

## EVALUACIÓN DE LA RESTRICCIÓN ALIMENTICIA SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y FISIOLÓGICO EN JUVENILES DE CACHAMA BLANCA, *Piaractus brachypomus*, EN CONDICIONES DE LABORATORIO

L. Rodríguez<sup>1</sup>\*, M. A. Landines<sup>1</sup>

Artículo recibido: 5 de octubre de 2011; aprobado: 2 de diciembre de 2011

### RESUMEN

El objetivo general del trabajo fue evaluar el efecto de la restricción de alimento sobre el desempeño productivo y fisiológico de juveniles de cachama blanca y sobre su contenido muscular de proteína y energía. En cuanto al diseño experimental, este fue completamente al azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, cada una con cuatro individuos. Se seleccionaron 64 individuos con  $58,40 \pm 6,56$  g de peso (P) y  $14,65 \pm 0,75$  cm de longitud total (LT), distribuidos aleatoriamente en 16 acuarios y sometidos durante ocho semanas a los siguientes tratamientos: de control (T0): alimentación diaria; tratamiento 1 (T1): un día de ayuno y uno de alimentación; tratamiento 2 (T2): tres días de ayuno y dos días de alimentación, y tratamiento 3 (T3): dos días de ayuno y tres de alimentación. Se utilizó alimento de 35% de proteína, suministrado al 3% de la biomasa total dos veces al día. Al culminar el periodo experimental, los animales experimentales se anestesiaron y se les tomaron muestras de sangre para evaluar diferentes parámetros metabólicos y hormonales. Posteriormente, se sacrificaron, pesaron y midieron; luego, se pesaron sus vísceras y una porción de músculo blanco se obtuvo para determinar el contenido de proteína y energía.

Al final del ensayo, se calculó la sobrevivencia. Luego, de acuerdo con los resultados, se concluyó que no hubo diferencias significativas en la mayoría de los parámetros analizados, por lo que se infiere que los juveniles de cachama blanca son capaces de adaptarse metabólicamente a la carencia parcial de alimento y optimizar la respuesta en su desempeño.

**Palabras clave:** ayuno, cachama blanca, crecimiento compensatorio, *Piaractus brachypomus*, restricción alimenticia.

## LABORATORY EVALUATION OF FOOD RESTRICTION ON THE PRODUCTIVE AND PHYSIOLOGICAL PERFORMANCE OF CACHAMA BLANCA JUVENILES *Piaractus brachypomus*

### ABSTRACT

The general purpose of this experiment was to evaluate the effect of food restriction on the productive and physiological performance of Cachama Blanca juveniles and on the

<sup>1</sup> Grupo de Investigación Fisiología de Peces, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

\* Autor para correspondencia: lrodriguezv@unal.edu.co

content of protein and energy in their muscles. 64 animals, with an average weight (P) of  $58.40 \pm 6.56$  g and  $14.65 \pm 0.75$  cm of Total Length (LT), were divided at random in 16 tanks. During eight weeks the animals received the following treatments: daily feeding; treatment 1 (T1): one day of fasting followed by one day of feeding; treatment 2 (T2): three days of fasting and two days of feeding; and treatment 3 (T3): two days of fasting and three days of feeding. Food containing 35% protein, at 3% of the total biomass was supplied twice a day. At the end of the experimental period the animals were anaesthetized and blood samples were taken in order to evaluate different metabolic and hormonal parameters. Later, the animals were sacrificed, weighted and measured. The viscera, liver and a portion of white tissue were used in order to determine protein and energy. The experimental design was done completely at random with three treatments and four repetitions, each done with four animals. At the end of the experiment, survival rate was calculated. The results did not show significant differences in most of the parameters analyzed.

It was concluded that the juveniles of Cachama Blanca are capable of adapting metabolically to the partial lack of food and of optimizing their performance response.

**Key words:** Fasting, Cachama Blanca, compensational growth, *Piaractus brachyomus*, food restriction.

## INTRODUCCIÓN

Diversas investigaciones han demostrado que la tasa de crecimiento de los peces depende básicamente de la composición química de la ración, lo mismo que de la cantidad de alimento que se ofrezca y de la frecuencia con que se suministre (Houlihan et ál. 2001). La restricción en términos de cantidad de suministro de alimento es una buena herramienta que puede utilizarse en campo, como estrategia para optimizar el sistema productivo, ya que la modificación de las raciones, desde el punto de vista económico, podría determinar un incremento o sobrecostos en el ciclo productivo.

Aunque la limitación total o parcial de alimento parecería ir en contra de las necesidades y los requerimientos propios de un animal, especialmente cuando se encuentra en la fase de crecimiento, se sabe que en estado natural los peces afrontan situaciones de ayuno por diferentes causas (Rodríguez 2005; Urbinati

et ál. 2003). De tal manera que bien se puede crear una estrategia de ayuno-realimentación, en la que se rete al sistema biológico para que los especímenes expresen su potencial genético y presenten óptimos parámetros productivos, aun cuando se haya disminuido la oferta alimenticia.

El propósito principal de aplicar este tipo de estrategias que incluyen la alternancia de periodos de ayuno con alimentación es desencadenar respuestas fisiológicas como la movilización de nutrientes y el crecimiento compensatorio, el cual es expresado como crecimiento significativamente más rápido con respecto a individuos que no han experimentado restricción. Algunos investigadores han determinado que el crecimiento compensatorio también se puede presentar cuando se alternan periodos de restricción con los de realimentación (Souza et ál. 2003).

Por ejemplo, en peces tropicales, Jiménez (2005) concluyó que juveniles

de *Brycon cephalus* no limitaron su crecimiento bajo diferentes esquemas de alimentación no continua. Souza et ál. (2000) demostraron que en ejemplares de *Piaractus mesopotamicus*, sometidos a restricción y posterior realimentación, no hubo daños en los tejidos de los animales y que presentaron crecimiento compensatorio, aunque su metabolismo se vio afectado durante el periodo de ayuno. En la misma especie, Gonçalves (2001) concluyó que es posible utilizar varias alternativas de restricción de alimento sin afectar el desempeño productivo de los animales; sin embargo, las variables medioambientales sí tienen gran influencia en su desempeño. Adicionalmente, Souza et al. (2003) observaron en ejemplares de pacú una respuesta de crecimiento compensada de los juveniles, los cuales se sometieron a varios ciclos de restricción-realimentación, en los tratamientos con respecto al grupo control.

El estudio y el entendimiento de todos los procesos implícitos en el crecimiento de los peces que sean sometidos a un proyecto productivo pueden llevar a desarrollar estrategias alimenticias que permitan hacerle una moderada exigencia biológica al ecosistema, mantener el bienestar de la especie que se cultive y al mismo tiempo disminuir los costos del alimento que se suministre. En ese sentido, el objetivo general del trabajo fue evaluar el efecto de los ciclos de ayuno-realimentación sobre el crecimiento, metabolismo y perfil hormonal de juveniles de cachama blanca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

El experimento se realizó en la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia

de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (FMVZ-UN). Los análisis de química sanguínea y de hormonas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Fisiología de Peces, con excepción de los lípidos totales en sangre, cuya determinación se efectuó en el Laboratorio de Toxicología Acuática y los análisis de carcasa y del alimento que se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal. Por su parte, los análisis de la energía fueron efectuados en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de La Salle.

### Material experimental y tratamientos

Se utilizaron 64 juveniles de *Piaractus brachypomus* de  $58,40 \pm 6,56$  g de peso y  $14,65 \pm 0,75$  cm de longitud total (LT), los cuales se dividieron aleatoriamente en 16 acuarios de 90 l a una densidad de 4 individuos por acuario (16 por tratamiento) y se sometieron a los siguientes tratamientos:

- Tratamiento 1 (T1): 1 día de alimentación, 1 día de ayuno
- Tratamiento 2 (T2): 2 días de alimentación, 3 días de ayuno
- Tratamiento 3 (T3): 3 días de alimentación, 2 días de ayuno

Tratamiento control: alimentación todos los días

El experimento tuvo una duración de ocho semanas, tiempo durante el cual se suministró el alimento (según el tratamiento) al 3% de la biomasa, distribuido dos veces al día. La composición del alimento utilizado se presenta en la tabla 1.

**TABLA 1.** Análisis proximal del alimento utilizado.

Materia seca (%)	Proteína cruda (%)	Extracto etéreo (%)	Cenizas (%)	Fibra cruda (%)
90,11	35,4	3,51	4,53	3,71

### **Muestras y análisis de muestras**

Al culminar las ocho semanas de experimentación, los animales fueron capturados y anestesiados individualmente, utilizando benzocaína a razón de 75 ppm, para tomar muestras de sangre (1,5 ml) por punción en la vena caudal con jeringas con anticoagulante EDTA. Una alícuota de 100 µl se utilizó para la determinación de hemoglobina por colorimetría utilizando kit comercial Drabkin Spinreact®. Posteriormente, se llenó un tubo capilar para determinación del hematocrito, mediante centrifugación en microcentrífuga a 2500 x g durante 5 minutos. La sangre restante se conservó a 4°C, se centrifugó en una centrífuga refrigerada a 2000 x g durante 10 minutos para separación del plasma, el cual se dividió en tres alícuotas e inmediatamente fue congelado a -20°C para posteriores análisis.

Después de la colecta de sangre, los animales experimentales se sacrificaron, pesaron y midieron; luego se les retiraron y pesaron las vísceras y la grasa visceral. Posteriormente, se les retiró una porción de músculo blanco y fue conservada en congelación para ser secados por liofilización, para así efectuar el análisis de proteína (AOAC 1984). Adicionalmente, se realizó el análisis de energía de las carcasas con utilización de una bomba calorimétrica.

En el plasma fueron determinados los siguientes parámetros:

- Glucosa (kit comercial colorimétrico Trinder GOD-POD Spinreact®)

- Lípidos totales (kit comercial colorimétrico Sulfo-fosfo vainillina Spinreact®)
- Proteína total (kit comercial colorimétrico Biuret Spinreact®)
- Lactato (kit comercial enzimático LO-POD Spinreact®)
- Triglicéridos (kit comercial enzimático GPO-POD Spinreact®)
- Colesterol (kit comercial enzimático CHOD-POD Spinreact®)

Todos los análisis se realizaron utilizando un equipo analizador de química sanguínea (Stat Fax 3300, Awareness Technology Inc.®).

Las otras alícuotas de plasma se destinaron para la determinación de las siguientes hormonas:

- Insulina (kit 10-1600 ACTIVE Insulin, Diagnostic Systems Laboratories, Inc.®)
- T<sub>3</sub> (kit 10-3100S ACTIVE Total T<sub>3</sub> EIA, Diagnostic Systems Laboratories, Inc.®)
- IGF-1 (DSL-10-2800 ACTIVE Non-Extraction IGF-I, Diagnostic Systems Laboratories, Inc.®)
- Cortisol (DSL-10-2000 ACTIVE Cortisol EIA, Diagnostic Systems Laboratories, Inc.®)

Dicha determinación se realizó mediante la técnica de Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA), utilizando un equipo Stat Fax® 303 + Microstrip Reader Awareness Technology Inc.®.

Con los valores de peso y longitud de los animales y de peso de sus vísceras se calcularon los siguientes parámetros:

- Ganancia de peso:  
 $GP = \text{peso final (g)} - \text{peso inicial (g)}$
- Tasa de crecimiento específico:  
 $TCE = [(\text{Ln peso final} - \text{Ln peso inicial})/\text{tiempo}]100$
- Crecimiento relativo:  
 $CR = (\text{peso final} - \text{peso inicial}/\text{peso inicial}) * 100$
- Factor de condición:  
 $K = \text{peso}/\text{longitud}^3$
- Índice viscerosomático:  
 $IVS = 100 * [\text{peso de las vísceras (g)}/\text{peso corporal (g)}]$
- Índice hepatosomático:  
 $IHS = 100[\text{peso del hígado (g)}/\text{peso corporal (g)}]$

Adicionalmente, se calculó la sobrevivencia, de acuerdo con la siguiente expresión:

- Sobrevivencia:  
 $SOB = 100 * (\# \text{ de individuos finales}/\# \text{ de individuos iniciales})$

**Diseño experimental y análisis de resultados**

El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, cada una de 4 peces. Para verificar si existían diferencias entre los tratamientos se realizaron análisis de varian-

za (ANAVA) con los datos obtenidos para cada parámetro estudiado y en los casos en los que se encontraron diferencias significativas las medias fueron comparadas mediante una prueba de Tukey (5%). A las variables P, LT, LE y K se les aplicó un análisis de covarianza (ANCOVA), con el fin de ajustar una posible influencia de los valores iniciales en la respuesta final. Los análisis se realizaron con el programa estadístico SAS® v. 9.1.

**RESULTADOS**

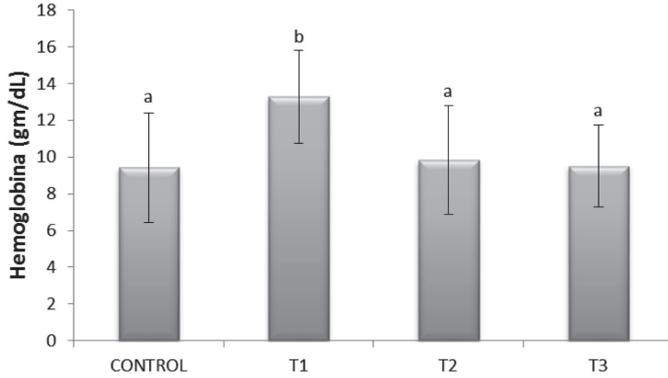
**Química sanguínea**

Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para glucosa, lípidos totales, proteína total plasmática y triglicéridos (tabla 2). Sin embargo, sí las hubo ( $p < 0,05$ ) en la hemoglobina (figura 1) y el hematocrito (figura 2), parámetros en los cuales T1 presentó los mayores valores:  $13,28 \pm 2,53 \text{ g/dL}$  y  $37,68 \pm 1,32\%$ , respectivamente. Por otro lado, el lactato y el colesterol presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el grupo control y los grupos tratados; en el primer caso, el mayor valor se obtuvo en el grupo control, mientras que en el caso del colesterol, el grupo control presentó el valor más bajo.

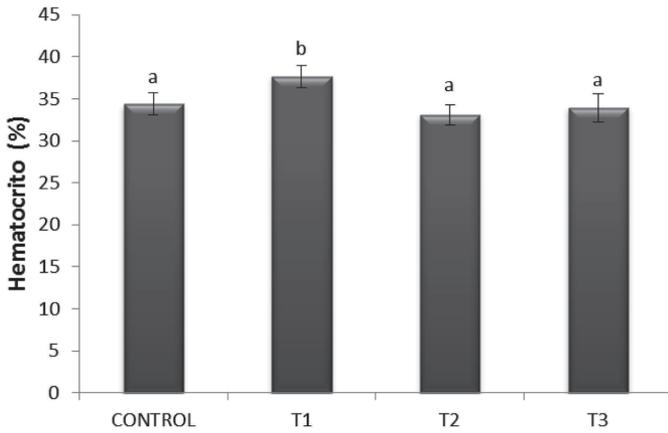
**TABLA 2.** Valores medios  $\pm$  desviación estándar de glucosa, proteína total, lípidos totales y triglicéridos en juveniles de cachama blanca sometidos a restricción alimenticia.

Tratamiento	Glucosa (mmol/L)	Proteína (g/L)	Lípidos totales (mg/dL)	Triglicéridos (mg/dL)
Control	4,84 $\pm$ 0,46	3,10 $\pm$ 0,14	1081,30 $\pm$ 53,73	196,92 $\pm$ 49,85
T1	4,67 $\pm$ 0,79	3,26 $\pm$ 0,80	1425,00 $\pm$ 66,84	218,60 $\pm$ 76,97
T2	4,51 $\pm$ 0,35	3,09 $\pm$ 0,30	1256,54 $\pm$ 53,27	209,57 $\pm$ 53,27
T3	4,68 $\pm$ 0,31	3,24 $\pm$ 0,32	1346,78 $\pm$ 63,30	215,89 $\pm$ 63,30

n = 16 en cada variable



**FIGURA 1.** Valores medios  $\pm$  desviación estándar de hemoglobina en juveniles de cachama blanca sometidos a restricción alimenticia. Barras con letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) ( $n = 16$ ).



**FIGURA 2.** Valores medios  $\pm$  desviación estándar de hematocrito en juveniles de cachama blanca sometidos a restricción alimenticia. Barras con letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) ( $n = 16$ ).

**Perfil hormonal**

Los resultados de insulina, cortisol,  $T_3$  e IGF-1 se presentan en la tabla 3, en la que se puede observar que no hubo di-

ferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en ninguna de ellas ni entre ninguno de los tratamientos, incluso en el grupo control.

**TABLA 3.** Valores medios  $\pm$  desviación estándar de insulina, cortisol,  $T_3$  e IGF-1 en juveniles de cachama blanca sometidos a restricción alimenticia.

Tratamiento	Insulina (mg/dL)	Cortisol ( $\mu$ g/dL)	$T_3$ (ng/dL)	IGF-1 (ng/dL)
Control	67,50 $\pm$ 4,30	18,00 $\pm$ 1,64	45,57 $\pm$ 2,05	34,25 $\pm$ 1,67
T1	70,30 $\pm$ 3,40	20,34 $\pm$ 1,58	42,34 $\pm$ 2,58	32,33 $\pm$ 1,54
T2	65,40 $\pm$ 5,70	21,54 $\pm$ 1,52	46,14 $\pm$ 2,27	35,28 $\pm$ 1,30
T3	69,00 $\pm$ 1,60	19,90 $\pm$ 1,10	45,23 $\pm$ 2,13	34,30 $\pm$ 1,32

n = 16 en cada variable

**Parámetros productivos e índices**

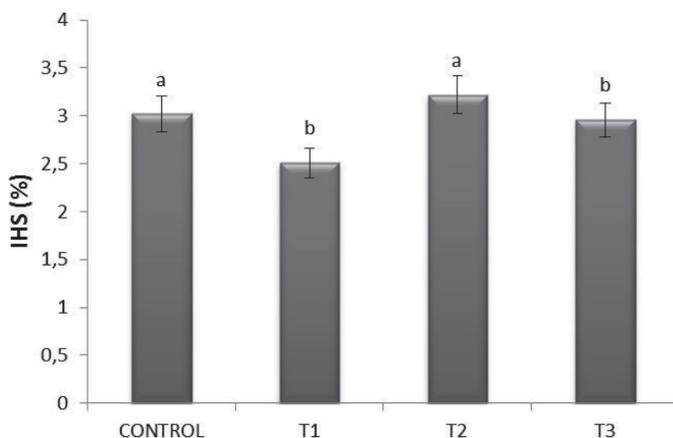
No se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para GP, CR, K e IVS (tabla 4); no obstante, sí hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en IHS (fi-

gura 3), en el que T1 presentó el menor valor, y en TCE (figura 4), cuyo valor fue significativamente ( $p < 0,05$ ) inferior en T3. La supervivencia fue del 100% en todos los tratamientos.

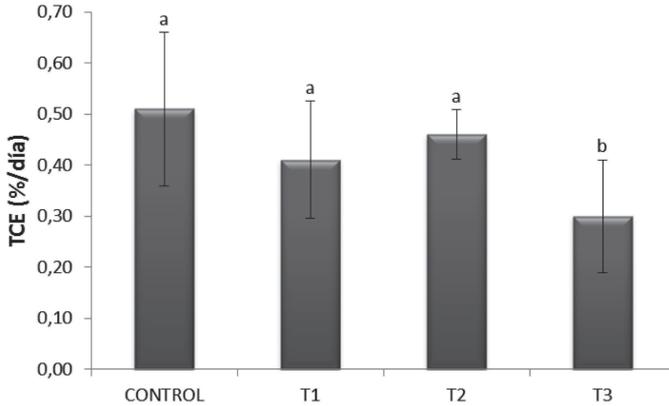
**TABLA 4.** Valores medios  $\pm$  desviación estándar de GP, CR, K, IGTV e IVS para juveniles de cachama blanca sometidos a restricción alimenticia.

Tratamiento	GP (g)	CR (%)	K	IVS (%)	IGV (%)
Control	20,62 $\pm$ 4,64	22,10 $\pm$ 3,05	1,36 $\pm$ 0,03	9,89 $\pm$ 0,43	1,09 $\pm$ 0,03
T1	17,60 $\pm$ 3,58	19,70 $\pm$ 3,58	1,32 $\pm$ 0,09	9,52 $\pm$ 1,34	1,02 $\pm$ 0,05
T2	18,31 $\pm$ 3,52	18,99 $\pm$ 3,27	1,44 $\pm$ 0,05	9,47 $\pm$ 1,57	0,98 $\pm$ 0,05
T3	19,80 $\pm$ 3,10	18,82 $\pm$ 3,30	1,36 $\pm$ 0,10	9,89 $\pm$ 1,06	1,03 $\pm$ 0,10

n = 16 en cada variable



**FIGURA 3.** Valores medios de desviación estándar de IHS en juveniles de cachama blanca sometidos a restricción alimenticia. Barras con letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) (n = 16).



**FIGURA 4.** Valores medios  $\pm$  desviación estándar de TCE en juveniles de cachama blanca sometidos a restricción alimenticia. Barras con letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) ( $n = 16$ ).

**Proteína y energía del filete**

En ninguno de los dos parámetros hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos (tabla 5).

**TABLA 5.** Valores medios  $\pm$  desviación estándar de proteína cruda y energía bruta en el músculo de juveniles de cachama blanca sometidos a restricción alimenticia.

Tratamiento	Proteína cruda (%)	Energía bruta (cal/g)
Control	76,60 $\pm$ 1,02	4678,38 $\pm$ 212,50
T1	74,90 $\pm$ 0,98	4783,84 $\pm$ 188,29
T2	72,30 $\pm$ 1,23	4579,78 $\pm$ 198,31
T3	74,64 $\pm$ 1,00	4413,10 $\pm$ 178,00

$n = 16$  en cada variable

**DISCUSIÓN**

Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para triglicéridos, lípidos totales, glucosa y proteína total plasmática. Los valores de

triglicéridos y lípidos totales encontrados fueron superiores a los presentados para *Piaractus mesopotamicus* por Almeida et ál. (2009) y para otras especies de peces tropicales por Sutharshiny y Sivasanthini (2011). En cuanto a la glucosa se encontraron valores levemente superiores a los de *P. mesopotamicus*, mientras que para proteínas totales los niveles fueron menores que para dicha especie (Almeida et ál. 2009).

En el caso de los triglicéridos y los lípidos totales, se esperaría que se presentaran disminuciones drásticas cuando los animales se sometieran a restricción de alimento (Pérez-Jiménez et ál. 2007), debido a que la primera fuente energética a la que el pez acude es a la de origen lipídico. No obstante, probablemente los tratamientos planteados no fueron tan drásticos para ocasionar una movilización notoria de tales componentes. Lo más probable entonces es que los peces de laboratorio hayan acudido a otra fuente de energía (diferente a los lípidos), lo cual, aunque poco usual, puede presentarse en algunas especies (Echevarría

et ál. 1997). Tal resultado se evidenció en los valores de colesterol (otra fuente energética de origen lipídico), en los que sorprendentemente se observó que en todos los grupos tratados se evidenciaron valores significativamente superiores a los del grupo control, hecho que podría sugerir que en los animales sometidos a restricción se presentó una elevada producción endógena (de origen hepático), mientras que en aquellos que recibieron alimento constante (control) se obtuvo el colesterol del alimento suministrado (Engelhardt 2006), manteniéndolo en niveles normales y estables, sin necesidad de acudir a reservas. Sin embargo, este resultado es contrario al esperado y permite suponer que la fuente energética utilizada ante la falta de alimento, fuese entonces la glucosa, la cual, sin embargo, no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, aunque los valores numéricos fueron inferiores en todos los grupos tratados al ser comparados con el de control, lo que permitiría suponer que la vía metabólica que los peces utilizaron para ajustarse a la restricción probablemente fue la vía del glucógeno; componente que infortunadamente no fue determinado en este ensayo.

No obstante lo anterior, varios autores han reportado que animales sometidos a restricción de alimento presentan incremento de lípidos totales, triglicéridos y colesterol cuando son sometidos a realimentación (Figueiredo-Garutti et ál. 2002); situación que explicaría parcialmente los resultados hallados en el estudio, pues el muestreo se realizó solamente el último día del ensayo y no en periodos intermedios que tal vez hubiesen permitido entender mejor el metabolismo energético y la utilización de energía proveniente de fuentes lipídicas

por parte de los animales. Cabe anotar que en animales con restricciones de tipo cualitativo (menor calidad de alimento) se han reportado valores superiores en los componentes lipídicos, que en aquellos que reciben alimento de mejor calidad (Pérez-Jiménez et ál. 2007).

Respecto a la proteína plasmática, los resultados difieren de los encontrados por Hung et ál. (1997) y Pottinger et ál. (2003), quienes consideran que se deberían encontrar disminuciones importantes en los animales restringidos, pues estarían utilizando la proteína para suplir sus necesidades energéticas ante la ausencia de alimento. No obstante, como se mencionó, aparentemente la vía energética que los peces utilizaron fue otra y el nivel de proteína fue preservado a lo largo del ensayo, lo que se corrobora también en los resultados presentados por Power et ál. (2000), quienes afirman que los niveles de proteínas plasmáticas se deben mantener estables aun en periodos de restricción de alimento.

En el caso del lactato se presentaron diferencias significativas entre los tres grupos restringidos al compararlos con el grupo control, lo cual explicaría una de las vías metabólicas que utilizaron los animales experimentales para soportar la restricción de alimento, debido a que en los peces la regulación del uso del lactato se lleva a cabo a nivel del cerebro dependiendo, entre otros aspectos, del régimen alimenticio del animal, haciendo que el lactato pueda ser utilizado como fuente de energía en situaciones de ausencia de alimento (Soengas et ál. 1998; Soengas y Aldegunde, 2002). La disminución marcada en los animales de los grupos restringidos puede significar que el ajuste metabólico de los animales ante la falta de alimento se realizó por la vía del

lactato, tal como ocurre en otras especies sometidas a restricción alimenticia (Blasco et ál. 1992; Hemre et ál. 1990; Soengas et ál. 1996). La reducción de la concentración sérica de lactato podría estar relacionada con la mayor demanda de sustratos energéticos a nivel hepático (para la síntesis de glucosa), lo que explicaría la no existencia de diferencias significativas en los niveles de glucosa circulantes y corroboraría también aún más el hecho de que el glucógeno hepático tuvo participación importante en el proceso fisiológico de ajuste a la restricción.

En cuanto al hematocrito y la hemoglobina, se encontraron valores superiores a los reportados para *Piaractus mesopotamicus* (Almeida et ál. 2009) y en ambos parámetros hubo diferencias significativas, observándose los mayores valores en el T1. Este resultado pareciera estar asociado más a una condición específica de los animales al momento de la colecta de sangre que a un efecto directo de la restricción, pues en los grupos sometidos a mayor restricción no se presentaron diferencias respecto al control. De manera teórica, los dos parámetros deberían aumentar ante condiciones adversas como mecanismo para mejorar la captación de oxígeno en la sangre y mantener así la homeostasis de los animales, sin embargo, los demás parámetros evaluados demuestran que tal condición estaba siendo preservada; motivo que justifica aún más el hecho de que los resultados encontrados sean aislados y que puedan deberse a oscilaciones propias de la especie, las cuales pueden provenir de diferentes causas como por ejemplo mayor volumen de los eritrocitos (Lagardère et ál. 1998). En el caso del hematocrito, el resultado se podría soportar en la teoría de Cho (2005), en la que se refiere que

dicha variable no siempre está asociada a la restricción de alimento, lo cual dificulta la interpretación de su lectura en experimentos que utilicen tal proceso. Sin embargo, a pesar de la aparente falta de conexión entre este parámetro y el proceso de restricción, es importante señalar que en varias especies se utiliza como indicativo importante de la respuesta fisiológica ante condiciones de falta de alimento (Abdel-Tawwab et ál. 2006; Gillis y Ballantyne 1996; Rios et ál. 2005); motivo por el cual no se puede descartar entonces, su utilización como indicador fisiológico importante. Respecto a la hemoglobina, el resultado encontrado en T1 concuerda parcialmente con el presentado por Rios et ál. (2005), quienes señalan que la hemoglobina aumenta con la restricción. No obstante, dicha situación solo se verificó en uno de los grupos restringidos, por lo que el nivel de hemoglobina se asoció más a las variaciones propias del hematocrito, ya que los valores de estas dos variables, en todos los casos y en todos los animales, tienen relación estrecha y directa.

A nivel hormonal, no se encontraron diferencias significativas entre ningún tratamiento para ninguno de los parámetros evaluados (insulina, cortisol,  $T_3$  e IGF-1), lo que corrobora una vez más que los animales lograron un ajuste en su metabolismo para soportar la condición de falta de alimento. En el caso de la insulina, los resultados son similares a los presentados por Figueiredo-Garutti et ál. (2002), quienes al someter también a alimentación y ayuno a juveniles de *Brycon cephalus*, pudieron regular el equilibrio de la insulina circulante, manteniéndola en niveles normales. Según Murat et ál. (1981), tal situación guardaría relación directa con el nivel

de glucosa y de proteínas plasmáticas (que tampoco presentaron diferencias). No obstante, se esperaba que los niveles estuvieran disminuidos en los grupos restringidos (Larsen et ál. 2001; Silverstein y Plisetskaya 2000) y solo aumentarían cuando la alimentación se restableciera (Thorpe e Ince 1976); hecho que comprueba una vez más que el periodo de ayuno no fue lo suficientemente prolongado para desencadenar tal proceso.

Respecto al IGF-1, a pesar de que se ha reportado su disminución como consecuencia de la restricción de alimento (Montserrat et ál. 2007), los valores normales se restituyen durante la realimentación, y se observa correlación directa con el crecimiento de los peces y, principalmente, con el crecimiento compensatorio expresado durante la fase de realimentación; lo cual concuerda con los resultados en los que los valores de IGF-1 fueron normales y sin diferencias significativas al final de la fase experimental, tal como lo reportan Imsland et ál. (2008). Sin embargo, en otros estudios se han reportado elevaciones en los niveles de IGF-1 en peces sometidos a ayuno (Small et ál. 2002; Sumpter et ál. 1991) o drásticas disminuciones (Uchida et ál. 2003), puesto que tales resultados indicarían que la liberación de IGF-1 estaría mediada por múltiples factores y que no necesariamente la disponibilidad de alimento es la que determinaría su nivel. Con relación a la T3, es de esperarse un descenso significativo en su nivel ocasionado por la restricción alimenticia, con subsecuente normalidad cuando la realimentación aparece (Gaylord y Gatlin III 2001). En este estudio, los niveles se encontraron normales y sin diferencias, debido probablemente a que no hubo un periodo de realimentación propiamente

dicho, sino que los ciclos de ayuno y alimentación fueron aplicados de manera continua y alternada, facilitando al pez el ajuste fisiológico necesario para afrontar tal evento.

En lo referente al cortisol, como indicador de estrés, se podría afirmar que aparentemente la restricción de alimento de la manera como se planteó no ocasionó estrés a los animales experimentales, ya que ellos se adaptaron fisiológicamente a la falta de alimento, al realizar los ajustes metabólicos que el proceso implica. Entre dichos ajustes, los peces fueron capaces de disminuir su demanda energética, uno de cuyos mediadores es el cortisol (Takei y Loretz 2006). A pesar de no haberse verificado cambios en el cortisol circulante en el presente ensayo, en algunos casos se han reportado disminuciones importantes (Small 2005) como mecanismo adaptativo de las especies y en otros, elevaciones marcadas en sus niveles como respuesta al estrés generado por la falta de alimento (Barcellos et ál. 2010), el cual solo se supera cuando las condiciones de alimentación retornan a la normalidad.

En cuanto a los parámetros productivos, no se encontraron diferencias significativas para GP, CR, K e IVS, lo que indica que los animales fueron capaces de presentar crecimiento compensatorio. No obstante, su expresión fue parcial, lo cual difiere de los resultados de Zhu et ál. (2005), en *Leiocassis longirostris*, especie en la que su compensación fue completa. Al respecto, varios autores mencionan que para que la compensación sea total los periodos de restricción deben ser más prolongados y perfectamente diferenciados de los periodos de realimentación, durante los cuales las tasas de crecimiento serán mayores y se

alcanzará el crecimiento compensatorio completo, tal como ha sido comprobado en varias especies de peces (Qian et ál. 2000; Rueda et ál. 1998; Tian y Qin, 2003), en las cuales la restricción se lleva a cabo de manera completa durante mínimo tres semanas. Los resultados aquí encontrados son similares a los de Reigh et ál. (2006) en juveniles de *Ictalurus punctatus*, cuya ganancia de peso y factor de condición fueron similares entre animales alimentados y restringidos, pero el peso final de estos últimos fue menor, como consecuencia de que la tasa de crecimiento específico en uno de los grupos de animales restringidos fue más baja, tal como ocurrió en el presente ensayo en T3, en el que la TCE fue significativamente menor a la de los demás grupos; situación que estaría en contraposición de la presentada por Ali et ál. (2003), en la que las TCE son mayores en animales que se han sometido a ayuno. Autores como Reigh et ál. (2006) ya habían demostrado que no siempre sucede de esa manera, al comprobar que la TCE de animales ayunados presenta valores significativamente menores con respecto a animales que reciben alimento y que los animales restringidos no son capaces de alcanzar el peso corporal de los animales alimentados a saciedad. Sin embargo, Young et ál. (2005) reportaron una tasa de crecimiento acelerada en juveniles de *Salmo salar*, en los cuales la TCE fue significativamente mayor, permitiendo así a los animales alcanzar un tamaño igual al de los peces que no se sometieron a restricción.

En las especies que exhiben crecimiento compensatorio completo y acelerado, generalmente se acude a todas las fuentes energéticas disponibles por el organismo, principalmente a aquellas a

nivel hepático, y es así por lo que en ocasiones se pueden encontrar diferencias importantes en el IHS, tal como ocurrió en el T1, en el cual hubo un IHS significativamente menor, probablemente como consecuencia del ajuste metabólico que realizaron los peces para mantener la homeostasis durante el ayuno (Echevarría et ál. 1997). Sin embargo, este hecho no se presentó en los demás grupos tratados, lo que desvirtuaría tal afirmación; además, los resultados se podrían explicar mejor de acuerdo con Nikki et ál. (2004), quienes al tratar *Oncorhynchus mykiss*, afirmaron que el IHS no tiene variación a pesar del régimen de alimentación ofrecido.

Por último, con relación a la proteína y energía en músculo, los resultados tampoco revelaron diferencias significativas al final del experimento, lo cual concuerda con lo planteado por Zhu et ál. (2005), en *Leiocassis longirostris*, quienes demostraron que no hubo diferencias significativas para proteína y energía en músculo en animales sometidos a restricción alimenticia. Tal situación se debe fundamentalmente a que la aplicación de la restricción no fue prolongada y los peces experimentales no necesitaron movilizar grandes reservas energéticas ni de proteína para mantenerse (Echevarría et ál. 1997; Méndez y Wieser 1993). Situación contraria ocurriría si los animales se sometieran a ayunos completos y prolongados. Por ejemplo, en peces tropicales, Riaño (2011) encontró en *Piaractus brachypomus* en la fase final de engorde que la restricción alimenticia severa produce una alta movilización de reservas con el fin de cubrir la demanda energética. Adicionalmente, Riaño et ál. (2011) determinaron que la restricción de alimento no causó deterioro de la calidad final del producto en *Piaractus brachypomus*.

## CONCLUSIONES

Con el desarrollo de esta investigación, se pudo concluir que los juveniles de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) son capaces de mantener su homeostasis aun en condiciones de privación de alimento, debido a que no exhibieron ningún cambio hormonal importante derivado de la carencia parcial de alimento. De otro lado, se podría creer que el ajuste fisiológico más importante para mantener el metabolismo energético intacto ante la falta de alimento es la vía de degradación del lactato. Por último, en términos de proteína y energía, la restricción alimenticia no afecta la composición del músculo.

## REFERENCIAS

1. Abdel-Tawwab M, Khattab Y, Ahmad M, Shalaby A. 2006. Compensatory Growth, Feed Utilization, Whole-Body Composition, and Hematological Changes in Starved Juvenile Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *J Appl Aquaculture*. 18(3): 17-36.
2. Ali M, Nicieza A, Wootton RJ. 2003. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish and Fisheries*. 4: 147-190.
3. AOAC Internacional. 1984. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14th ed. Virginia, USA: Arlington. 336 p.
4. Barcellos LJG, Marqueze A, Trapp M, Quevedo RM, Ferreira D. 2010. The effects of fasting on cortisol, blood glucose and liver and muscle glycogen in dault jundiá *Rhamdia quelen*. *Aquaculture*. 300(1-4): 231-236.
5. Blasco J, Fernández J, Gutiérrez J. 1992. Fasting and refeeding in Carp, *Cyprinus carpio* L.: the mobilization of reserves and plasma metabolite and hormone variations. *J Comp Physiol*. 162B(6): 539-546.
6. Cho SH. 2005. Compensatory Growth of Juvenile Flounder *Paralichthys olivaceus* L. and Changes in Biochemical Composition and Body Condition Indices during Starvation and after Refeeding in Winter Season. *J World Aquacult Soc*. 36(4): 508-514.
7. De Almeida AJ, Yuji R, Possebon JE. 2009. Growth and haematology of pacu, *Piaractus mesopotamicus*, fed diets with varying protein to energy ratio. *Aquac Res*. 40(4): 486-495.
8. Echevarría G, Martínez-Bebíá M, Zamora S. 1997. Evolution of Biometric Indices and Plasma Metabolites During Prolonged starvation in European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*, L). *Comp Biochem Phys*. 118A(1): 111-123.
9. Engelhardt W, Breves G. 2005. Fisiología veterinaria. Zaragoza, España: Editorial Acribia. 683 p.
10. Figueiredo-Garutti ML, Navarro I, Capilla E, Souza RHS, Moraes G, Gutiérrez J, Vicentini-Paulino MLM. 2002. Metabolic changes in *Brycon cephalus* (Teleostei, Characidae) during post-feeding and fasting. *Comp Biochem Phys*. 132(2): 467-476.
11. Gaylord TG, Gatlin III DM. 2001. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*. 194(3-4): 337-348.
12. Gillis TE, Ballantyne JS. 1996. The effects of starvation on plasma free amino acid and glucose concentrations in lake sturgeon. *J Fish Biol*. 49(6): 1306—1316.
13. Gonçalves F. 2001. Metabolismo energético e desempenho produtivo em juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*), submetidos a jejum e realimentação com dietas contendo diferentes níveis de carboidrato e proteína. [Dissertação defendida de Mestrado]. [Jaboticabal, Estado de São Paulo, Brasil]: UNESP.
14. Hemre G-I, Lie O, Lambertsen G, Sundby A. 1990. Dietary carbohydrate utilization in cod (*Gadus morhua*). Hormonal response of insulin, glucagon and glucagon-like peptide to diet and starvation. *Comp Biochem Physiol*. 97A(1): 41-44.
15. Houlihan D, Boujard T, Jobling M, editores. 2001. Food Intake in Fish. Ames (IA): Iowa State University Press Ltd. 40 p.
16. Hung S, Liu W, Li H, Storebakken T, Cui Y. 1997. Effect of starvation on some morpho-

- logical and biochemical parameters in white sturgeon, *Acipenser transmontanus*. Aquaculture. 151(1-4): 357-363.
17. Imsland AK, Foss A, Roth B, Stefansson SO, Vikingstad E, Pedersen S, Sandvik T, Norberg B. 2008. Plasma insulin-like growth factor-I concentrations and growth in juvenile halibut (*Hippoglossus hippoglossus*): Effects of photoperiods and feeding regimes. Comp Biochem Physiol. 151A(1): 66-70.
  18. Jiménez S. 2005. Efectos de la restricción alimenticia en el desempeño productivo y metabólico de juveniles de Matrinxá, *Brycon cephalus*. [Trabajo de grado]. [Bogotá, Colombia]: Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia.
  19. Lagardère JP, Bégout ML, Claireaux G, editors. 1998. Advances in Invertebrates and Fish Telemetry (Developments in Hydrobiology). Dordrecht (NL): Kluwer Academic Publishers. 363 p.
  20. Larsen DA, Beckman BR, Dickhoff WW. 2001. The effect of low temperature and fasting during the winter on metabolic stores and endocrine physiology (insulin, insulin-like growth factor-I, and thyroxine) of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. Gen Comp Endocrinol. 123(3): 308-323.
  21. Méndez G, Wieser W. 1993. Metabolic responses to food deprivation and refeeding in juveniles of *Rutilus rutilus* (Teleostei: Cyprinidae). Environ Biol Fishes. 36(1): 73-81.
  22. Montserrat N, Sánchez-Gurmaches J, García de la Serrana D, Navarro MI, Gutiérrez J. 2007. IGF-I binding and receptor signal transduction in primary cell culture of muscle cells of gilthead sea bream: changes throughout in vitro development. Cell and Tissue Research. 330(3): 503-513.
  23. Murat JC, Plisetskaya EM, Woo NYS. 1981. Endocrine control of nutrition in cyclostomes and fish. Comp Biochem Physiol. 68A(2): 149-158.
  24. Nikki J, Pirhonen J, Jobling M, Karjalainen J. 2004. Compensatory growth in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), held individually. Aquaculture. 235(1-4): 285-296.
  25. Pérez-Jiménez A, Guedes MJ, Morales AE, Oliva-Teles A. 2007. Metabolic responses to short starvation and refeeding in *Dicentrarchus labrax*. Effect of dietary composition. Aquaculture. 265(1-4): 325-335.
  26. Pottinger TG, Rand-Weaver M, Sumpter JP. 2003. Overwinter fasting and re-feeding in rainbow trout: plasma growth hormone and cortisol levels in relation to energy mobilization. Comp Biochem Physiol. 136B(3): 403-417.
  27. Power DM, Melo J, Santos CRA. 2000. The effect of food deprivation and refeeding on the liver, thyroid hormones and transthyretin in sea bream. J Fish Biol. 56(2): 374-387.
  28. Qian X, Cui Y, Xiong B, Yang Y. 2000. Compensatory growth, feed utilization and activity in gibel carp, following feed deprivation. J Fish Biol. 56(1): 228-232.
  29. Reigh RC, Williams MB, Jacob BJ. 2006. Influence of repetitive periods of fasting and satiation feeding on growth and production characteristics of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. Aquaculture. 254(1-4): 506-516
  30. Riaño FY. 2011. Metabolismo energético y crecimiento compensatorio en juveniles de cachama blanca *Piaractus brachyomus* (Cuvier, 1818) sometidos a periodos de restricción alimenticia y realimentación durante la fase final de engorde. [Tesis de Maestría en Ciencias, Producción Animal]. Universidad Nacional de Colombia. 126 p.
  31. Riaño FY, Landines, MA, Díaz GJ. 2011. Efecto de la restricción alimenticia y la realimentación sobre la composición del músculo blanco de *Piaractus brachyomus*. Rev. Med. Vet. Zoot. 58(2): 84-98.
  32. Rios FS, Oba ET, Fernandes MN, Kalinin AL, Rantin FT. 2005. Erythrocyte senescence and haematological changes induced by starvation in the neotropical fish traíra, *Hoplias malabaricus* (Characiformes, Erythrinidae). Comp Biochem Physiol. 140(3): 281-287.
  33. Rodríguez L. 2005. Contribución al estudio de la biología de la arawana *Osteoglossum bicirrhosum*. [Trabajo de grado]. [Bogotá, Colombia]: Facultad de Medicina Veterinaria

- y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia.
34. Rueda FM, Martínez FJ, Zamora S, Kentouri M, Divanach P. 1998. Effect of fasting and refeeding on growth and body composition of red porgy, *Pagrus pagrus* L. *Aquac Res.* 29(6): 447-452.
  35. Silverstein JT, Plisetskaya EM. 2000. The Effects of NPY and Insulin on Food Intake Regulation in Fish. *Am Zool.* 40(2): 296-308.
  36. Small BC. 2005. Effect of fasting on nycthemeral concentrations of plasma growth hormone (GH), insulin-like growth factor I (IGF-I), and cortisol in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Comp Biochem Physiol.* 142B(2): 217-223.
  37. Small BC, Soares Jr JH, Woods LC, Dahl GE. 2002. Effect of Fasting on Pituitary Growth Hormone Expression and Circulating Growth Hormone Levels in Striped Bass. *N Am J Aquacult.* 64(4): 278-283.
  38. Soengas JL, Aldegunde M. 2002. Energy metabolism of fish brain. *Comp Biochem Physiol.* 131B(3): 271-296.
  39. Soengas JL, Strong EF, Andrés MD. 1998. Glucose, lactate, and beta-hydroxybutyrate utilization by rainbow trout brain: changes during food deprivation. *Physiol Zool.* 71(3): 285-293.
  40. Soengas JL, Strong EF, Fuentes J, Veira JAR, Andrés MD. 1996. Food deprivation and refeeding in Atlantic salmon, *Salmo salar*: effects on brain and liver carbohydrate and ketone bodies metabolism. *Fish Physiol Biochem.* 15(6): 491-511.
  41. Souza VL, Oliviera EG, Urbinati EC. 2000. Effects of Food Restriction and Refeeding on Energy Stores and Growth of Pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Characidae). *J Aqua Trop.* 15(4): 371-37980.
  42. Souza VL, Urbinati EC, Geraldo MI, Silva PC. 2003. Avaliação do Crescimento e do Custo da Alimentação do Pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) Submetido a Ciclos Alternados de Restrição Alimentar e Realimentação. *R Bras Zootec.* 32(1): 19-28.
  43. Sumpster JP, Le Bail PY, Pickering AD, Pottinger TG, Carragher JF. 1991. The effect of starvation on growth and plasma growth hormone concentrations of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Gen Comp Endocrinol.* 83(1): 94-102.
  44. Sutharshiny S, Sivashanthini K. 2011. Total Lipid and Cholesterol Content in the Flesh of the Five Important Commercial Fishes From Waters Around Jaffna Peninsula, Sri Lanka. *Int J Biol Chem.* 5(2): 161-169.
  45. Takei Y, Loretz CA. 2006. *Endocrinology*. En: Evans DH, Claiborne JB, editores. *The Physiology of Fishes*. 3a ed. Boca Raton (FL): CRC Press. 601 p.
  46. Thorpe A, Ince BW. 1976. Plasma insulin levels in teleosts determined by a charcoal-separation radioimmunoassay technique. *Gen Comp Endocrinol.* 30(3): 332-339.
  47. Tian X, Qin JG. 2003. A single phase of food deprivation provoked compensatory growth in barramundi *Lates calcarifer*. *Aquaculture.* 224(1-4): 169-179.
  48. Uchida K, Kajimura S, Riley LG, Hirano T, Aida K, Grau EG. 2003. Effects of fasting on growth hormone/insuline-like growth factor I axis in the tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Comp Biochem Physiol.* 134A(2): 429-439.
  49. Urbinati EC, Sanabria AI, da Silva AC, Carvalho EG, Souza VL, Gonçalves FD. 2003. Manejo Alimentar e Reprodução em Peixes. En: *Memorias IV Seminario Internacional de Acuicultura*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
  50. Young A, Morris PC, Huntingford FA, Sinnott R. The effects of diet, feeding regime and catch-up growth on flesh quality attributes of large (1 + sea winter) Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture.* 248(1-4): 59-73.
  51. Zhu X, Xie S, Lei W, Cui Y, Yang Y, Wootton RJ. 2005. Compensatory growth in the Chinese longsnout Catfish, *Leiocassis longirostris* Following feed deprivation: Temporal patterns in growth, nutrient deposition, feed intake and body composition. *Aquaculture.* 248(1-4): 307-314.