

Desempeño productivo y fisiológico de juveniles de *Piaractus brachypomus* sometidos a restricción de alimento

Productive and Physiological Performance of Juveniles of *Piaractus brachypomus* Subjected to Food Restriction

Desempenho produtivo e fisiológico de juvenis de *Piaractus brachypomus* submetidos à restrição de alimento

Liliana Rodríguez^{1*}, Miguel A. Landines-Parra^{2*}

¹ Zoot, MSc

² Zoot, PhD

* Laboratorio de Fisiología de Peces. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Email: fisiopeces@unal.edu.co

Recibido: 17 de marzo de 2017

Aceptado: 03 de marzo de 2018

Resumen

Se utilizaron 177 juveniles de *Piaractus brachypomus*, mantenidos durante 84 días en dos estanques asignados a dos tratamientos de alimentación: T1: diaria y T2: un día sí y un día no. Se realizaron colectas de sangre los días 1, 28, 42, 56, 70 y 84 de 7 animales por tratamiento para determinación de hematocrito, hemoglobina, proteína, glucosa, lactato, triglicéridos, colesterol, cortisol e insulina. Los animales fueron pesados, medidos y sacrificados para cálculo de índices hepatoesomático (IHS), viscerosomático (IVS) y grasa visceral (IGV); al final del ensayo a los animales muestreados se les realizó análisis proximal y de energía en filete. El hematocrito presentó diferencias significativas entre tratamientos los días 56 y 84, siendo superior en T1 el día 56 e inferior el día 84. Excepto los días 1 y 42, en los que la hemoglobina fue superior en T1, no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Para glucosa, insulina y lactato hubo diferencias significativas el día 28: las dos primeras fueron superiores en T1, mientras que el lactato lo fue en T2. La proteína aumentó significativamente en T1 el día 42, nivel que se mantuvo el día 56, disminuyendo el día 70 y manteniéndose así hasta el día 84. Para triglicéridos, colesterol y cortisol no hubo diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las colectas. Además, se presentaron diferencias significativas en peso los días 42 y 70, y en longitud el día 42, no existiendo diferencias entre tratamientos al final del ensayo. Para IHS e IVS hubo diferencias significativas el día 84, siendo superiores en T1, sin diferencias para IGV. La sobrevivencia fue 100% en ambos tratamientos. El análisis proximal y la energía del filete no presentaron diferencias entre tratamientos. Se concluye que la restricción alimenticia del 50% en el esquema alternado utilizado, no afectó la condición fisiológica de los animales, pues no se evidenció ningún daño metabólico importante, ni cambios en la composición del producto final.

Palabras clave: Cachama blanca, ayuno, realimentación, crecimiento compensatorio

Abstract

177 juveniles of *Piaractus brachypomus* were kept during 84 days in two ponds. Each group was assigned one of the following treatments: T1: fed every day, and T2: fed every other day. Blood samples from 7 animals of each treatment

were taken on days 1, 28, 42, 56, 70, and 84 to determine hematocrit, hemoglobin, glucose, lactate, protein, triglycerides, cholesterol, cortisol, and insulin. Fish were weighted, measured, and sacrificed to remove the liver, viscera, and visceral fat to calculate the hepatosomatic index (HSI), viscerosomatic index (VSI), and visceral fat index (VFI). At the end of the trial, the group of sampled animals were filleted to do the energy and proximal analysis. There were significant differences in hematocrit between treatments, on days 56 and 84, they were higher in T1 on day 56, and lower in T1 on day 84. On days 1 and 42, hemoglobin was higher in T1, there were no significant differences among treatments. There were significant differences in glucose, insulin and lactate on day 28; the first two were higher in T1, while lactate was higher in T2. Protein significantly increased in T1 on day 42, and was the same on day 56, then decreased on day 70, and remained stable until day 84. There were no significant differences between treatments in triglycerides, cholesterol, and cortisol during any of the sample times. There were significant differences in the weight on days 42 and 70, and in length on day 42, but there were no significant differences between treatments at the end of the test. There were significant differences in IHS and IVS on day 84, they were higher in T1. There were no differences in IGV. Survival was 100% in both treatments. There were no differences in energy and proximal analysis of the fillets between the treatments. We can conclude that a 50% food restriction in the alternated scheme did not affect the physiological condition of the animals because there was not any significant metabolic damage or changes in the composition of the final product.

Keywords: *Piaractus brachypomus*, refeeding, fasting, compensatory growth

Resumo

Juvenis de *Piaractus brachypomus* (177), foram mantidos por 84 dias em dois viveiros sendo alimentados assim: T1: alimentação todos os dias e T2: alimentação a cada dois dias. Realizaram-se coletas de sangue nos dias 1, 28, 42, 56, 70 e 84 de sete animais por tratamento para determinação do hematócrito, hemoglobina, glicose, lactato, proteína, triglicerídeos, colesterol, cortisol e insulina. Também foram pesados, medidos e sacrificados, para o cálculo dos índices hepatossomático (IHS), viscerossomático (IVS) e de gordura visceral (IGV). No hematócrito houve diferenças entre os tratamentos nos dias 56 e 84, sendo maior no T1 no dia 56 e menor no dia 84. Com exceção dos dias 1 e 42, em que a hemoglobina foi maior em T1, não houve diferenças entre os tratamentos. Para glicose, insulina e lactato, houve diferenças no dia 28. As duas primeiras foram maiores em T1, enquanto que o lactato foi maior em T2. A proteína aumentou em T1 no dia 42 y esteve alta até o dia 56. Porém, diminuiu no dia 70 e permaneceu baixa até o final. Para triglicerídeos, colesterol e cortisol não houve diferenças entre os tratamentos em nenhum dos tempos de coleta. Além disso, houve diferenças em peso nos dias 42 e 70 e em comprimento no dia 42. Porém, não houve diferenças no final do ensaio. Para IHS e IVS houve diferenças no dia 84, sendo maiores em T1. O IGV não apresentou diferenças no final do ensaio. A sobrevivência foi de 100% em ambos os tratamentos. As análises proximais e de energia não apresentaram diferenças entre os tratamentos. Pode-se concluir que a restrição alimentar de 50%, não afetou o estado fisiológico dos animais, devido a que nenhum dano metabólico importante foi evidente, nem alterações na composição do produto final.

Palavras chave: *Piaractus brachypomus*, realimentação, jejum, crescimento compensatório.

Introducción

La restricción alimenticia es el fenómeno mediante el cual se disminuye en un animal la posibilidad de adquirir alimento o se disminuye la calidad nutricional del mismo; diversas especies ícticas pasan naturalmente por periodos de privación de alimento a causa de fluctuaciones ambientales, que alteran su disponibilidad (Wang *et al.*, 2006). Otras especies experimentan épocas de ayuno en el medio natural relacionadas con la reproducción, bien sea por las migraciones reproductivas (MacKenzie *et al.*, 1998) o por el cuidado parental que ejercen sobre sus crías.

Cuando los individuos experimentan escasez en la disponibilidad de alimento deben usar la energía almacenada para su metabolismo, actividad física, crecimiento y reproducción. La resistencia de un pez a la falta de alimento refleja su habilidad para almacenar energía y controlar la utilización de sus reservas durante circunstancias extremas (Rossi *et al.*, 2015). Diferen-

tes especies de peces tropicales pueden mantener el crecimiento aún con bajos niveles de energía; además, algunos de ellos en condiciones de ayuno son capaces de reducir su actividad, al igual que su temperatura corporal (Wang *et al.*, 2006). No obstante, es casi generalizado que ante la ausencia de alimento los animales cesan su crecimiento e incluso presentan pérdida de peso hasta tanto se restablezcan las condiciones óptimas (Eroldoğan *et al.*, 2006).

Existe la posibilidad de que durante la restricción los animales desarrollen cambios fisiológicos irreversibles que van en detrimento de su bienestar y en ocasiones, incluso, pueden ocasionar la muerte (Rossi *et al.*, 2015). Estos efectos dependen del estadio de desarrollo en el que se encuentre el individuo y de la severidad del ayuno al que se someta (Cho *et al.*, 2006), pero en todos los casos, la adaptación del individuo va a ser en términos de gasto energético, que supone el mantenimiento de sus funciones vitales. Generalmente, las reservas de energía se encuentran bajo la forma

de glucógeno, tejido adiposo y proteína (Barcellos *et al.*, 2010), siendo esta última la que tiende a ser preservada ante condiciones de privación de alimento. Los peces son capaces de adaptarse a la falta de alimento a través de diversos mecanismos etológicos, metabólicos y fisiológicos que incluyen la utilización de sus reservas corporales y la disminución de su metabolismo, lo cual evidencia cambios importantes en metabolitos como la glucosa, los triglicéridos y las proteínas, entre otros. Todos esos cambios deben ser restablecidos durante la fase de realimentación (Soengas *et al.*, 1996) porque si no es así, sucederían daños irreversibles que impedirán la recuperación de los animales (Morales *et al.*, 2004). Adicionalmente, con el restablecimiento de la alimentación los animales tienen la capacidad de experimentar el denominado crecimiento compensatorio, el cual es una fase de desarrollo acelerado que se evidencia cuando las condiciones favorables retornan, después de un periodo de disminución del crecimiento ocasionado por la falta de alimento; dicha fase se caracteriza por la restauración de las trayectorias de crecimiento somático y de las reservas lipídicas (Cho *et al.*, 2006; Turano *et al.*, 2008), incluso a niveles superiores a las de animales alimentados continuamente. Gracias a esta característica, existen diversas investigaciones que han demostrado que la tasa de crecimiento de los peces depende además de la composición química de la ración, de la cantidad de alimento ofrecido y de la frecuencia de suministro (Houlihan *et al.*, 2001) y que periodos de restricción alimenticia podrían favorecer el desempeño productivo de los peces, al tiempo que disminuirían el vertimiento de nutrientes a los efluentes y los costos de producción (Johansen y Overturf, 2006; Reigh *et al.*, 2006), aspectos fundamentales para el productor. Por esta razón el estudio y entendimiento de todos los procesos implicados en el crecimiento de los peces, puede facilitar la implementación de estrategias alimenticias que, aun disminuyendo los costos de alimentación, garantizan el bienestar animal y permitan una exigencia biológica al sistema para desencadenar respuestas como el crecimiento compensatorio.

Es así que el presente trabajo buscó evaluar el efecto de la restricción alimenticia sobre el metabolismo energético, el crecimiento compensatorio y la calidad del músculo en juveniles de cachama blanca *Piaractus brachyomus*, principal especie nativa cultivada en Colombia.

Materiales y métodos

Localización

El experimento fue desarrollado en la Estación Piscícola La Terraza, adscrita a la Facultad de Medicina Vete-

rinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia, ubicada en Villavicencio (Meta-Colombia). Los análisis de laboratorio fueron llevados a cabo en los Laboratorios Clínico, de Fisiología de Peces y de Nutrición Animal de la misma facultad.

Material experimental y tratamientos

Se utilizaron 177 juveniles de cachama blanca ($212,58 \pm 12,07$ g de peso vivo y $22,43 \pm 0,40$ cm de longitud estándar obtenidos de un mismo lote, los cuales fueron distribuidos (90 y 87 individuos) en dos estanques en tierra (72 y 61,6 m²) a una densidad de siembra de 1,25 peces/m³, simulando las condiciones normales del cultivo y asignados al azar a los siguientes tratamientos:

T1: alimentación todos los días

T2: alimentación un día sí y un día no

Se utilizó un alimento extrudizado, específicamente formulado y fabricado para el experimento (Tabla 1).

Tabla 1. Fórmula del alimento utilizado

Ingrediente	Cantidad (%)*
Maíz amarillo	25,96
Mogolla trigo	15,00
Torta de soya	25,04
Harina de subproducto de pollo	11,00
Harina de pescado	6,00
Harina de arroz	6,00
Gluten de maíz	5,00
Tricalfos	2,66
Harina de sangre	2,00
Sulfato lisina	0,50
Sal	0,30
DI - metionina	0,22
Premezcla vitaminas	0,15
Premezcla minerales	0,10
C.colina 60%	0,05
Ethoxiquin	0,02

La alimentación se ofreció según cada tratamiento, al 3% de la biomasa durante las primeras 4 semanas (hasta el día 28) y al 2,5% durante el resto del experimento (días 29 a 84), ofreciendo tres raciones diarias. La composición del alimento utilizado que se determinó mediante análisis proximal se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis proximal del alimento utilizado

Nutriente	Cantidad (%)*
Materia seca	90,33
Proteína cruda	31,36
Extracto etéreo	4,14
Fibra cruda	5,88
Cenizas	11,97

Muestras, análisis de muestras y variables respuesta

El experimento tuvo una duración de 84 días, periodo durante el cual se realizaron muestreos los días 1, 28, 42, 56, 70 y 84.

Para cada muestreo, previo ayuno de 24 horas, 7 animales de cada tratamiento fueron anestesiados (eugenol 50 ppm) para realizar colectas de sangre a través de punción en la vena caudal, para determinación del hematocrito mediante micro centrifugación a 2500 x G durante 5 minutos y hemoglobina, utilizando un analizador hematológico automatizado (Nihon Kuhkohben®).

Posteriormente la sangre restante fue centrifugada durante 10 minutos a 5000 rpm para obtener el plasma y suero en donde fueron determinados los siguientes parámetros:

- Proteína total plasmática: en refractómetro digital (PCE Instruments®).
- Glucosa, lactato, triglicéridos y colesterol plasmáticos: en analizador Vitros DT60II y sus módulos complementarios Vitros DTSII y Vitros DTEII (Johnson & Johnson®).
- Cortisol e insulina séricos: mediante la técnica de Enzyme-linked Immunosorbent Assay (ELISA) (Stat Fax® 303 Awareness Technology Inc®).

Después de tomadas las muestras de sangre, los animales fueron pesados (peso total) y medidos (longitud total y estándar). Luego fueron sacrificados para retirar el hígado, las vísceras y la grasa visceral, con el propósito de calcular los índices hepatosomático (IHS), viscerosomático (IVS) y de grasa visceral (IGV), de acuerdo con las siguientes expresiones matemáticas:

- $IHS = 100 * [\text{Peso hígado (g)}/\text{Peso animal (g)}]$
- $IVS = 100 * [\text{Peso vísceras (g)}/\text{Peso animal (g)}]$
- $IGV = 100 * [\text{Peso grasa visceral (g)}/\text{Peso animal (g)}]$

Adicionalmente, en el muestreo final del día 84, se retiró una porción de músculo (filete) y se conservó a

-70°C para realización de análisis proximal y de energía, de acuerdo con las metodologías estandarizadas de la AOAC (2012).

Diseño experimental y análisis de resultados

Para el análisis de las variables, se empleó un modelo lineal mixto de efectos fijos, con 2 tratamientos y 6 muestreos, donde la variable respuesta fue afectada por la media, el tratamiento y el muestreo anidado en los tratamientos. Para el análisis de los datos se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) y en los casos en que hubo diferencias significativas ($P < 0,05$) se empleó la prueba de Tukey-Kramer para la comparación de medias.

En el caso del análisis proximal de los filetes, el diseño experimental fue completamente al azar con dos tratamientos y siete repeticiones (siete peces). Los valores obtenidos también se sometieron a ANOVA y comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($P < 0,05$). Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS® V 9.0

Resultados

Parámetros sanguíneos

Los resultados mostraron que el hematocrito presentó diferencia significativa entre los tratamientos en los días 56 y 84, siendo superior en T1 en el día 56 e inferior en el día 84 (Figura 1). La hemoglobina (Figura 2) fue superior en el T1 en los días 1 y 42, no existiendo diferencias entre los tratamientos en los demás tiempos de muestreo. Por otro lado, la proteína plasmática tuvo un aumento significativo en el T1 el día 42 el cual se mantuvo hasta el día 56, volviendo a la normalidad en el muestreo posterior (día 70) y manteniéndose así hasta el final del ensayo (Figura 3).

Respecto a la glucosa (Figura 4), la insulina (Figura 5) y el lactato (Figura 6), se presentaron diferencias significativas el día 28, en el cual las dos primeras fueron superiores en el T1, mientras que el lactato lo fue en el T2.

Por último, para triglicéridos y colesterol no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los tiempos de colecta (Tabla 3). De igual manera, el cortisol se mantuvo constante y sin diferencias significativas entre los dos tratamientos durante todo el ensayo (T1: $20,56 \pm 2,82 \mu\text{g/dL}$ y T2: $20,76 \pm 2,59 \mu\text{g/dL}$).

Peso, longitud e índices corporales

Aunque se presentaron diferencias significativas en peso los días 42 y 70 y en longitud (total y estándar) el día 42,

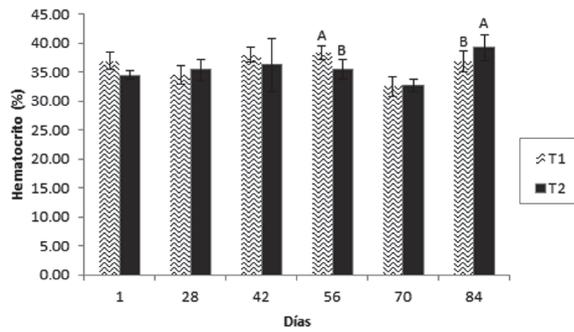


Figura 1. Valores medios \pm desviación estándar de hematocrito en juveniles de cachama blanca, sin (T1) y con (T2) restricción alimenticia. Barras con letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos dentro de cada día de muestreo.

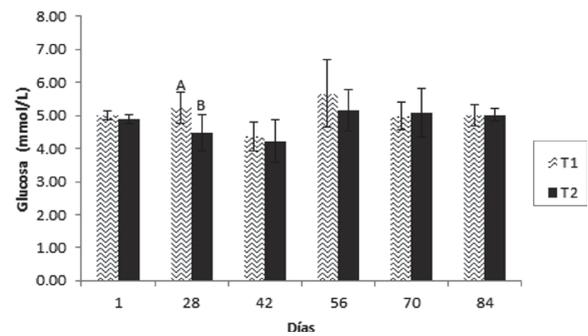


Figura 4. Valores medios \pm desviación estándar de glucosa en juveniles de cachama blanca sin (T1) y con (T2) restricción alimenticia. Barras con letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos dentro de cada día de muestreo.

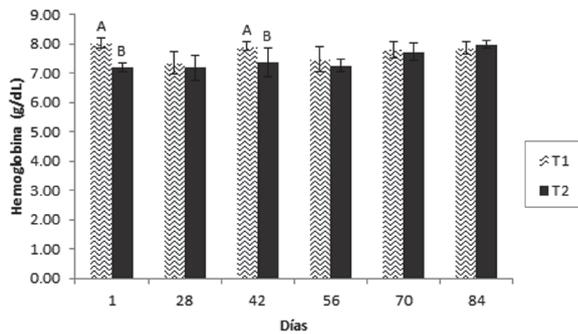


Figura 2. Valores medios \pm desviación estándar de hemoglobina en juveniles de cachama blanca sin (T1) y con (T2) restricción alimenticia. Barras con letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos dentro de cada día de muestreo.

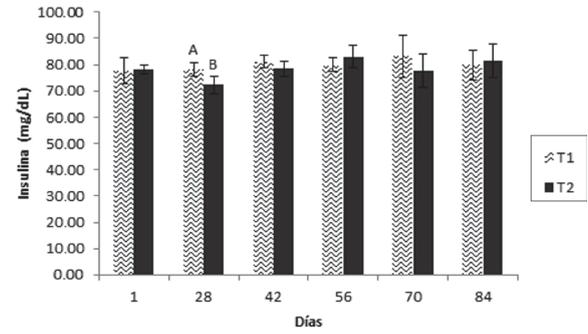


Figura 5. Valores medios \pm desviación estándar de insulina en juveniles de cachama blanca sin (T1) y con (T2) restricción alimenticia. Barras con letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos dentro de cada día de muestreo.

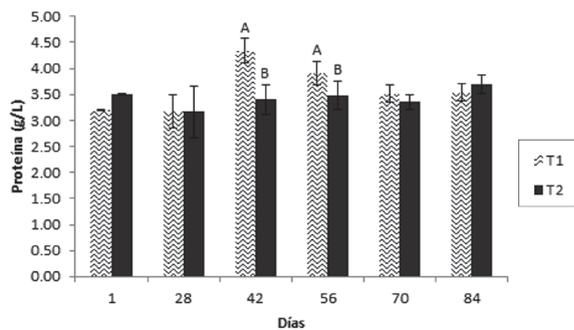


Figura 3. Valores medios \pm desviación estándar de proteína en juveniles de cachama blanca sin (T1) y con (T2) restricción alimenticia. Barras con letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos dentro de cada día de muestreo.

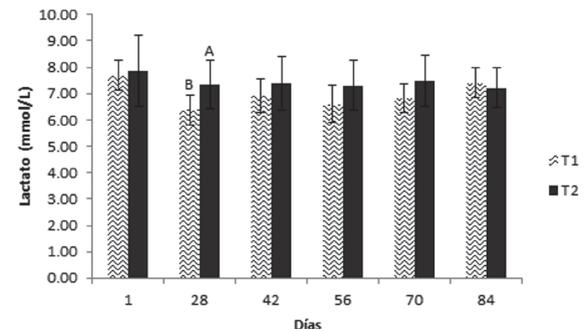


Figura 6. Valores medios \pm desviación estándar de lactato en juveniles de cachama blanca sin (T1) y con (T2) restricción alimenticia. Barras con letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos dentro de cada día de muestreo.

al final del experimento no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las dos variables (Tabla 4). Un comparativo del peso entre los tratamientos en cada día de muestreo se presenta en la Figura 7.

Tabla 3: Valores medios \pm desviación estándar de triglicéridos y colesterol en juveniles de cachama blanca sin (T1) y con (T2) restricción alimenticia

Variable	Día	T1	T2
Triglicéridos (mmol/L)	1	2,84 \pm 0,54	2,80 \pm 0,45
	28	3,04 \pm 0,80	3,16 \pm 0,59
	42	3,08 \pm 0,41	3,20 \pm 0,55
	56	3,28 \pm 0,50	3,42 \pm 0,50
	70	3,43 \pm 0,71	4,00 \pm 0,81
	84	4,23 \pm 0,76	3,96 \pm 0,40
Colesterol (mmol/L)	1	4,49 \pm 0,15	4,86 \pm 0,21
	28	5,18 \pm 0,30	5,22 \pm 0,41
	42	5,43 \pm 0,48	5,13 \pm 0,62
	56	5,23 \pm 0,49	5,01 \pm 0,25
	70	5,16 \pm 0,35	4,94 \pm 0,41
	84	5,18 \pm 0,42	4,83 \pm 0,36

Tabla 4. Valores medios \pm desviación estándar de longitudes en juveniles de cachama blanca sin (T1) y con (T2) restricción alimenticia.

Variable	Día	T1	T2
Longitud total (cm)	1	22,60 \pm 0,57	22,25 \pm 0,21
	28	24,44 \pm 1,25	24,53 \pm 1,11
	42	25,23 \pm 0,89 A	23,29 \pm 1,15 B
	56	25,81 \pm 1,59	25,59 \pm 2,29
	70	26,71 \pm 1,33	25,84 \pm 1,05
	84	26,54 \pm 2,15	26,56 \pm 1,84
Longitud estándar (cm)	1	17,40 \pm 0,28	17,00 \pm 0,28
	28	18,49 \pm 0,79	18,54 \pm 0,72
	42	19,29 \pm 0,64 A	17,79 \pm 1,02 B
	56	19,83 \pm 1,25	19,77 \pm 1,74
	70	20,37 \pm 1,09	19,61 \pm 0,82
	84	20,44 \pm 1,67	20,29 \pm 1,41

Letras diferentes en las filas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos dentro de cada día de muestreo.

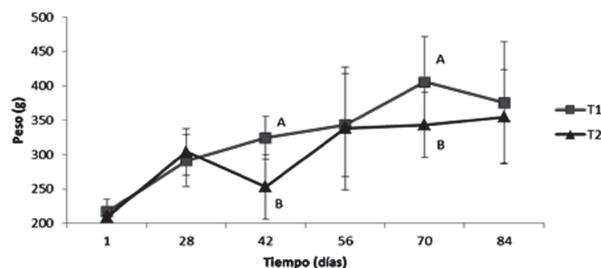


Figura 7. Valores medios \pm desviación estándar de peso en los dos grupos experimentales sin (T1) y con (T2) restricción alimenticia. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos en cada día de muestreo.

Los índices hepatosomático y viscerosomático presentaron diferencias significativas al concluir el ensayo, siendo superiores en T1. Sin embargo, el índice de grasa visceral no presentó diferencias entre los tratamientos durante ese día, a pesar de haberlas presentado en casi todos los demás muestreos con excepción del día 28 (Tabla 5).

Composición del filete

El análisis proximal y de energía de los filetes de los dos tratamientos al finalizar el ensayo se presenta en la Tabla 6, donde se observa que no hubo diferencias significativas en ninguno de los componentes evaluados.

Discusión

Para el hematocrito fueron encontradas diferencias significativas entre los tratamientos en los días 56 y 84, siendo superior en T1 en el día 56 e inferior en el día 84, situación que no parece ser atribuible a los tratamientos pues no presenta un patrón de comportamiento usual. Al respecto, Cho (2005) menciona que la variable hematocrito no necesariamente se puede asociar a la carencia o presencia de alimento y que en ese sentido el entendimiento e interpretación de su lectura podría ser complejo. Así, sorprende que durante el periodo final del experimento (días 43 a 84) en dos de los tres muestreos realizados, se hayan presentado diferencias significativas entre los tratamientos, pero que en uno de ellos sea a favor de T1 y en el otro a favor de T2. Por lo anterior, esta variable no se asoció directamente a la restricción alimenticia, sino a oscilaciones normales que existen en todas las especies (Lagardère *et al.*, 1998). A pesar de lo anterior, varios autores reportan que el hematocrito, como indicador de estrés por hipoxia o deshidratación, es una variable importante de evaluación del bienestar en animales

Tabla 5. Valores medios \pm desviación estándar de IHS, IVS e IGTV en juveniles de cachama blanca sin (T1) y con (T2) restricción alimenticia.

Variable	Día	T1	T2
IHS	1	1,85 \pm 0,33	1,73 \pm 0,60
	28	2,11 \pm 0,28 A	1,78 \pm 0,15 B
	42	1,72 \pm 0,26 A	1,52 \pm 0,26 B
	56	1,58 \pm 0,14	1,63 \pm 0,14
	70	1,68 \pm 0,29	1,57 \pm 0,13
	84	1,76 \pm 0,26 A	1,39 \pm 0,14 B
IVS	1	8,29 \pm 0,15 A	7,34 \pm 0,15 B
	28	10,93 \pm 1,22	10,47 \pm 0,85
	42	8,96 \pm 0,79 A	7,86 \pm 0,45 B
	56	8,39 \pm 0,85	7,76 \pm 0,56
	70	9,79 \pm 0,94 A	8,50 \pm 0,75 B
	84	8,90 \pm 0,96 A	7,95 \pm 0,41 B
IGV	1	1,75 \pm 0,88 A	1,17 \pm 0,26 B
	28	2,24 \pm 0,63	2,23 \pm 0,56
	42	3,61 \pm 0,48 A	2,62 \pm 0,55 B
	56	3,64 \pm 0,76 A	2,99 \pm 0,58 B
	70	3,41 \pm 0,77 A	2,54 \pm 0,65 B
	84	3,55 \pm 0,97	3,13 \pm 0,33

Letras diferentes en las filas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos en cada día de muestreo.

restringidos (Rios *et al.*, 2005; Abdel *et al.*, 2006), situación no verificada en el presente ensayo, en el cual los valores encontrados fueron similares a los reportados para la especie por Rodríguez y Landines (2011). Cabe anotar que en varias especies como *Dicentrarchus labrax*, *Pagellus bogaraveo* y *Brycon amazonicus* la restricción tampoco parece tener efecto sobre el nivel de hematocrito de los animales (Caruso *et al.*, 2011; Zamudio y Landines, 2018).

Por otro lado, con la hemoglobina, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en los días 1 y 42, siendo superior en los animales que recibieron alimentación constante, contrario a lo reportado para otras especies tropicales, que al ser restringidas presentan mayores valores del parámetro (Rios *et al.*, 2005). De forma similar, la hemoglobina aumentó en juveniles de cachama blanca restringidos en el 50% de su alimentación (Rodríguez y Landines, 2011). Con excepción de los dos días mencionados (1 y 42), siempre hubo tendencia al aumento; este resultado es opuesto al de Abdel *et al.*, (2006) en tilapia nilótica, especie en la cual la hemoglobina disminuyó a medida que el periodo de restricción avanzó. A pesar de la diferencia encontrada entre los grupos durante el primer periodo experimental, durante el periodo final y hasta la conclusión del ensayo, no existieron diferencias significativas entre los grupos, indicando que el descenso en la hemoglobina fue una situación momentánea y reversible que en ningún caso comprometió la salud de los peces.

En relación con la proteína plasmática, se observó un aumento significativo en el T1 el día 42 el cual se mantuvo hasta el día 56, volviendo a la normalidad posteriormente y manteniéndose así hasta el final del ensayo. Resultados similares fueron obtenidos por Hung *et al.*, (1997), quienes afirman que los niveles de proteínas plasmáticas disminuyen en animales restringidos, porque están siendo utilizadas como fuente de energía (al igual que el lactato), convirtiéndose en una reserva energética importante y de primera mano, que permitiría al individuo adaptarse a la situación de reducción o carencia de alimento (Pottinger *et al.*, 2003), lo cual también fue comprobado por Rossi *et al.*, (2015) en *Hoplosternum littorale*. A pesar de ello, Power *et al.*, (2000) afirman que los niveles circulantes de proteínas plasmáticas se mantienen constantes antes, durante y después de la restricción alimenticia en los peces, situación observada en la mayoría de muestreos del presente ensayo y en otro trabajo también con *Piaractus brachypomus* reportado por Rodríguez y Landines (2011).

Tabla 6. Análisis proximal y de energía bruta del filete de *Piaractus brachypomus* al finalizar el ensayo (84 días). Datos expresados como media \pm desviación estándar.

Tratamiento	Proteína cruda (%)	Extracto etéreo (%)	Cenizas (%)	Energía bruta (cal/g)
T1	82,29 \pm 8,36	8,13 \pm 2,01	5,18 \pm 1,01	5618,75 \pm 205,56
T2	84,18 \pm 6,08	7,56 \pm 1,95	4,99 \pm 1,23	5589,55 \pm 146,47

* N=7. Valores con base en materia seca de laboratorio. T1 - sin restricción; T2 - con restricción

Respecto a la glucosa y la insulina, se encontraron diferencias significativas el día 28, en el cual fueron superiores en el T1, resultado que concuerda con lo encontrado para diferentes especies de peces (Pottinger *et al.*, 2003; Montserrat *et al.*, 2007; Rossi *et al.*, 2015); ha sido reportado que es esperado que el nivel de glucosa e insulina descienden en condiciones de restricción alimenticia (Figueiredo-Garutti *et al.*, 2002). Sin embargo, Caruso *et al.*, (2011) no encontraron diferencias para glucosa en *Dicentrarchus labrax* y *Pageillus bogaraveo* restringidos; de forma similar, Rodríguez y Landines (2011) no hallaron diferencias en los niveles de ambos parámetros en juveniles de *Piaractus brachypomus*. No obstante, aunque el comportamiento fue similar para glucosa en *Brycon amazonicus*, no lo fue para insulina, parámetro en el cual los niveles fueron menores en los animales restringidos (Zamudio y Landines, 2018).

El hecho de que únicamente en ese muestreo se hayan presentado diferencias significativas para esos dos parámetros, no indica necesariamente que las mismas (para ese día) se puedan atribuir totalmente a los tratamientos y que probablemente serían provocadas por alteraciones propias de los animales en un momento dado (Lagardère *et al.*, 1998). Por el contrario, la constante (con excepción del día 28) de los dos parámetros, permite suponer que ciclos de restricción y realimentación alternados y continuos, no se traducen en cambios significativos en las dos variables y que probablemente periodos de restricción mayores (superiores a 3 días) seguidos de periodos de realimentación, sí generarían tal alteración debido a que el metabolismo de la glucosa en primera instancia (ayuno) se deprime, pero cuando las condiciones vuelven a ser favorables (realimentación) se activa rápidamente, recuperando su estatus normal (Power *et al.*, 2000).

Para lactato hubo diferencias significativas el día 28, encontrando valores superiores en el T2, lo cual se explicaría por la directa relación que existe entre el lactato con los niveles circulantes de glucosa, los cuales también presentaron diferencias significativas durante ese día; como es sabido, en los peces el sistema nervioso central regula la utilización de glucosa y lactato, de acuerdo al régimen alimenticio del animal, pudiéndolos utilizar como fuentes de energía, según exista abundancia o ausencia de alimento (Soengas y Aldegunde, 2002). En el presente ensayo, los niveles constantes de lactato (excepto el día 28) demuestran que no hubo alteración importante en la regulación energética, a través de esta vía, derivada de la ausencia parcial de alimento, contrario a lo reportado por otros autores, quienes observaron un descenso significativo en los niveles de lactato por efecto de la restricción

alimenticia (Hemre *et al.*, 1990; Blasco *et al.*, 1992; Soengas *et al.*, 1996). Incluso en la misma especie, Rodríguez y Landines (2011) reportaron diferencias significativas entre animales restringidos mediante diferentes ciclos de ayuno-realimentación y alimentados a diario, lo cual explicaría una de las vías metabólicas que utilizan los peces para soportar la restricción, cual es el uso de lactato como fuente energética. No obstante, como se mencionó, tal vía no se evidenció en el presente estudio.

Los resultados mostraron que los valores de triglicéridos y colesterol no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los tiempos de colecta, contrario a lo mencionado por Pérez-Jiménez *et al.*, (2007), quienes encontraron que los animales sometidos a un ciclo de restricción-realimentación (nueve y doce días respectivamente) presentan reducciones importantes en ambos de estos componentes ocasionados por la utilización permanente de energía de origen lipídico. Resultados similares al presente estudio fueron reportados para triglicéridos por Rodríguez y Landines (2011) en juveniles de *Piaractus brachypomus* restringidos, sugiriendo que probablemente los animales utilizan otra fuente de energía para suplir sus necesidades ante el ayuno o que aparentemente la restricción no fue lo suficientemente drástica para desencadenar tal disminución. En este sentido, Zamudio y Landines (2018) encontraron en *Brycon amazonicus* disminución en el nivel de triglicéridos cuando se sometió a restricción severa, pero no cuando la restricción fue moderada. No obstante, Rossi *et al.*, (2015) reportan que ambos componentes lipídicos disminuyen en *Hoplosternum littorale* sometidos a restricción 7 y 28 días.

Respecto al colesterol, Rossi *et al.*, (2015) reportaron una disminución importante en animales restringidos; por su parte, Rodríguez y Landines (2011) encontraron valores inferiores en juveniles de *Piaractus brachypomus* alimentados a diario al compararlos con peces sometidos a diferentes ciclos de ayuno-realimentación. Por otro lado, Zamudio y Landines (2018) encontraron que el colesterol disminuyó 35 días después de restringir juveniles de *Brycon amazonicus*, pero volvió a la normalidad a los 84 días. En el presente ensayo no fueron encontradas diferencias significativas entre los tratamientos ni entre los tiempos de muestreo, lo cual podría sugerir que en el grupo restringido hubo una elevada producción endógena, la cual generalmente es asociada al hígado. Por el contrario, el grupo alimentado diariamente, pudo haber utilizado el alimento como fuente para formación de colesterol (Engelhardt y Breves, 2006) sin acudir a reservas corporales (principalmente hepáticas) para mantener su nivel normal.

Lo anterior explicaría el hecho de que en el último día de muestreo los índices hepato y víscero somáticos fueran significativamente mayores que en el grupo tratado. Así, la producción endógena de colesterol verificada en el grupo tratado podría estar relacionada con la disminución en tales índices en el último día de muestreo.

En cuanto al cortisol, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los tiempos de colecta, indicando que por lo menos bajo la evaluación de este parámetro, los animales no sufrieron un estrés adicional al del manejo normal del cultivo o que probablemente se adaptaron de manera adecuada ante la falta de alimento, disminuyendo su demanda energética durante el periodo experimental, pues como es sabido, los corticoesteroides tienen papel fundamental en el metabolismo energético de los peces (Takei y Loretz, 2006). Resultados similares fueron reportados por Caruso et al., (2011) en *Dicentrarchus labrax* y *Pagellus bogaraveo*, al someter a un ciclo de ayuno de 31 días; así como en ciclos de ayuno-realimentación por Rodríguez y Landines (2011) en *Piaractus brachypomus* y Zamudio y Landines (2018) en *Brycon amazonicus*. Sin embargo, otros autores reportan disminuciones o aumentos del cortisol ante situaciones de carencia de alimento. En el primer caso se habla de adaptación (tal como en el presente ensayo) (Small, 2005), mientras que, en el segundo, se menciona que los peces son incapaces de realizar tal proceso adaptativo, siendo necesaria la realimentación para que restablezcan sus valores normales (Barcellos et al., 2010).

En cuanto a las variables de peso y longitud, aunque se presentaron diferencias significativas en peso los días 42 y 70 y en longitud (total y estándar) el día 42, al final del experimento no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, demostrando la capacidad de la especie para manifestar crecimiento compensatorio completo (Figura 7), fenómeno reportado en varias especies de peces como: *Pagrus major* (Oh et al., 2007), *Rutilus caspicus* (Abolfathi et al., 2012), *Brycon amazonicus* (Urbinati et al., 2014), *Oncorhynchus mikiss* (Azodi et al., 2015), *Catla catla*, *Labeo rohita* y *Cirrhinus mrigala* (Mohanta et al., 2016), entre otras. Lo anterior se explica con la teoría expuesta en la revisión de Ali et al., (2003), que mencionan que los peces sometidos a restricción de alimento, exhiben una trayectoria de crecimiento superior a la de los peces alimentados permanentemente, evento comprobado en el presente ensayo para *Piaractus brachypomus*. Adicionalmente también se reporta que, aunque el crecimiento compensatorio sea parcial, demuestra la capacidad de los peces para adaptarse a la restricción de alimento, siempre y cuando después tengan acceso al mismo

(Xiao et al., 2013; Malpica et al., 2014; Mohanty, 2015; Yang et al., 2015; El Sayed et al., 2016). No obstante lo anterior, los índices hepato y víscero somáticos sí presentaron diferencias significativas al concluir el ensayo, siendo superiores en T1, situación explicada por el comportamiento de triglicéridos y colesterol que se presentó al inicio de la discusión.

Por otro lado, los parámetros del análisis proximal y la energía del filete no presentaron diferencias entre los tratamientos, lo cual podría explicarse porque el tiempo de ayuno no fue prolongado (solo un día), lo cual no afectó significativamente los componentes musculares, como consecuencia de la adaptación de la especie a la restricción. Tal situación la explican Zhu et al. (2005) en *Leiocassis longirostris*, quienes argumentan sus resultados en el hecho de que la restricción no fue prolongada, por lo cual los peces no necesitaron movilizar proteína para mantenerse. En la especie objeto de estudio, Rodríguez y Landines (2011) bajo condiciones de laboratorio, y Riaño et al., (2011) que evaluaron diferentes regímenes de ayuno-realimentación, ya habían demostrado que la restricción moderada de alimento no causa deterioro de la calidad nutricional del producto final.

A partir de los resultados encontrados se puede afirmar que los juveniles de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) pueden adaptarse a situaciones de restricción moderada de alimento, alternado, días de alimentación con días de ayuno sin modificación de los indicadores de estrés como el cortisol, con cambios no significativos y reversibles en las variables metabólicas. Asimismo, se verificó que la restricción aplicada, no fue suficiente para modificar la composición del músculo blanco.

Referencias

- Abdel 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.). *Journal of Applied Aquaculture*. 18(3):17-36.
- Abolfathi M, Hajimoradloo A, Ghorbani R, Zamani A. Compensatory growth in juvenile roach *Rutilus caspicus*: effect of starvation and re-feeding on growth and digestive surface area. *J Fish Biol*. 2012;81:1880-1890.
- Ali M, Nicieza A, Wootton JR. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish Fish*. 2003;4:147-190.
- AOAC. 2012. Official Method of Analysis of the Association of Analytical Chemists 19 Edition, Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, USA, p. 1018.
- Azodi M, Ebrahimi E, Farhadian O, Mahboobi-Soofiani N, Morshedi V. Compensatory growth response of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) to food restriction. *Iranian Journal of Fisheries Research*. 2015;12(1):1-10.

- chus mykiss Walbaum following short starvation periods. *Chin J Oceanol Limn.* 2015;33(4):928-933.
- Barcellos L, Marqueze A, Trapp M, Quevedo R, Ferreira D. The effects of fasting on cortisol, blood glucose and liver and muscle glycogen in adult jundiá *Rhamdia quelen*. *Aquaculture.* 2010;300:231-236
- Blasco J, Fernández J, Gutiérrez J. Fasting and refeeding in carp, *Cyprinus carpio* L.: the mobilization of reserves and plasma metabolite and hormone variations. *J Comp Physiol.* 1992;162(B):539-546
- Caruso G, Denaro MG, Caruso R, Mancari F, Genovese L, Maricchiolo. Response to short term starvation of growth, haematological, biochemical and non-specific immune parameters in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and blackspot sea bream (*Pagellus bogaraveo*). *Mar Environ Res.* 2011;72:46-52.
- Cho S. 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.* 2005;36(4):508-514.
- Cho S, Lee S, Park B, Ji S. Compensatory growth of juvenile Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* L., and changes in proximate composition and body condition indexes during fasting and after refeeding in summer season. *J World Aquacult Soc.* 2006;37(2):168-174.
- El Sayed AL, Martínez-Llorens S, Moñino AV, Cerda M, Tomás-Vidal A. Effects of weekly feeding frequency and previous ration restriction on the compensatory growth and body composition of Nile tilapia fingerlings. *Egypt J Aquat Res.* 2016;42:357-363.
- Engelhardt W, Breves, G. 2006. *Fisiología veterinaria*. Editorial Acribia. 683p.
- Eroldoğan OT, Kumlu M, Kiris GA, Sezer B. Compensatory growth response of *Sparus aurata* following different starvation and refeeding protocols. *Aquacult Nutr.* 2006;12:203-210.
- Figueiredo-Garutti M, Navarro I, Capilla E, Souza R, Moraes G, Gutiérrez J, Vicentini-Paulino M. Metabolic changes in *Brycon cephalus* (Teleostei, Characidae) during post-feeding and fasting. *Comp Biochem Physiol A.* 2002;132:467-476.
- Hemre GI, Lie O, Lambertsen G, Sundby A. Dietary carbohydrate utilization in cod (*Gadus morhua*). Hormonal response of insulin, glucagon and glucagon-like peptide to diet and starvation. *Comp Biochem Physiol A.* 1990;97:41-44.
- Houlihan D, Boujard T, Jobling M. 2001. *Food intake in fish*. Oxford, UK: Blackwell Science; 1st edition. 40 p.
- Hung S, Liu W, Li H, Storebakken T, Cui Y. Effect of starvation on some morphological and biochemical parameters in white sturgeon, *Acipenser transmontanus*. *Aquaculture.* 1997;151:357-363.
- Johansen KA, Overturf K. Alterations in expression of genes associated with muscle metabolism and growth during nutritional restriction and refeeding in rainbow trout. *Comp Biochem Physiol B.* 2006;144:119-127.
- Lagardère JP, Bégout ML, Claireaux G. 1998. *Advances in invertebrates and fish telemetry*. Kluwer Academic Publishers. Belgium, 363 p.
- MacKenzie D, VanPutte C, Leiner K. Nutrient regulation of endocrine function in fish. *Aquaculture.* 1998;161:3-25.
- Malpica A, Ramírez JA, Torres A. Evaluación de la restricción alimenticia sobre el crecimiento compensatorio en alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). *Rev Colombiana Cienc Anim.* 2014;7:59-74.
- Mohanta KN, Rath SC, Nayak KC, Pradhan C, Mohanty K, Giri SS. 2016. Effect of restricted feeding and refeeding on compensatory growth, nutrient utilization and gain, production performance and whole body composition of carp cultured in earthen pond. *Aquaculture Nutrition*. In press, early view.
- Mohanty RK. Effects of feed restriction on compensatory growth performance of Indian major carps in a carp-prawn polyculture system: a response to growth depression. *Aquaculture Nutrition* 2015;21:464-473.
- Montserrat N, Gómez P, Bellini G, Capilla E, Pérez J, Navarro I, Gutiérrez J. Distinct role of insulin and IGF-I and its receptors in white skeletal muscle during the compensatory growth of Gilthead Sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture.* 2007;267:188-198.
- Morales AE, Pérez A, Hidalgo MC, Abellan E, Cardenete G. Oxidative stress and antioxidant defenses after prolonged starvation in *Dentex dentex* liver. *Comp Biochem Physiol C.* 2004;139:153-161.
- Oh SY, Noh CH, Cho SH. Effect of restricted feeding regimes on compensatory growth and body composition of red sea bream, *Pagrus major*. *J World Aquacult Soc.* 2007;38(3):443-449.
- Pérez-Jiménez A, Guedes MJ, Morales AE, Oliva A. Metabolic responses to short starvation and refeeding in *Dicentrarchus labrax*. Effect of dietary composition. *Aquaculture.* 2007;265:325-335.
- Pottinger T, Rand-Weaver M, Sumpter, J. Overwinter fasting and refeeding in rainbow trout: plasma growth hormone and cortisol levels in relation to energy mobilization. *Comp Biochem Physiol B.* 2003;136:403-417.
- Power D, Melo J, Santos C. The effect of food deprivation and refeeding on the liver, thyroid hormones and transthyretin in sea bream. *J Fish Biol.* 2000;56:374-387.
- Reigh R, Williams MB, Jacob BJ. Influence of repetitive periods of fasting and satiation feeding on growth and production characteristics of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture.* 2006;254:506-516.
- Riaño FY, Landines MA, Díaz GJ. Efecto de la restricción alimenticia y la realimentación sobre la composición del músculo blanco de *Piaractus brachypomus*. *Rev Med Vet Zoot.* 2011;58(2):84-98.
- Rios F, Oba E, Fernandes M, Kalinin A, Rantin F. Erythrocyte senescence and haematological changes induced by starvation in the neotropical fish traíra, *Hoplias malabaricus* (Characiformes, Erythrinidae). *Comp Biochem Physiol A.* 2005;140:281-287.
- Rodríguez L, Landines MA. Evaluación de la restricción alimenticia sobre el desempeño productivo y fisiológico en juveniles de

- cachama blanca, *Piaractus brachypomus*, en condiciones de laboratorio. *Rev Med Vet Zoot.* 2011;58(3):141-155.
- Rossi A, Cazenavea J, Bacchetta C, Campana M, Parma MJ. Physiological and metabolic adjustments of *Hoplosternum littorale* (Teleostei, Callichthyidae) during starvation. *Ecol Indic.* 2015;56:161-170.
- Small B. 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 B.* 2005;142:217-223.
- Soengas JL, Strong EF, Fuentes J, Veira JAR, Andrés MD. Food deprivation and refeeding in Atlantic salmon, *Salmo salar*: effects on brain and liver carbohydrate and ketone bodies metabolism. *Fish Physiol Biochem.* 1996;15(6):491-511.
- Soengas JL, Aldegunde M. Energy metabolism of fish brain. *Comparative Comp Biochem Physiol B.* 2002;131(3):271-296
- Takei Y, Loretz C. 2006. Endocrinology. En: Evans D, Claiborne J, editors. *The physiology of fishes* 3rd ed. CRC Press. 601 p.
- Turano MJ, Borski RJ, Daniels HV. Effects of cyclic feeding on compensatory growth of hybrid striped bass (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) foodfish and water quality in production ponds. *Aquacult Res.* 2008;39:1514-1523.
- Urbinati E, Jiménez S, Susumo L. Short-term cycles of feed deprivation and refeeding promote full compensatory growth in the Amazon fish matrinxã (*Brycon amazonicus*). *Aquaculture.* 2014;433:430-433.
- Wang T, Hung C, Randall DJ. The comparative physiology of food deprivation: From feast to famine. *Annu Rev Physiol.* 2006;68:223-251.
- Xiao JX, Zhou F, Yin N, Zhou J, Gao S, Li H, Shao QJ, Xu JZ. Compensatory growth of juvenile black sea bream, *Acanthopagrus schlegelii* with cyclical feed deprivation and refeeding. *Aquacult Res.* 2013;44:1045-1057.
- Yang G, Ziwei W, Jun-Wook H, Jeong-Yeol L. Body composition and compensatory growth in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* under different feeding intervals. *Chin J Oceanol Limn.* 2015;33(4): 945-956.
- Zamudio JF, Landines MA. Efecto de la restricción de alimento y posterior realimentación sobre algunas variables fisiológicas en yamú (*Brycon amazonicus*). *Rev Med Vet Zoot.* 2018;65(2): 154-171.
- Zhu XM, Xie SQ, Lei W, Cui YB, Yang, YX, Wootton RJ. Compensatory growth in the chinese longsnout catfish, *Leiocassis longirostris* following feed deprivation: Temporal patterns in growth, nutrient deposition, feed intake and body composition. *Aquaculture.* 2005;248(1-4):307-314.