying them by the same method used for the uneaten food.

The energy content on the food and the faeces were determined using a semi-micro bomb calorimeter (PARR 1425) and expressed in Joules.

each analysis was carried out in triplicate. Oxygen consumption (R), ammonia excretion (U) and the calorogenic effect (SDE) were measured in the channel catfish exposed to the constant temperatures and the fluctuating regime using a semi-open respirometer, provided with 21 chamber flasks of 2,800-ml. In each chamber, one animal was placed 12-h before beginning the measurements. To measure the oxygen consumption and ammonia excretion two initial water samples were taken before stopping the water flow, and two final samples after the chambers had been closed for two hours. Oxygen was measured with an oxymeter (YSI-54) provided with a polarographic sensor and ammonia with an electrode (Fisher) connected to an ion analyzer (ORION EA-940). The routine metabolism (R) of the fish was calculated as the difference between the initial and final concentration of oxygen, and ammonia excretion (U) was calculated by difference between the final and initial concentration. The calorogenic effect of the diet (SDE) was measured by the difference of oxygen consumption of recently fed fish (about 3-4 h after fed, according to Jarboe, 1995) and maintained without supplied food for 48 h. In this respirometric experiment, two chambers were maintained as a control without animals for estimating the oxygen consumption and the ammonia production by microorganisms. Scope for growth (P) of the channel catfish

maintained in constant temperatures and fluctuating regime were calculated by the difference between the energy content in the ingested food (C), and the sum of the energy used in respiration (R), nitrogen excretion (U), losses through faeces (H) and that invested in the specific dynamic effect (S.D.E.).

The oxygen consumption, ammonia excretion and specific dynamic effect were transformed to energy units using specific caloric equivalents: 4.63 J l^{-1} for oxygen and $4.58 \cdot 10^{-3} \text{ J l}^{-1}$ for ammonia excretion (Brett and Groves, 1979).

The median of the data was calculated to describe the energy balance of *Ictalurus punctatus* maintained in constant and fluctuating temperatures. The median of the faeces production, ammonia excretion, the respiratory routine metabolism, the specific dynamic effect and the scope for growth of the juveniles of the channel catfish, were contrasted through the Kruskal-Wallis test (Zar, 1974) to know if the environmental (temperature regime) and nutritional (diet) factors affected the energy balance distribution.

Results

The energy ingested by the channel catfish, acclimated at constant temperature regimes of 23, 28 and 33 °C and fed with the commercial diet "Bagrina" with 36% protein, varied from

Tab. 2 - Energy obtained from the consumed food (C) and its allocation to routine metabolism (R), faeces production (F), nitrogen excretion (U), specific dynamic effect (SDE) and scope for growth (P), by *Ictalurus punctatus* acclimated to constant (23, 28, and 33 °C) and fluctuating (23 to 33 °C) temperatures, and fed with the commercial diet (1) "Bagrina" with 36 % protein content ($\text{J g}^{-1} \text{ day}^{-1}$).

	Constant temperature (°C)			Fluctuating temperature (°C)
	23 (N = 20)	28 (N = 20)	33 (N = 20)	23 - 33 (N = 20)
C	1624.0 (± 16.4) a	3257.0 (± 10.4) c	2573.0 (± 10.6) b	3074.0 (± 6.9) c
R	187.0 (± 12.9) b	118.0 (± 0.3) a	257.0 (± 16.0) c	222.0 (± 1.7) c
F	103.0 (± 0.8) a	318.0 (± 2.7) b	256.0 (± 5.0) b	100.0 (± 3.9) a
U	75.0 (± 2.8) c	11.0 (± 1.6) b	7.5 (± 0.8) a	6.7 (± 0.03) a
SDE	288.0 (± 7.6) b	172.0 (± 2.5) a	531.0 (± 22.8) d	401.8 (± 1.6) c
P	971.0 (± 40.5) a	2638.0 (± 17.5) c	1521.5 (± 55.2) b	2343.5 (± 14.3) c

The values in the same line followed by different letter indicate significant differences ($\mu = 0.05$). Median $\pm$ confidence intervals

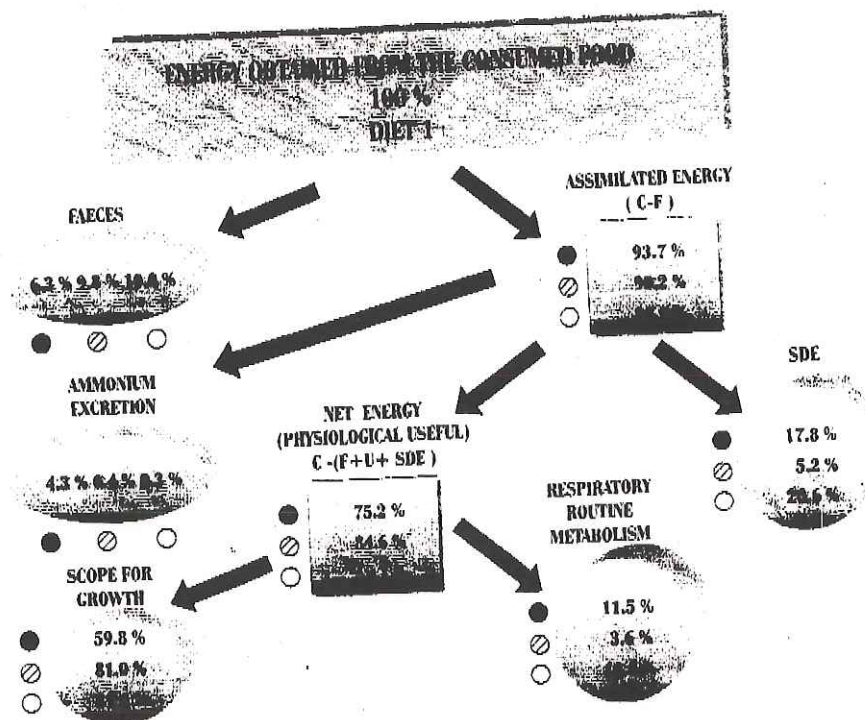


Fig. 1 - Energy budget of *Ictalurus punctatus* juveniles acclimated to 23 (●), 28 (○) and 33 °C (⊙), fed with Purina diet.

1624 to 3257 J g⁻¹ day⁻¹ d.w. At the acclimation temperature of 28 °C (which corresponds to the preferred temperature determined for this species by Díaz and Bückle, 1999), the percentage of energy obtained by the fish from the ingested food was the double with respect to the fish maintained at the acclimation temperature of

23°C, and 27% greater with respect to those exposed to 33 °C (Tab. 2). Significant differences were not observed between the energy ingested by the fish maintained in the fluctuating regime and at the constant temperature of 28°C ($P > 0.05$).

The energy obtained by *Ictalurus punctatus* fed

Tab. 3 - Energy obtained from the consumed food (C) and its allocation to routine metabolism (R), faeces production (F), nitrogen excretion (U), specific dynamic effect (SDE) and scope for growth (P), by *Ictalurus punctatus* acclimated to constant (23, 28 and 33 °C) and fluctuating (23 to 33 °C) temperatures, and fed with the commercial diet (2) "Aqualimentos" with 45 % protein content (J g⁻¹ day⁻¹).

	Constant temperature (°C)			Fluctuating temperature (°C)
	23 (N = 20)	28 (N = 20)	33 (N = 20)	23 - 33 (N = 20)
C	2259.0 (± 20.3) a	5724.0 (± 11.0) c	3498.0 (± 47.0) b	7946.0 (± 90.6) d
R	269.0 (± 6.9) b	222.0 (± 2.8) b	308.0 (± 6.3) c	187.9 (± 6.5) a
F	212.0 (± 1.7) a	315.0 (± 0.8) b	377.0 (± 2.9) c	269.0 (± 5.9) b
U	69.7 (± 0.2) c	11.7 (± 0.7) a	18.4 (± 0.7) b	16.6 (± 0.09) b
SDE	371.0 (± 14.1) a	314.0 (± 3.9) a	488.0 (± 9.8) b	455.0 (± 3.9) b
P	1337.3 (± 43.1) a	4861.3 (± 19.2) c	2306.6 (± 66.8) b	7027.5 (± 106.4) d

The values in the same line followed by different letter indicate significant differences ($\mu = 0.05$). Median ± confidence intervals

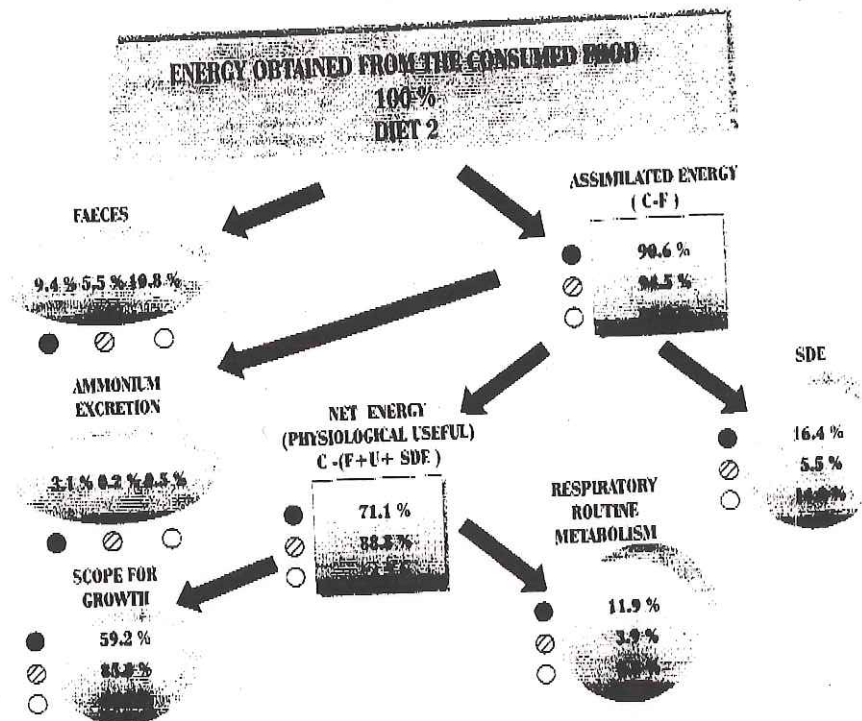


Fig. 2 - Energy budget of *Ictalurus punctatus* juveniles acclimated to 23 (●), 28 (○) and 33 °C (◐), fed with Aqualimentos diet.

with the experimental diet "Aqualimentos" with 45% protein was significantly greater ($P < 0.05$) than that obtained by the fish fed with the commercial diet on both regimes of temperature. At 28°C, the fish obtained a greater quantity of energy ($5724 \text{ J g}^{-1} \text{ day}^{-1}$) from the ingested food. At the acclimation temperatures of 23°C and 33°C, the fish obtained only $2259 \text{ J g}^{-1} \text{ day}^{-1}$, and $3498 \text{ J g}^{-1} \text{ day}^{-1}$, respectively (Tab. 3). In fish acclimated to the fluctuating temperature regime this energy was 3.5, 1.4 and 2.3 higher with respect to that obtained by fish maintained at the constant temperature of 23, 28 and 33°C, respectively.

The percentage of energy lost in faeces increased with an increase in the acclimation temperature from 23 to 28 and 33°C for fish fed with the commercial diet (Fig. 1). The fish fed with the experimental diet and exposed to the temperatures of 23°C and 33°C lost through the faeces 9.4% and 10.8% of the ingested energy. At 28°C this loss (5.5%) was significantly lower ($P < 0.05$) (Fig. 2). In the fluctuating regime the per-

centages of energy not assimilated by the fish and lost through the faeces were not significantly different in the fish fed with both diets (3.2 and 3.4%) (Fig. 3).

As the acclimation temperature increased, the energy lost through ammonia excretion by fish fed with the Purina diet decreased (Fig. 1). In the fish fed with the experimental diet, the losses were $69.7 \text{ J g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ at 23 °C, $11.7 \text{ J g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ at 28°C and $18.4 \text{ J g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ at 33 °C, corresponding to 3.0%, 0.20% and 0.50% of the total ingested energy, respectively (Fig. 2). The percentage of energy that the fish lost in the ammonia excretion was significantly lower in the channel catfish exposed to fluctuating regime with respect to those maintained in constant regimes, on both diets (Fig. 3).

Fish acclimated to 23, 28 and 33°C used 11.5%, 3.6% and 10% of the total energy in routine metabolism on the "Bagrina" diet and 11.9%, 3.9% and 8.8% of diet "Aqualimentos" (Figs. 1 and 2). In the fluctuating regime the energy channeled toward this process was significantly

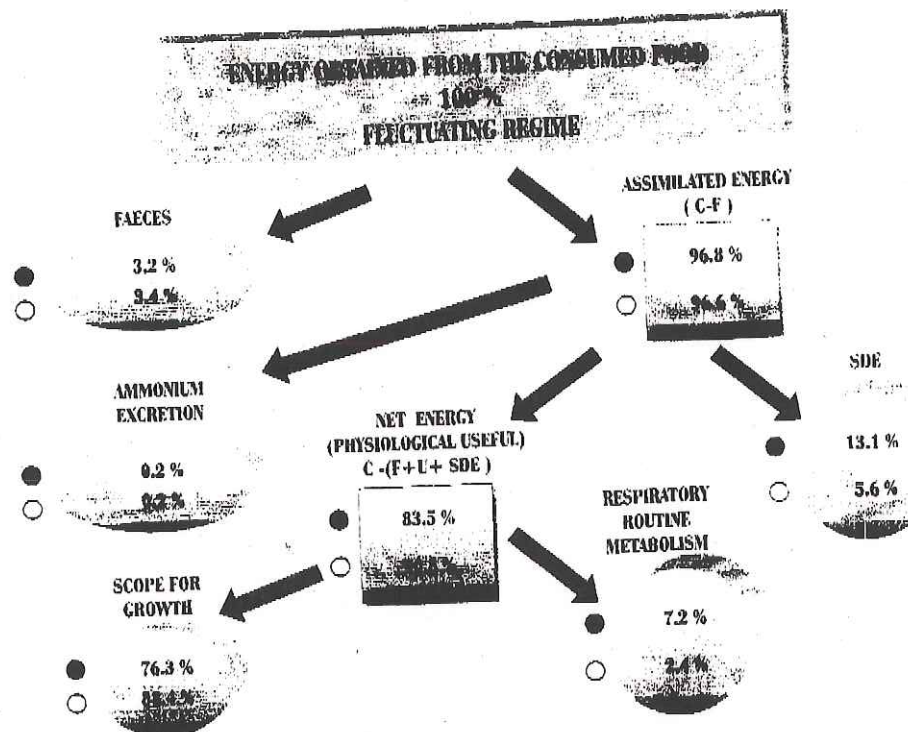


Fig. 3 - Energy budget of *Ictalurus punctatus* juveniles acclimated to fluctuating temperatures (23 to 33 °C), fed with Purina diet (●) and Aqualimentos diet (○).

lower ($P < 0.05$) for fish fed with "Aqualimentos", but not for the fish fed with the commercial diet (Fig. 3).

The specific dynamic effect (SDE) of fish maintained at the constant temperatures of 23, 28 and 33°C and fed with the "Bagrina" diet was 288, 172 and 531 J g⁻¹ day⁻¹. While in fish fed with "Aqualimentos" to values were 371, 314 and 488 J g⁻¹ day⁻¹ respectively (Tab. 2, 3). In this process the percentage of the energy used by the fish acclimated to the fluctuating regime was of 401.8 J g⁻¹ day⁻¹ and 445 J g⁻¹ day⁻¹, for the fish fed with "Bagrina" and "Aqualimentos", respectively (Fig. 3).

The scope for growth of the channel catfish acclimated in constant temperatures was significantly greater at 28°C (2638 J g⁻¹ day⁻¹), compared with that of fish maintained at 23°C and 33 °C (971 J g⁻¹ day⁻¹ and 1521.5 J g⁻¹ day⁻¹ respectively) when they were fed with "Bagrina" (Tab. 2). In the fish fed with "Aqualimentos" and acclimated at 28°C, 4861.3 J g⁻¹ day⁻¹ were channeled toward the scope for growth. A value which is

significantly greater ($P < 0.05$) with respect to that obtained at the acclimation temperatures of 23°C and 33°C (Tab. 3). Fish fed with the experimental diet "Aqualimentos" had higher scopes for growth ($P < 0.05$) compared with fish fed with the commercial diet "Purina" (Tab. 2, 3). When comparing the scope for growth between fish maintained at 28°C and acclimated to the fluctuating temperature regime of 23-33°C, differences were not observed ($P > 0.05$) when they were fed with the "Purina" diet. However, when they were fed with "Aqualimentos", the scope for growth in the fluctuating regime was 45% greater (Fig. 1, 2, 3).

Discussion

The feeding period of *I. punctatus* maintained in the fluctuating temperature regime was carried out during the warm phase of the cycle, nearly out of 26 to 28°C. This facilitated a greater food ingestion and availability of energy to be used in

the different physiological processes of the organisms, particularly in the fish fed with the experimental diet "Aqualimentos". The increase in the ingestion rate in the *Ictalurus punctatus* juveniles maintained in the fluctuating temperature regime is comparable to that described by Spiragelli *et al.* (1982) in *Salmo trutta* and Diana (1984) in *Micropterus salmoides*. This result is in agreement with the bioenergetic hypothesis proposed by Brett (1971), which assumes that the nourishment of fish during the warm period of the cycle increases the capacity to digest and consume more food than feeding during the cold period, because the digestion processes occur more rapidly during the nourishment at warm temperatures.

Beamish (1972) reported that the percentage of nondigested energy rarely exceeds 10% of the total extracted from the ingested food, similar to that obtained in *I. punctatus*. Xie, *et al.* (1997) reported that *Oreochromis niloticus* lost in the faeces, 18.5% of the consumption energy and in the grass carp *Ctenopharyngodon idella* Cui and Liu (1990a) and Cui, *et al.* (1994) obtained a percentage loss of 7.4 to 11.0%. Jobling (1994) notes that the loss can be influenced by factors such as the temperature of the water, the size of the fish, the state of the nourishment and the type and composition of the food.

The energy assimilated represents the difference between the quantity of energy that the fish ingested less the nonassimilated energy lost through faeces. Brett and Groves (1979) reported that the energy assimilation ranges between 40-80% in herbivorous organisms and between 70-95% in carnivorous fish. The absorption efficiency has been related to the nutritional habits of the animals and to the ingestion rate (Jobling, 1994). The percentage of energy assimilated by *I. punctatus* juveniles was greater than 90% for both diets at all the temperature regimens. Channel catfish have been called opportunistic omnivores; that is, they consume a variety of foods, living or dead, plant or animal that possibly permit high percentages in the absorption efficiency.

In *Cyprinus carpio*, Crawshaw (1976) observed that in the animals acclimated at constant temperatures and exposed to an abrupt change of temperature, the respiration rate increased con-

siderably. The quantity of energy that *I. punctatus* employed in routine metabolism was significantly lower in the fluctuating regime. The decrease of the metabolic rate in the animals acclimated to the fluctuating regime suggests that the organisms improved their thermal tolerance as the number of thermal cycles to which they were exposed increased (Cox, 1978). Feldmeth *et al.* (1974) and Cox (1978) note that an increase in the thermal tolerance interval in the fish acclimated to a daily temperature fluctuation, gives to the fish the capacity of compensating simultaneously the metabolic rate for cold as well as warm temperatures. Similar results were obtained in the largemouth bass, *Micropterus salmoides*, acclimated to cyclic temperatures (Diana 1983) and for the crustaceans *Panopeus herbstii* and *Uca pugilator* (Dame and Vernberg, 1978). In the Tahoe sucker, *Catostomus tahoensis*, the metabolic rate of fish maintained in fluctuating regimes was not significantly different from that of fish acclimated at the constant temperatures of 8°C and 13°C, but it was significantly higher than that of animals maintained at 18°C (Vondracek *et al.*, 1982).

Ammonia excretion of fish has been related to the rate of food consumption (Andrews and Page, 1975; Cui *et al.*, 1994; Jarboe, 1995; Jarboe and Grant, 1996; Xie *et al.*, 1997), and to the percentage of protein of the diet (Brett and Groves, 1979). Energy loss in excretion product represents 10% of the energy extracted from the food consumed in *Perca fluviatilis* (Solomon and Brafield, 1972), and 13.6 to 15.1 in *Salmo trutta* (Elliott, 1976). Lower values of 3.6 to 5.9% were obtained in *Cyprinus carpio*, *Carassius auratus*, *Pseudorasbora parva*, *Pseudobagrus fulvidraco*, *Oreochromis mossambicus* and *Macropodus chinensis* (Cui and Liu, 1990a; Cui *et al.*, 1994) and 5.1% in *Phoxinus phoxinus* (Cui and Wootton, 1988). Similar results were obtained in *I. punctatus* juveniles acclimated to 23°C. However, the energy loss in ammonia excretion in the channel catfish acclimated at 28, and 33°C as well as in those acclimated to the fluctuating regime were significantly lower. The lower ammonia production of the channel catfish exposed to constant temperature regimes and in particular in those exposed to the fluctuating regime suggest that only a small portion of the protein content of the

30 11:50 XEROX LIMITED ID-043880517

diet was used to support the energetic demands. Therefore, the majority of the nitrogen of the protein was incorporated in tissue synthesis in *I. punctatus*.

Temperature is the principal factor known to influence the oxygen consumption in fish. This may explain the differences between the high values of energy channeled by the catfish to SDE at 23 and 33°C compared to those observed at 28°C and in the fluctuating regime. These results can be related to the adverse effect of the temperature at which the fish were acclimated.

The magnitude of the specific dynamic effect can be related to different factors, among these are the size of the ration and the nutritional content (Jobling, 1994). In catfish, Jarboe (1995) reported that the oxygen consumption was generally highest in the first 12-h after feeding and returned to pre-feeding levels within a 14-h period, similarly to the results obtained in the present study.

Apparently, the commercial as well as the experimental diet used in this study have a formulation suitable for a good absorption by the catfish. So the low energetic costs in the metabolic rate of feeding explain the lower cost in SDE obtained in this study for *I. punctatus* compared with that reported by Cui *et al.* (1994) for *Ctenopharyngodon idella*.

A greater percentage of energy was channeled for growth by the channel catfish maintained in the constant regime of 28°C. This temperature also corresponds to the preferred temperature for this species and reflects the optimum temperature for the most important physiological processes of *I. punctatus* (Díaz and Bückle, 1999). In the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Kenneth *et al.*, 1977), in the striped bass *Morone saxatilis* (Cox, 1978), in the brown trout *Salmo trutta* (Spiragelli *et al.*, 1982), in the sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (Biette and Geen, 1980) and in *Micropterus salmoides* (Diana, 1984) the scope for growth was significantly greater when the fish were maintained in a fluctuating temperature regime. The increase of the growth of the fish exposed to cyclic temperatures in this study implies, according to Spiragelli *et al.* (1982), Diana (1984) and Cui and Liu (1990b): 1) A greater rate consumption through an increase in the capacity to ingest food and 2)

A greater efficiency in the utilization of energy extracted from the food, which includes a decrease in the percentage of nonassimilated energy and loss through the faeces, utilization in routine respiration, used in SDE and excreted as nitrogen products (ammonia).

The results of the present study allow us to recommend for the optimum cultivation of *Ictalurus punctatus*, preferably sites with regimes of fluctuating temperature, with a cycle of an average near the optimum temperature for growth of this species (28°C). In the last decades, a percentage of 32-35% protein in the diet has been traditionally used and accepted as a standard in industry for the production of the channel catfish. However, from the results obtained for fish fed with the diet "Aqualimentos", the use of food with the proximate composition of this diet is recommended since the channel catfish has the ability to assimilate relatively high protein levels in the diet, which can accelerate its growth (Robinson and Li, 1997).

Acknowledgements

This work was supported by the Federal Government of México, through regular funding for the Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), and through the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) grant 1882P - B9507.

Bibliografía - References

- ANDREWS J.W. & PAGE J.W. (1975). The effect of frequency of feeding on culture of catfish. *Trans. Am. Fish. Soc.* 104: 317-321.
- BIETTE J.R. & GEEN G.H. (1980). Growth of underyearling sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* under constant and cyclic temperatures in relation to live zooplankton ration size. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 203-210.
- BEAMISH F.W.H. (1972). Ration size and digestion in largemouth bass, *Micropterus salmoides* Lacepede. *Can. J. Zool.* 50: 153-164.

- BRETT J.R. (1971). Energy responses of salmon to temperature. A study some thermal relations in the physiology and freshwater ecology of sockeye salmon. *Am. Zool.* 11: 99-113.
- BRETT J.R. & GROVES T.D.D. (1979). Physiological energetics In: *Fish Physiology: Bioenergetics and Growth*, (W.S. Hoar, D.J. Randall & J.R. Brett, eds.), Vol VIII, Academic Press, New York, pp. 280-334.
- COX D.K. (1978). Acclimation states of juvenile striped bass held in constant and fluctuating temperature regimes. In: *Energy and Environmental Stress in Aquatic Systems*, (J.H. Thorp, & J.W. Gibbons, eds.), Technical Information Center, U.S Department of Energy, pp. 703-713
- COX D.K. & COUTANT C.C. (1981). Growth dynamics of juvenile striped bass as functions of temperature and ration. *Trans. Am. Fish. Soc.* 110: 226-238.
- CRAWSHAW L.I. (1976). Effect of rapid temperature change on mean body temperature and gill ventilation in carp. *Am. J. Physiol.* 231: 837-841.
- CUI Y. & WOOTTON R.J. (1988). Effects of ration, temperature and body size on body composition, energy content and condition of the minnow *Phoxinus phoxinus* (L.). *J. Fish Biol.* 32: 749-764.
- CUI Y. & LIU J. (1990a). Comparison of energy budget among six teleosts I. Food consumption, fecal production and nitrogen excretion. *Comp. Biochem. Physiol.* 96A: 163-171.
- CUI Y. & LIU J. (1990b). Comparison of energy budget among six teleosts-III. Growth rate and energy budget. *Comp. Biochem. Physiol.* 97A: 381-384.
- CUI Y., CHEN S. & WANG S. (1994). Effect of ration size on the growth and energy budget of the grass carp *Ctenopharyngodon idella* Val. *Aquaculture* 123: 95-107.
- DAME R.F. & VERNBERG F.J. (1978). The influence of constant and cyclic acclimation temperatures on the metabolic rates of *Panopeus herbstii* and *Uca pugnator*. *Biol. Bull.* 154: 188-197.
- DIANA S.J. (1983). Oxygen consumption by largemouth bass under constant and fluctuating thermal regimes. *Can. J. Zool.* 61: 1892-1895.
- DIANA S.J. (1984) The growth of largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacepede), under constant and fluctuating temperatures. *J. Fish Biol.* 24: 165-172.
- DIAZ F. & BÜCKLE L.F. (1999). Effect of the critical thermal maximum on the preferred temperatures of *Ictalurus punctatus* exposed to constant and fluctuating temperatures. *J. Therm. Biol.* 24: 155-160.
- ELLIOTT J.M. (1976). Energy losses in the waste of products of brown trout (*Salmo trutta* L.) *J. Anim. Ecol.* 45: 923-948.
- FELDMETH C.R., STONE A.E. & BROWN H.J. (1974). An increased scope for thermal tolerance upon acclimating pupfish (*Cyprinodon nevadensis amargosae*) to cycling temperatures. *J. Comp. Physiol.* 89: 39-44.
- JARBOE H.H. (1995). Diet dissolved oxygen consumption and total ammonia nitrogen production by fingerling channel catfish following feeding at different times. *Progn. Fish-Cult.* 57: 156-160.
- JARBOE H.H. & GRANT W.J. (1996). Effects of feeding time and frequency on growth of channel catfish *Ictalurus punctatus* in closed recirculating raceway system. *J. World Aquacult. Soc.* 27: 235-239.
- JOBLING M. (1994). *Fish Bioenergetics*. Chapman and Hal. London, pp. 309.
- KENNETH K.E.F., KLEINER C.F. & THOR-

- SLUND T.W. (1977). Effects of constant temperatures and diel temperature fluctuations on specific growth and mortality rates and yield of juvenile rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Fish. Res. Board Can.* 34: 639-648.
- KLEKOWSKI K.R. & DUNCAN A. (1975). Physiological approach to ecological energetics. In: *Methods for Ecological Bioenergetics*, (W.R.Z. Grodzinski, K.R. Klekowski & A. Duncan, eds.), Blackwell Science, Oxford, pp 15 - 56
- NIIMI A.J. & BEAMISH F.W.H. (1974). Bioenergetics and growth of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in relation to body weight and temperature. *Can. J. Zool.* 52: 447-456.
- RICE A.J. (1990). Bioenergetics modeling approaches to evaluation of stress in fishes. In: *Biological Indicators of Stress in Fish*, (S.M. Adams, ed.), American Fisheries Symposium 8, Maryland, pp 80-92.
- ROBINSON H.E. & LI H.M. (1997). Low protein diets for channel catfish *Ictalurus punctatus* raised in earthen ponds at high density. *J. World Aquacult. Soc.* 28: 224-229.
- SOLOMON D.J. & BRAFIELD A.E. (1972). The energetics of feeding, metabolism and growth of perch (*Perca fluviatilis* L.). *J. Anim. Ecol.* 41: 699-718.
- SPIRAGELLI S.A., THOMMES M.M. & PREPEJCHAL W. (1982). Feeding, growth and fat deposition by brown trout in constant and fluctuating temperatures. *Trans. Am. Fish. Soc.* 111: 199 - 209.
- STICKNEY R.R. & LOVELL R.T. (1977). Nutrition and Feeding of channel catfish. *Southern Cooperative Series Bulletin* No.218, pp 60.
- TUCKER A.G.J. & ROBINSON E. H. (1990). *Channel Catfish Farming Handbook*. Chapman and Hall, New York, 454 pp.
- VONDRACEK B., CECI J.J.JR. & LOGAN NECKER D. (1982). Effect of cycling and constant temperatures on the respiratory metabolism of Tahoe sucker, *Catostomus tahoensis* (Pisces: Catostomidae). *Comp. Biochem. Physiol.* 73A: 11-14
- WARREN C.E. & DAVIS G.E. (1967). Laboratory studies on the feeding, bioenergetics and growth of fish. In: *The Biological Basis of Freshwater Fish Production*, (S.D. Gerking, ed.), Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 175-213
- XIE S., CUI Y., YANG Y. & LIU J. (1997). Effect of body size on growth and energy budget of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*. 157: 25-34.
- ZAR J.H. (1974) *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 619 pp.