

Evaluación de la restricción alimenticia sobre el crecimiento compensatorio en alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*)

*Assessment of Feed Restriction on Compensatory Growth in Pacu Fingerlings (*Piaractus brachypomus*)*

ASTRID MARCELA MALPICA RAMÍREZ

Zootecnista, Universidad de La Salle, Colombia
astridma105@hotmail.com

JUAN ANTONIO RAMÍREZ MERLANO

Profesional en Acuicultura, MSc., Universidad de Los Llanos, Colombia
juanantonioramirez.merlano@gmail.com

ALEXANDER TORRES TABARES

Zootecnista, Esp., MSc., Universidad de Los Llanos, Colombia
alexander.torres@unillanos.edu.co

RESUMEN

El crecimiento compensatorio (CC) es un desarrollo rápido provocado por la hiperfagia alimenticia luego de un periodo de restricción. A fin de evaluarlo en alevinos de cachama blanca, se emplearon 4559 con peso promedio $17,4 \pm 6,1$ g y talla de $7,8 \pm 1,1$ cm, mantenidos a una densidad de 0,6 peces/m², y se analizaron cinco protocolos de restricción: T1: control (alimentación diaria), T2: una semana de restricción y realimentación, T3: dos semanas de restricción y realimentación, T4: tres semanas de restricción y realimentación y T5: cuatro semanas de restricción y realimentación. En la mayoría de los parámetros productivos evaluados, tasa específica de crecimiento (TEC), ganancia de peso (GP), factor de condición (K) y sobrevivencia (%S) no se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0,05$). Sin embargo, el factor de conversión relativo (FCR) en el T3 (3,69) presentó diferencias $p \leq 0,05$ respecto a los demás tratamientos evaluados. Asimismo, el índice hepatosomático (IHS) (T4: $0,25 \pm 0,02$ y T5: $0,22 \pm 0,02$) e índice viscerosomático (IVS) (T4: $1,4 \pm 0,02$ y T5: $1,3 \pm 0,027$) presentaron diferencias estadísticas en relación con el grupo control, el cual disminuyó respecto al aumento en el ayuno. Los costos de producción se redujeron al disminuir la cantidad de concentrado suministrado durante la fase experimental. Se infiere que los alevinos de cachama blanca tuvieron un crecimiento parcial: alcanzaron el peso del grupo control, mas no lo superaron. Implementar este sistema puede beneficiar económicamente al productor y contribuir con la conservación de los cuerpos de agua.

RECIBIDO: 25/08/2013. APROBADO: 24/03/2014

— Cómo citar este artículo: Malpica Ramírez, A. M., Ramírez Merlano, J. A. y Torres Tabares, A. (2014). Evaluación de la restricción alimenticia sobre el crecimiento compensatorio en alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). *Revista Ciencia Animal* (7), 59-74.

Palabras clave: ayuno, cachama, parámetros productivos, crecimiento compensatorio.

ABSTRACT

Compensatory growth is an accelerated growth triggered by hyperphagia after a period of restriction. To evaluate it in Pacu fingerlings, 4559 of them with an average weight of 17.4 ± 6.1 g and 7.8 ± 1.1 cm in size were used, kept at a density of 0.6 fish/m², and five restriction protocols were analyzed: T1: (daily feeding) control, T2: one week of restriction and re-feeding, T3: two weeks of restriction and re-feeding, T4: three weeks of restriction and re-feeding, and T5: four weeks of restriction and re-feeding. No statistically significant differences ($p \geq 0.05$) were found in most of the evaluated productive parameters, specific growth rate (SGR), weight gain (WG), condition factor (k) and percent survival (%S). However, the relative conversion factor (RCF) in T3 (3.69) showed differences $p \leq 0.05$ compared to the other evaluated treatments. Likewise, the hepatosomatic index (T4: 0.25 ± 0.02 and T5: 0.22 ± 0.02) and viscerosomatic index (T4: 1.4 ± 0.02 and T5: 1.3 ± 0.027) showed statistical differences regarding the control group, which decreased compared to the increase in fasting. Production costs were reduced by decreasing the amount of feed supplied during the experimental phase. It is inferred that the Pacu fingerlings had a partial growth: they reached the weight of the control group but did not exceed it. Implementing this system can economically benefit the producer and contribute to the preservation of water bodies.

Keywords: Fasting, pacu, production parameters, compensatory growth.

Introducción

La alimentación es uno de los pilares fundamentales dentro de cualquier producción pecuaria, pues constituye el 70% de los gastos (Espinal *et al.*, 2005); la piscicultura no es ajena a este panorama. Sin embargo, es una de las pocas producciones que puede sobrevivir a restricciones prolongadas de alimento y recuperar o superar el peso de individuos que se alimentan constantemente. Esta es una de las características adaptativas de los peces ante las fluctuaciones de alimento en ambientes naturales.

Con el fin de hacer sistemas piscícolas más productivos y eficientes, se han

planteado diferentes alternativas, como disminuir los ingredientes de alto valor en la ración a través de la sustitución con materias primas económicas como las de origen vegetal que no comprometan el crecimiento de los animales (Da Silva, 2006). Otra de las alternativas ampliamente estudiada durante los últimos años es la estimulación de una fase de Crecimiento Compensatorio (CC) luego de un periodo de restricción alimenticia. Estas nuevas técnicas de manejo y metodologías mejoran el rendimiento durante el crecimiento y la eficiencia de utilización del alimento.

El CC ha sido definido por varios autores como una fase de rápido crecimiento

cuando las condiciones favorables son restauradas después de condiciones subóptimas como periodo de privación de alimento (Turano *et al.*, 2007), disminución de temperatura (Nicieza y Metcalfe, 1997), condiciones de hipoxia (Foss e Imsland, 2002) y exposición a agentes tóxicos. En un cultivo piscícola, los individuos expuestos a un periodo de ayuno sufren una reducción en el crecimiento y probablemente se encuentren en desventaja respecto de aquellos peces que tienen una alimentación continua. El CC proporciona a los peces una respuesta para contrarrestar la falta de alimento y minimiza, de alguna manera, los efectos adversos provocados por periodos de restricción alimenticia.

La importancia del CC radica en que, por lo general, la velocidad de crecimiento durante la fase de compensación es superior o igual a la de aquellos individuos que han estado alimentándose constantemente, lo que permite que los tamaños de los peces subalimentados puedan alcanzar una compensación total o parcial. Muchas especies de peces responden a ciertos periodos de restricción de alimento con el subsecuente aumento del consumo de la ración, conversión alimenticia y tasa de crecimiento (Ali *et al.*, 2003). Sin embargo, los resultados en muchos estudios han sido inconsistentes y otros han reportado limitada capacidad de CC (Schwarz *et al.*, 1985).

Se han descrito varias hipótesis en las cuales estos fenómenos son atribuidos a cambios fisiológicos y metabólicos que tienen lugar en respuesta a la restricción de alimento: reducción drástica de la masa visceral y tamaño de órganos; cambios en la glucosa plasmática y ácidos grasos libres, en los índices de ADN y ARN, de hormonas tiroideas y de proteasas digestivas, entre otros. Para la existencia de la recuperación del peso, el periodo de ayuno se basa en factores como la edad del animal, el estado nutricional, la temperatura y el peso, con periodos mínimo y máximo de ayuno y de realimentación para que se produzca el CC. En los peces, este crecimiento es muy activo durante la primera fase de vida, y disminuye al alcanzar un peso determinado (Elliot y Hurley, 1995; García-García, 1994).

Es importante iniciar investigaciones de este tipo en especies de peces nativas como la cachama blanca (*Piaractus brachipomus*) donde podamos obtener respuestas de su CC para poder incorporarlas a procesos productivos, mejorar la eficiencia de los cultivos acuícolas y así obtener reducciones considerables en los costos de producción. De esta manera, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar tres periodos de restricción alimenticia sobre la respuesta del CC en alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachipomus*).

Materiales y métodos

Los experimentos se llevaron a cabo en la Estación Piscícola del Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos (IALL) a 7 km de la ciudad de Villavicencio, Meta, a una altura de 420 msnm, temperatura promedio 27 °C, humedad relativa del 75 % y precipitación pluvial de 5062 mm anual (Instituto Agustín Codazzi).

Fueron empleados 4559 alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachyomus*) clínicamente sanos, con pesos corporales $17,4 \pm 6,1$ g y talla de $7,8 \pm 1,1$ cm, obtenidos de un mismo desove por medio de reproducción artificial; se realizó una fase de aclimatación por un periodo de dos semanas. Los peces fueron mantenidos en quince estanques en tierra con un área de 500 m² y profundidad de 1,5 m. Se mantuvieron a una densidad de 0,6 peces/m²; ocho días previos a la siembra de los alevinos, los estanques fueron desinfectados con cal viva en una proporción de 100 g/m² y fertilizaron con triple 15 (NPK) 30 g/m².

El agua que se utilizó para los bioensayos fue obtenida de un pozo profundo de la Estación Piscícola del IALL. Semanalmente se midieron los parámetros físico-químicos del agua, como temperatura (C°), oxígeno disuelto (ppm), pH, salinidad (ppt), conductividad eléctrica (µS/cm) por medio de una sonda multipa-

ramétrica YSI MPS 556; de igual modo, se determinó la dureza y la alcalinidad (ppm) por medio de un kit de calidad de aguas (Aquamerck, Merck).

Se realizaron cinco tratamientos con tres réplicas, cada uno así: T1: grupo control (alimentación diaria), T2: restricción alimenticia durante una semana, T3: restricción alimenticia durante dos semanas, T4: restricción alimenticia durante tres semanas, T5: restricción alimenticia durante cuatro semanas. El experimento se desarrolló durante un periodo de sesenta días. Los peces fueron alimentados a saciedad aparente cuatro veces al día con concentrado comercial en pellet con el 30 % de proteína a razón del 4 % de la biomasa total (tabla 1).

Tabla 1. Composición aproximada de la dieta suministrada en alevinos de cachama expuestos a diferentes tiempos de restricción alimenticia

Ítem	Porcentaje
Humedad (máx.)	12
Proteína (mín.)	30
Grasa (mín.)	6
Fibra (máx.)	8
Cenizas (máx.)	12

Fuente: Finca S. A.

Se realizaron muestreos semanales del 10 % de la biomasa, donde los peces fueron dispuestos en piletas circulares, posteriormente fueron pesados mediante una balanza Ohaus Traveler y me-

didos por medio de un ictiómetro. Se determinó para cada tratamiento: factor de conversión relativo ($FCR = \text{alimento consumido/ganancia de peso}$), tasa de crecimiento específica ($TCE = [(Ln \text{ peso final} - Ln \text{ peso inicial}/\text{tiempo}) \times 100]$), ganancia de peso diario ($IPD = \text{peso final} - \text{peso inicial}/\text{tiempo}$), factor de condición ($K = \text{peso}/\text{longitud}^3 \times 100$), sobrevivencia al final de la experiencia (%S) $SOB = [\# \text{ de individuos finales}/\# \text{ de individuos iniciales}] \times 100$.

Finalizado el tiempo de restricción alimenticia correspondiente a cada tratamiento, se tomaron 10 peces, los cuales fueron tranquilizados al sumergirlos en una solución de eugenol (50 mg/l), hasta su pérdida del eje de nado. Posteriormente, se insensibilizaron mediante corte medular y se realizó una incisión en la región ventral para hacer un examen macroscópico de los órganos in situ; luego, se procedió con la extracción del hígado y las vísceras, siguiendo la técnica de Reimschuessel (1988) para determinar el índice hepatosomático (IHS) = $(\text{peso del hígado}/\text{peso del animal}) \times 100$ y viscerosomático (IVS) = $(\text{peso de las vísceras}/\text{peso del animal}) \times 100$.

Se estimaron los costos de producción (semilla, insumos, alimento, mano de obra), los ingresos y la utilidad que se podría obtener al aprovechar el CC de alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachipomus*).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron expresados como media $\pm$ error estándar (SEM). Se realizó un diseño completamente al azar, cada uno con tres réplicas, donde se consideró cada estanque como la unidad experimental y cada pez como unidad de muestreo. Se evaluó el efecto de las restricciones alimenticias sobre el aumento de peso, tasa específica de crecimiento, conversión alimenticia, factor de condición y sobrevivencia. Se realizó un test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y de homogeneidad (Bartlett) de los datos con los cuales se determinó que no cumplían con los supuestos. Por tanto, con el fin de evaluar la interacción de cada factor y el efecto de cada tratamiento, se empleó un análisis factorial con los datos transformados en ranks, seguido de un test de comparación de medias de Tukey-Kramer. En todos los casos, un valor de $p < 0,05$ reveló diferencias significativas. Para el análisis estadístico, se empleó el *software* estadístico SAS versión 9.2 para Windows (2002-2008 por SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Resultados y discusión

Factor de conversión

Este factor es muy importante en las evaluaciones productivas debido a que nos permite establecer la cantidad de alimento consumido para ganar una unidad de

peso. Los peces expuestos a restricción alimenticia consumieron menor cantidad de alimento que el grupo control. Asimismo, podemos observar que la conversión alimenticia fue mayor en los tratamientos que fueron restringidos con respecto al grupo control. T1 (1,08) fue la conversión más alta para los tratamientos sometidos a dos semanas de restricción ($3,69 \pm 1,5$) (tabla 2). Los peces de los tratamientos T4 y T5 mostraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) con respecto a los dos primeros tratamientos. Sin embargo, a pesar de que estuvieron expuestos a una mayor restricción, no tuvieron conversiones tan altas con respecto al grupo control.

Tabla 2. **Factor de conversión alimenticia en alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachipomus*) sometidos a diferentes periodos de restricción alimenticia**

Tratamientos	Conversión alimenticia (FCR)
T1	$1,08 \pm 0,5^a$
T2	$1,51 \pm 0,8^{ab}$
T3	$3,69 \pm 1,5^c$
T4	$1,96 \pm 0,6^{ad}$
T5	$1,93 \pm 0,3^{ad}$

T1 (control), T2 (1 semana de restricción), T3 (2 semanas de restricción) T4 (3 semanas de restricción) T5 (4 semanas de restricción).

Nota: valores expresados como media $\pm$ SEM. Letras diferentes revelan diferencias estadísticas significativas a; b; c; d ($p \leq 0,05$).

Fuente: elaboración propia.

En un periodo de restricción alimenticia, el factor de conversión aumenta a medida que incrementa el tiempo de

restricción, pero disminuye a medida que se aumenta la ración durante la realimentación. Trabajos realizados en tilapia nilótica lo demuestran (Xie *et al.*, 1997). En juveniles de cobia de 10 g, la conversión alimenticia fue de 12,87% diario durante el inicio de la realimentación y, luego de algunos días, disminuyó a 9% bajo un régimen de alimentación *ad libitum* (Sun *et al.*, 2006). En los resultados del presente estudio podemos observar que los peces a la segunda semana de restricción (T3) tuvieron una conversión alimenticia alta con respecto a los demás tratamientos, incluso con los expuestos a una mayor restricción T4 y T5, los cuales no tuvieron diferencias estadísticas ($p \geq 0,05$). Estos resultados difieren de los obtenidos por Nieto y Landines (2011) en yamú, los cuales estuvieron bajo restricción alimenticia moderada (1, 2 y 3 días) y severa (3, 4 y 5 semanas), donde los índices de conversión fueron más altos para los peces expuestos a restricción moderada y los más bajos para los expuestos a una restricción severa (0,5-4 semanas y 0,3-5 semanas) con diferencias estadísticas con respecto a los demás tratamientos.

En *Pangasius*, con restricción alimenticia durante 8 semanas, obtuvieron una conversión alimenticia que osciló entre 1,12 y 1,78 (Wirat, 2010). En pacú (*Piaractus mesopotamicus*), un serrasalmido perteneciente a la familia de la cachama, los tratamientos que presentaron CC tuvieron conversiones que oscilaron entre

1,48 y 1,58; en este trabajo afirman que la variación en los valores de conversión alimenticia están influenciados por factores como la calidad del alimento, la edad y el estado sanitario (Wicki, 2003). Avault (2000) sugiere que los peces restringidos utilizan menor cantidad de energía para mantenimiento durante el periodo en que no son alimentados; por tanto, cuando se retoma la alimentación, se requerirá de menos alimento para mantenimiento y una mayor cantidad de energía será utilizada en crecimiento.

Tasa de crecimiento específica

Podemos observar cómo la tasa de crecimiento específica (TCE) fue mayor para los peces que fueron expuestos a un periodo de restricción más corto del T2 y T3 (1 y 2 semanas de restricción) comparados con los que se expusieron a periodos más prolongados como el T4 y T5 (3 y 4 semanas), donde a medida que aumentaba el tiempo de restricción, disminuía hasta en un 56 % la tasa de crecimiento de los peces expuestos a cuatro semanas de restricción con respecto al grupo control (tabla 3). Ello nos demuestra que ayunos prolongados disminuyen considerablemente el correcto desarrollo de los peces.

En trabajos realizados en yamú (*Brycon amazonicus*) por Nieto *et al.* (2011), quienes clasificaron la restricción en moderada y severa cuando eran expuestos a

Tabla 3. **Tasa de crecimiento específica en alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachipomus*) sometidos a diferentes periodos de restricción alimenticia**

Tratamiento	TCE	SEM
T1	5,1	0,9 ^{ab}
T2	5,6	0,3 ^a
T3	4,3	0,6 ^b
T4	3,2	0,5 ^c
T5	2,8	0,6 ^c

T1 (control), T2 (1 semana de restricción), T3 (2 semanas de restricción) T4 (3 semanas de restricción) T5 (4 semanas de restricción).

Nota: valores expresados como media $\pm$ SEM. Letras diferentes revelan diferencias estadísticas significativas a; b; c; ($p \leq 0,05$).

Fuente: elaboración propia.

1, 2, 3 días y 7, 8, 9 semanas, respectivamente, no se observaron diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, se pudo observar una tendencia en la cual eran menores las tasas de crecimiento de los peces expuestos a restricción severa. Asimismo, Rodríguez (2012) encontró resultados similares en juveniles de cachama blanca sometidos a 3 condiciones de restricción (1 día de ayuno y 1 de realimentación; 3 días de ayuno y 2 de realimentación; 2 días de ayuno y 3 de realimentación), donde la TCE fue más alta para el grupo control (0,50 % día) y menor para los tratamientos con una restricción alimenticia más prolongada.

En contraste con estos resultados en especies como el pacú (*Piaractus mesopotamucus*), se han reportado TCE en los peces restringidos entre 1,08 y 1,16; las

cuales fueron altas en comparación con su grupo control sin restricción (Mendonca *et al.*, 1988). Cuando se emplean estrategias de restricción alimenticias prolongadas, el pez no puede contrarrestar los cambios metabólicos y las respuestas fisiológicas no son las adecuadas para mantener un adecuado equilibrio (Jobling, 1994). Estos cambios pueden ser más severos si la restricción se realiza en peces de tallas pequeñas como los que fueron utilizados en el presente experimento.

Incremento de peso

Se observó que la disminución en los pesos era directamente proporcional al aumento en el tiempo de restricción. Asimismo, el T2, cuyo tiempo de restricción (1 semana) obtuvo una ganancia de peso de $53,8 \pm 0,6$ g, la cual estuvo 3,2 g por debajo del grupo control, fue alimentado diariamente (tabla 4).

En cuanto al incremento diario de peso, al finalizar la restricción y la realimentación, los pesos finales oscilaron entre

0,9 g y 1,7 g. Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticas significativas en este parámetro ($p \geq 0,05$) (figura 1).

Los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con varios trabajos realizados en diferentes especies como el yamú, tilapia híbrida y goldfish (Nieto y Landines, 2011; Wang *et al.*, 2006), las cuales fueron sometidas a periodos de restricción similares y disminuyeron su peso conforme fueron sometidas a un aumento en la restricción alimenticia.

En casi todas las especies de peces, durante una fase de ayuno, cesa su crecimiento e, incluso, presentan pérdida de peso hasta que se restablezcan las condiciones óptimas (Eroldogan *et al.*, 2006), lo cual observamos en los peces que fueron expuestos a restricciones prolongadas de ayuno y realimentación T4 y T5. La recuperación del peso luego de un periodo de ayuno tiene muchas variaciones interespecíficas donde se encuentran involucrados aspectos como el estado de desarrollo, las condiciones ambientales, la

Tabla 4. Ganancia de peso de *Piaractus brachipomus* sometidos a diferentes periodos de restricción alimenticia

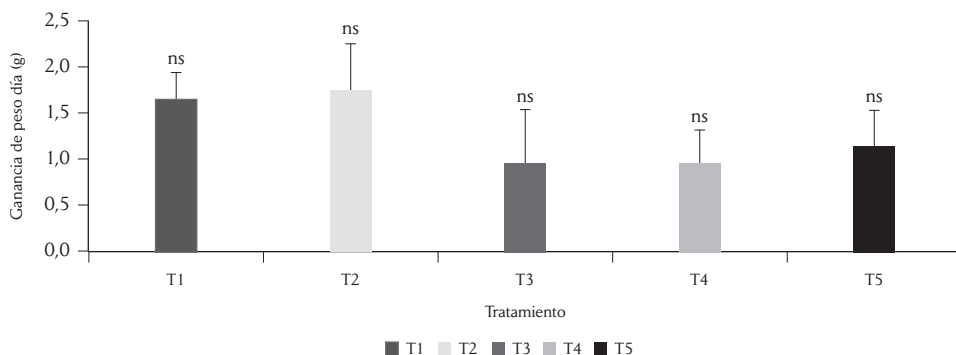
Parámetro	T1	T2	T3	T4	T5
Peso inicial	$12,2 \pm 0,04$	$12 \pm 00,4$	$10,9 \pm 00,6$	$11,3 \pm 00,8$	$10,7 \pm 0,04$
Peso final	$62,8 \pm 0,30$	$65,8 \pm 0,1$	$42,5 \pm 0,2$	$37,9 \pm 0,1$	$35,2 \pm 0,09$
Ganancia de peso	$50,6 \pm 0,80$	$53,8 \pm 0,6$	$31,6 \pm 0,5$	$26,6 \pm 0,6$	$24,5 \pm 0,70$

T1 (control), T2 (1 semana de restricción), T3 (2 semanas de restricción), T4 (3 semanas de restricción), T5 (4 semanas de restricción).

Nota: valores expresados como media $\pm$ SD (desviación estándar).

Fuente: elaboración propia.

Figura 1. **Ganancia de peso diario en alevinos de cachama expuestos a diferentes grados de restricción alimenticia**



Nota: datos expresados como media $\pm$ SEM. No se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0,05$).

Fuente: elaboración propia.

intensidad y la duración del periodo de ayuno; por tanto, se pueden presentar o no diferentes tipos de compensación en el crecimiento (Jobling, 1994). Experimentos desarrollados por Tian y Quin (2004) sugieren que una compensación completa solo ocurre en peces con restricción alimenticia moderada, con restricciones más severas solo hay una respuesta compensatoria parcial. Turano *et al.* (2008) encontraron en individuos *Striped bass* una respuesta compensatoria parcial después de haber restringido la alimentación por 3 semanas y, después de realimentar durante 3 y 6 semanas los ejemplares, presentaron pérdida de peso e incapacidad de recuperarlo al comparar los pesos promedios finales de los individuos tratados con los grupos control.

Igualmente, nuestros resultados sugieren que se obtuvo una compensación par-

cial cuando la restricción fue moderada durante una semana; pero al ser restringidos durante un mayor tiempo, los peces no alcanzaron a recuperar el peso perdido luego del proceso de realimentación.

Factor de condición (K)

Este factor nos indica la relación entre la talla y el peso o el nivel de adelgazamiento-robustez del pez. El factor K a lo largo de la fase experimental nos muestra una tendencia a la recuperación por parte de los peces que estuvieron sometidos a restricción. Sin embargo, no consiguieron igualar el peso de los animales que se alimentaron diariamente tras el periodo de realimentación. A pesar de esto, no se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0,05$) (tabla 5).

Tabla 5. **Factor K en alevinos de cachama expuestos a diferentes niveles de restricción alimenticia**

Tratamientos	Factor K (no hubo diferencias estadísticamente significativas)
T1	2,4 ± 0,2
T2	2,2 ± 0,3
T3	2,0 ± 0,3
T4	2,1 ± 0,2
T5	2,2 ± 0,2

Nota: valores presentados como media ± SD.
Fuente: elaboración propia.

Una recuperación del factor K tras la realimentación puede ser considerado como un predictor de respuesta ante un CC (Turano *et al.*, 2008). Existen algunas variaciones interespecíficas del factor K para una especie determinada, el cual puede variar ampliamente, ya que sobre él influyen, entre otros factores, la temperatura, la cantidad y la calidad de alimento y el estado reproductivo (García-García, 1994). En trabajos desarrollados en pacú (*Piaractus mesopotamicus*) se obtuvieron factores K entre 1,8 y 2,2 (Egea *et al.*, 2002) y en juveniles de cachama blanca se encontraron valores de 1,36 a 1,44 (Rodríguez, 2012). En contraste con estos resultados, en juveniles de *Ictalurus punctatus* (Reigh *et al.*, 2006), el factor K fue similar entre animales alimentados y restringidos. En sea bream (*Sparus aurata*), sometidos durante 30 días de restricción, el factor K no tuvo diferencias estadísticas significativas y se encontró en promedio en 1,6. Sin embargo, cuando

la restricción fue prolongada a 60 días, el factor K disminuyó hasta 0,03 y se encontraron diferencias con respecto al grupo control (Lav Bavčević *et al.*, 2010).

Sobrevivencia

La mortalidad acumulada en el presente experimento fue de 2,2 %. Teniendo en cuenta que para piscicultura se manejan tasas de mortalidad hasta de un 10%, podemos inferir que los peces estuvieron dentro de los parámetros de confort para un correcto desarrollo de esta especie.

Los altos porcentajes de sobrevivencia se deben a factores intrínsecos de los peces, los cuales en el medio natural tienen la capacidad de tolerar periodos de inanición prolongados; esta característica es esencial para su sobrevivencia, aun cuando habiten en ecosistemas donde la disponibilidad de alimentos es variable (Anger, 2001).

Índice hepatosomático y viscerosomático

En este experimento, pudimos observar que los tratamientos con 3 y 4 semanas (T4 y T5) de restricción evidenciaron en su IHS diferencias significativas $p \leq 0,05$ con respecto al grupo control donde los índices fueron mayores (tabla 6). Asimismo, Turano *et al.* (2008) obtuvieron resultados similares al demostrar que el peso de los hígados de individuos *Striped*

bass fue significativamente menor que el de los individuos del grupo control.

Tabla 6. Índices hepatosomático (IHS) y viscerosomático (IVS) en alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachyomus*) sometidos a diferentes periodos de restricción alimenticia

Tratamiento	IHS	IVS
T1	0,36 ± 0,07 ^a	2,0 ± 0,09 ^a
T2	0,37 ± 0,01 ^a	2,1 ± 0,01 ^a
T3	0,39 ± 0,01 ^a	2,2 ± 0,01 ^a
T4	0,25 ± 0,02 ^b	1,4 ± 0,02 ^b
T5	0,22 ± 0,02 ^b	1,3 ± 0,02 ^b

Nota: valores expresados como Media ± SEM. Letras diferentes revelan diferencias estadísticas significativas a; b ($p \geq 0,05$).

Fuente: elaboración propia.

En juveniles de cachama blanca, el IHS fue menor en peces que se les restringió la alimentación durante un día y luego fueron realimentados (Rodríguez, 2012). Existen trabajos en otras especies como el salmón, que al exponerlo a etapas de restricción, el IHS no tiene ningún tipo de variación (Nikki *et al.*, 2004). Por otro lado, Nieto *et al.* (2011) determinaron que en yamú el peso del hígado se encuentra directamente relacionado con las variaciones en los niveles de glucógeno, lípidos y proteínas; los autores observaron que la disminución de los niveles de estos compuestos es directamente proporcional a la reducción del tamaño del hígado. En *Sparus auratus* se presentó una disminución del tamaño del hígado y de los niveles de glucógeno y lípidos,

además se corroboró que estos compuestos son la primera fuente de energía debido a que durante las primeras 72 h se habían disminuido en un 72 % y 10 % el glucógeno y los lípidos, respectivamente (Peres *et al.*, 1999). Iguales resultados fueron reportados por otros autores en carpa, sea bream y *Hoplias malabaricus* (Blasco *et al.*, 1992; Méton *et al.*, 2003; Ríos *et al.*, 2006).

Los cambios presentados en los IHS a causa del ayuno y la realimentación en peces varían dependiendo de las características fisiológicas propias de cada especie. Esto puede ser originado como método del organismo para contrarrestar el déficit metabólico y mantener el equilibrio (Echevarría *et al.*, 1997) debido a que en los peces unas de las reservas de lípidos más grandes se encuentran principalmente en la grasa hepática (Ali *et al.*, 2003); además de todos los órganos que participan en el metabolismo del pez, el hígado presenta un papel importante, proporciona a los demás órganos y tejidos una mezcla adecuada de nutrientes a través del torrente sanguíneo (Rodríguez, 2012).

De igual forma, pudimos observar que el IVS se vio involucrado en los procesos de ayuno y realimentación donde los peces expuestos a mayor restricción (T4 y T5) tuvieron unos índices considerablemente menores con respecto al grupo control. Esto puede ser generado como conse-

cuencia de la movilización en las reservas lipídicas que los peces almacenan a nivel visceral. En trabajos desarrollados en *Spaurus aurata*, el IVS disminuyó en un 7,8% durante una semana de restricción y un 45,6% luego de dos semanas de restricción en comparación con el control (Peres *et al.*, 2011). Estos resultados confirman que en esta especie la movilización de los lípidos viscerales no es inmediatamente y que este proceso depende del periodo de restricción alimenticia (Eroldogan *et al.*, 2006, 2008; Grigorakis y Alexis, 2005). Asimismo, en juveniles de cachama blanca, con un peso aproximado de 200 g, se observaron diferencias significativas en los IVS; al ser expuestos a un ayuno prolongado, estos se encontraron entre 7,34 y 10,47, lo cual estuvo directamente relacionado con los niveles de colesterol que presentaban los peces (Rodríguez, 2012). Según Echevarría *et al.* (1997) y Rodríguez (2012), los niveles de colesterol pueden estar asociados a los valores en los IHS y los IVS de peces expuestos a ayuno y realimentación.

Análisis de costos de producción

Podemos observar que hubo una disminución de los costos de variables de producción, especialmente en la cantidad de alimento suministrado (tabla 7), al compararse con los peces del grupo control.

Tabla 7. **Insumos utilizados en la fase experimental**

Especie	Cachama blanca
Unidad de producción	Estanques de 500 m
Número de peces	5000
Densidad	0,6/m ²
Fertilización	Gallinaza-NPK
Peso inicial	19,1 g
Peso final	52,2 g
Mortalidad	2,2%
Alimentación	Concentrado 30% Pb
Tiempo de restricción	T1: control T2: 1 semana de restricción T3: 2 semanas de restricción T4: 3 semanas de restricción T5: 4 semanas de restricción

Fuente: elaboración propia.

Se observó que el mayor consumo y costo de alimentación fue para el T1 (control), el cual representa el 30,9% del total de los costos generados por el concentrado. Sin embargo, los mejores índices de producción se presentaron con una semana de restricción, donde los alevinos realizaron una compensación parcial y el alimento consumido representó un 27,7%, con una disminución de 3,2% con respecto al grupo control. Trabajos desarrollados en juveniles de cachama blanca mostraron que también se produjo una disminución donde se determinó que el costo del alimento suministrado estuvo entre el 55,16% y el 57,05% del alimento total suministrado a los controles (Rodríguez *et al.*, 2012).

Otro factor importante a tener en cuenta es la mano de obra; si esta se puede reducir en una semana (T2), el productor tendría un ahorro en los costos de producción mensual. Sin embargo, es poco probable que se pueda prescindir del personal durante este tiempo (tabla 8).

Tabla 8. Costos de producción durante 60 días en cultivo de alevinaje de cachama blanca sometidos a diferentes tiempos de restricción alimenticia

Ítem	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor (\$)
Alevinos	4559	100	455 900
Concentrado	172,4 kg	1250/kg	215 837
Fertilizantes	1 bulto	50 000	50 000
Cal	4 bultos	30 000	120 000
Mano de obra	30 días	20 000/día	589 500
Total			1 437 150

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta que la cachama blanca tiene un CC parcial, podríamos buscar estrategias de manejo con la cuales se omita la alimentación de los peces durante los fines de semana para beneficiar a los productores no solo en la disminución en el suministro de alimento, sino también en la mano de obra.

Conclusiones

En la mayoría de los aspectos productivos evaluados en este trabajo de investigación, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0,05$); no

obstante, se puede concluir que los alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachipomus*) son capaces de realizar CC parcial durante restricciones moderadas (una semana), y retornan a condiciones normales de crecimiento con respecto a los grupos que son alimentados a saciedad.

Asimismo, la edad de los peces y el tiempo de restricción influyen directamente en el desempeño productivo durante la etapa de compensación. Es posible efectuar un ahorro en la cantidad de alimento suministrado a los peces, lo que beneficiaría económicamente al productor piscícola.

Referencias

- Ali, M., Nicienza, A. y Wootton, R. J. (2003). Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish and Fisheries*, 4, 147-190.
- Anger, K. (2001). The biology of decapod crustacean larvae. *Crustacean Issues*, 14.
- Avault, J. W. (2000). Focus on channel catfish research. *Aquaculture magazine*, 26(6), 40-42.
- Blasco, J., Fernández, J. y Gutiérrez, J. (1992). Fasting and refeeding in carp, *Cyprinus carpio* L: The mobilization of reserves and plasma metabolite and hormone variations. *J. Comp. Physiol. B-Biochem. Syst. Environ. Physiol.*, 162, 539-546.
- Da Silva, S. (2006). Reducción de costos en la alimentación acuícola: ¿es el uso de

- programas de alimentación combinada a la respuesta para la práctica semi-intensiva? *Aquaculture Asia*, 10, 2006.
- Echevarría, G., Martínez, M. y Zamora, S. (1997). Evolution of biometric indexes and plasma metabolites during prolonged starvation. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 118A(1), 111-123.
- Egea, N. *et al.* (2002). Efecto de la realimentación tras un periodo de ayuno sobre el crecimiento en el sargo picudo *Diplodus puntazzo* (Cetti, 1777). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr*, 18(1-4), 357-362.
- Elliot, J. M. y Hurley, M. A. (1995). The functional relationship between body size and growth rate in fish. *Functional Ecology*, 9, 625-627.
- Eroldoğan, O. T., Kumlu, M., Kiris, G. A. y Sezer, B. (2006). Compensatory growth response of *Sparus aurata* following different starvation and refeeding protocols. *Aquaculture Nutrition*, 12, 203-210.
- Eroldoğan, O. T., Tasbozan, O. y Tabakoglu, S. (2008). Effects of restricted feeding regimes on growth and feed utilization of juvenile gilthead sea bream, *Sparus aurata*. *Journal World Aquaculture Society*, 39, 267-274.
- Espinal, C., Martínez, H. y González, F. (2005). *La cadena de la piscicultura en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado el 7 de octubre de 2007 de www.agrocadenas.gov.co
- Foss, A. e Imsland, A. K. (2002). Compensatory growth in the spotted wolffish *Anarrhichas minor* (Olafsen) after a period of limited oxygen supply. *Aquaculture Research*, 33(13), 1097-1101.
- García-García, B. (1994). *Factores que influyen sobre el consumo de oxígeno, ingesta y crecimiento en la dorada (Sparus aurata L): una aproximación al establecimiento de modelos lineales* (Tesis doctoral). Universidad de Murcia, Departamento de Fisiología y Farmacología.
- Grigorakis, K., y Alexis, M. N. (2005). Effects of fasting on the meat quality and fat deposition of commercial-size farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) fed different dietary regimes. *Aquaculture Nutrition*, 11, 341-344.
- Jobling, M. (1994). *Fish bioenergetics. Fish and Fisheries Series 13*. London: Chapman & Hall.
- Lav Bavčević, Tin Klanjšček, Vatroslav Karamarko, Ivica Aničić y Tarzan Legović. (2010). Compensatory growth in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) compensates weight, but not length. *Aquaculture*, 301, 57-63.
- Mendonça, J. O. J., Ferrari, V. A., Gaspar, L. A. y Camargo, M. B. (1988). Monocultivo de pacú (*Colossoma mitrei*) em uma propriedade particular. *Bol. Tec. CEPTA*, 1(1), 29-35.
- Méton, I., Fernández, F., Baanante, I. V. (2003). Short and long-term effects of refeeding on key enzyme activities in glycolysis-gluconeogenesis in the liver of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 225, 99-107.

- Nicieza, A. G. y Metcalfe, N. B. (1997). Growth compensation in juvenile Atlantic salmon: Responses to depressed temperature and food availability. *Ecology*, 78(8), 2385-2400.
- Nieto, J. P., Landines, M. A. (2011). Efecto de la restricción alimenticia sobre el desempeño productivo y fisiológico de yamú (*Brycon amazonicus*). *Revista Entornos*, suplemento especial, 163.
- Nikki, J., Pirhonen, J., Jobling, M. y Karjalainen, J. (2004). Compensatory growth in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), held individually. *Aquaculture*, 235, 285-296.
- Peres, H., Goncalves, P. y Oliva-Teles, A. (1999). Glucose tolerance in gilthead seabream (*Sparus aurata*) and European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 179, 415-423.
- Peres, H., Santos, S. y Oliva-Teles, A. (2011). Lack of compensatory growth response in gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles following starvation and subsequent refeeding. *Aquaculture*, 318, 384-388.
- Reigh, R., Williams, M. B. y Jacob, B. J. (2006). Influence of repetitive periods of fasting and satiation feeding on growth and production characteristics of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, 254, 506-516.
- Reimschuessel, R. (1988). Necropsy examination of fish. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 18(2), 427-433.
- Ríos, F. S., Moraes, G., Oba, E. T., Fernandes, M. N., Donatti, L., Kalinin, A. L. y Rantin, F. T. (2006). Mobilization and recovery of energy stores in traíra, *Hoplias malabaricus* Bloch (Teleostei, Erythrinidae) during long-term starvation and after re-feeding. *J. Comp. Physiol. B-Biochem. Syst. Environ. Physiol.*, 176, 721-728.
- Rodríguez, L. (2012). *Efecto de la restricción alimenticia sobre el metabolismo energético y el crecimiento en juveniles de cachama blanca* *Piaractus brachipomus* (Cuvier, 1818) (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Schwarz, F. J., Plank, J. y Klrchgessner, M. (1985). Effects of protein or energy restriction with subsequent realimentation on performance parameters of carp *Cyprinus carpio* L. *Aquaculture*, 48, 23-33.
- Sun, L., Chen, H., Huang, L., Wang, Z. y Yan, Y. (2006). Growth and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) relative to ration. *Aquaculture*, 257, 214-220.
- Tian, X. y Quin, J. (2004). Effects of previous ration restriction on compensatory growth in barramundi. *Aquaculture*, 235, 273-283.
- Turano, M. J., Borski, R. J. y Daniels, H. V. (2007). Compensatory growth of pond-reared hybrid striped bass *Morone chrysops* x *Morone saxatilis*, fingerlings. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(2), 250-261.
- Turano, M. J., Borski, R. J. y Daniels, H. V. (2008). Effects of cyclic feeding on compensatory growth of hybrid striped bass

- (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) foodfish and water quality in production ponds. *Aquaculture Research*, 39, 1514-1523.
- Wang, T., Hung, C. y Randall, D. J. (2006). The comparative physiology of food deprivation: From feast to famine. *Annu. Rev. Physiol*, 68, 223-251.
- Wicki, G. (2003). Cultivo y producción de pacú (*Piaractus mesopotamicus*). Incidencia de dos dietas de diferente composición y de la densidad de siembra en sistemas de cultivo semiintensivo (Tesis de maestría), Universidad de Buenos Aires (UBA), Facultad de Agronomía, Buenos Aires.
- Wirat, J. (2010). Growth and compensatory growth of juvenile *Pangasius bocourti*. Sauvage, 1880 relative to ration. *Aquaculture*, 306, 393-397.
- Xie, S., Cui, Y., Yang, Y. y Liu, J. (1997). Energy budget of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in relation to ration size. *Aquaculture*, 154, 57-68.