

EFFECTO DE LA RESTRICCIÓN ALIMENTICIA Y LA REALIMENTACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN DEL MÚSCULO BLANCO DE *Piaractus brachypomus*

F. Y. Riaño*, M. A. Landines, G. J. Díaz.

Artículo recibido: 7 de julio de 2011; aprobado: 5 de octubre de 2011

RESUMEN

Con el propósito de evaluar el efecto de la restricción alimenticia y la realimentación sobre la composición del músculo blanco de cachama blanca, se aplicaron dos protocolos de restricción alimenticia durante 84 días, cada uno dividido en un periodo de restricción alimenticia y un periodo de realimentación. En el primer protocolo, se aplicó una restricción alimenticia moderada (33,3%), y en el segundo, una restricción severa (50%); ambos grupos fueron comparados con un grupo control que recibió una ración alimenticia igual a la suministrada bajo condiciones de un cultivo comercial. Al finalizar el ensayo, ninguno de los tiempos de restricción alimenticia tuvo efectos significativos ($p > 0,05$) sobre el porcentaje de proteína del filete. Sin embargo, se observaron efectos significativos ($p < 0,05$) sobre los porcentajes de lípidos, cenizas y energía. Con respecto al porcentaje de cenizas musculares, se observó que la restricción alimenticia tendió a aumentar su valor, mientras que para el porcentaje de lípidos y los niveles de energía, se encontró el efecto contrario. No obstante, cuando los individuos finalizaron el periodo de realimentación, se observó un restablecimiento en los niveles de nutrientes comparados con los individuos no restringidos. En cuanto al perfil de ácidos grasos, el grupo control mostró con diferencias significativas ($p < 0,05$) mayor porcentaje de omega-3 (n-3). Estos resultados permiten concluir que los protocolos de alimentación aplicados estimularon, en *Piaractus brachypomus*, movilización de nutrientes musculares y su posterior restablecimiento, sin afectar la integridad del músculo blanco.

Palabras clave: *Piaractus brachypomus*, alimentación de peces, restricción alimenticia, realimentación.

EFFECT OF FOOD DEPRIVATION AND RE-FEEDING ON MUSCLE WHITE COMPOSITION OF *Piaractus brachypomus*

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of food deprivation and re-feeding on the composition of cachama blanca white muscle, two restriction food protocols were used per 84 days, each one divided in a food restriction period and re-feeding period. In the first of them, it was used a moderate food restriction (33.3%) and in the second one, was a severe restriction (50%); both groups were compared with a control group receiving the same

Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.
Carrera 30 No 45-03, Bogotá (Colombia).

* Autor para correspondencia: fyrianoj@unal.edu.co.

food ration under commercial culture conditions. At the end of the trial, any of the times of food restriction had significant effects ($p > 0.05$) on fillet protein percentage. However, significant differences ($p < 0.05$) were observed on lipids, ash and energy percentages. In regards to muscle ash percentage, it was observed that food restriction tends to increase its value, and in contrast, was observed an opposite effect on lipids percentage and energy levels. However, when individuals completed the re-feeding period, a restoration in the levels of nutrients compared to non-restricted individuals was observed. As for the fatty acid profile, the control group showed with significant differences ($p < 0.05$) the highest percentage of omega-3 (n-3). These results suggest that restriction protocols applied in *Piaractus brachypomus* stimulated mobilization of nutrients muscle and its later restore without affecting the integrity of the white muscle.

Keywords: *Piaractus brachypomus*, Fish feeding, starvation, re-feeding.

INTRODUCCIÓN

Durante periodos de restricción alimenticia, los procesos vitales de los peces son mantenidos gracias a las reservas energéticas (lípidos, proteínas y carbohidratos) en depósitos hepáticos, viscerales y musculares acumuladas durante periodos de disponibilidad de alimento. Como resultado, se da un paulatino descenso de estas reservas en los tejidos corporales, por lo cual, los antecedentes nutricionales pueden determinar el nivel de reservas energéticas e influenciar la respuesta del individuo en el transcurso de la restricción alimenticia según sea su severidad (Weatherley y Gill 1987). El uso de dichas reservas puede variar entre especies (De Silva et ál. 1997), y en la mayoría de los casos tiende a proteger la reserva de proteína, la cual generalmente comienza a ser usada cuando se han agotado las reservas energéticas restantes (Abdel et ál. 2006; Regost 2001).

En los peces, las reservas de lípidos se encuentran principalmente en la grasa visceral, hígado y músculo esquelético (Ali et ál. 2003); este último tejido posee gran importancia ya que es la principal fuente de proteína y sus respectivos componentes (músculo rojo en menor cantidad y músculo blanco en mayor

cantidad) actúan de manera diferencial frente a restricciones alimenticias. En el caso de peces que no acumulan grandes cantidades de lípidos, son las proteínas del músculo blanco la principal fuente de energía durante restricciones prolongadas (Weatherley y Gill 1987), mientras que el músculo rojo es una mayor fuente de lípidos (Carvalho y Urbinati 2005). Sin embargo, se ha comprobado en varias especies la importancia de los lípidos como fuente de energía, ya que tiende a ser el primer componente utilizado para cubrir las necesidades metabólicas, al provenir principalmente de las reservas hepáticas y viscerales, seguido de las musculares.

En el músculo la energía es obtenida por la oxidación de los ácidos grasos, de los cuales también se han observado cambios debido a restricciones alimenticias, no solo a nivel muscular, sino también en la grasa peri visceral y hepática (Einen et ál. 1998; Rondán et ál. 2004). Así, periodos continuos de restricción (mayores a 5 semanas) y alternados con periodos de realimentación han mostrado tener efectos significativos sobre la movilización de los principales componentes musculares para cubrir las necesidades energéticas de los organismos (Heide et

ál. 2006; Hung et ál. 1997; Suárez et ál. 2010, Takahashi et ál. 2010)

Estrategias de restricción alimenticia y realimentación se han utilizado con el propósito de modificar los componentes corporales para la obtención de productos de mejor calidad. Grigorakis y Alexis (2005) utilizaron periodos de restricción con el fin de mejorar el producto final de *Sparus aurata*. De manera similar, Einen et ál. (1998) reportaron que los productores de salmón restringen ocasionalmente a los peces, días previos al sacrificio, con el fin de promover el catabolismo y la movilización de los lípidos para mejorar así la calidad del producto final.

Diversos estudios (Abdel et ál. 2006; Souza 1998; Zhu et ál. 2005) han comprobado el restablecimiento de los componentes corporales mencionados cuando los peces comienzan periodos de realimentación; sin embargo, esto ha sido evidente en tejido hepático y depósitos viscerales, seguidos del músculo, los cuales llegan a valores semejantes de animales no restringidos.

El propósito de este trabajo fue evaluar los efectos de periodos de restricción alimenticia, seguidos de periodos de realimentación, sobre los principales componentes del músculo blanco de *Piaractus brachypomus*.

MATERIALES Y MÉTODOS

La fase experimental fue realizada en las instalaciones de la Estación Piscícola La Terraza, adscrita a la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia, ubicada en Villavicencio (Meta) a 467 msnm y temperatura media de 28 °C. Los análisis químicos se realizaron en los Laboratorios de Nutrición Animal y de Toxicología de la misma Facultad.

Material biológico

Se utilizaron 791 individuos de cachama blanca, *Piaractus brachypomus*, de 490 ± 45 g de peso promedio, los cuales fueron distribuidos en tres estanques de tierra (uno por cada tratamiento) de 260 m² promedio a una densidad de 1,5 peces/m², donde fueron sometidos a un periodo de adaptación de dos semanas. En este periodo los peces recibieron alimentación al 3% de la biomasa, con un alimento balanceado comercial cuya composición se presenta en la tabla 1. Previo al inicio del experimento, se hizo el respectivo mantenimiento de suelo y paredes a cada estanque; posteriormente, fueron llenados y fertilizados con gallinaza, y una semana más tarde fueron introducidos los peces, que tuvieron acceso a recambio permanente de agua.

Tratamientos y manejo experimental

Los individuos fueron alimentados de acuerdo con el tratamiento, suministrándoles dos raciones diarias (9:00 y 14:00 horas) con base en la biomasa de cada estanque, la cual fue calculada a través de muestreos periódicos (cada 20 días) del 10% de la población, que además permitieron hacer un seguimiento del estado físico como lesiones o patógenos externos en los peces.

La fase experimental tuvo una duración de 12 semanas (84 días). Dentro de cada tratamiento esta fase fue dividida en dos periodos, cada uno de 6 semanas. El periodo inicial (I) o de restricción alimenticia (del día 1 al 42) y periodo final (F) o de realimentación (del día 43 al 84). Durante este tiempo, se aplicaron 2 tratamientos o protocolos de alimentación que fueron comparados con un tratamiento control y asignados

TABLA 1. Composición proximal y de ácidos grasos (porcentaje del total de ácidos grasos detectados) analizados del alimento utilizado en porcentaje de materia seca.

Variable	%
Materia Seca	90,5
Cenizas	9,0
Proteína	32,0
Extracto etéreo	3,1
Ácidos Grasos	%
C8:0	1,0
C12:0	0,1
C14:0	1,2
C15:0	0,2
C16:0	19,4
C16:1	2,3
C17:0	0,3
C18:0	5,0
C18:1n-9	27,1
C18:1n-7	1,5
C18:2n-6	33,8
C18:3n-3	2,5
C18:3n-6	0,1
C20:0	0,4
C20:1	0,7
C20:2	0,3
C20:4n-6	0,4
C20:5n-3	1,1
C22:0	0,2
C22:5n-3	0,3
C22:6n-3	1,7
C24:0	0,5
Pufas	40,1
Mufas	31,5
Sfas	28,4
n-3	5,5
n-6	34,3
n-6/n-3	6,2

aleatoriamente a cada estanque luego de terminado el periodo de adaptación, así:

- **Grupo control:** recibió alimentación todos los días.
- **Grupo de restricción moderada:** durante el periodo inicial (del día 1 al 42), los peces fueron restringidos por dos días y alimentados por tres días de manera alternada y consecutiva para un total del 42,9% de restricción (18 días) frente al grupo control. Durante el periodo final (del día 43 al 84), fueron restringidos por dos días y alimentados por tres días de manera alternada y consecutiva durante las primeras cuatro semanas, para finalizar dicho periodo con dos semanas de alimentación continua con una restricción del 23,81% (10 días) frente al grupo control. Este periodo, que en las primeras 4 semanas es igual al periodo inicial, se diferencia porque al finalizar los peces tuvieron disponibilidad total del alimento, con el fin de evaluar un periodo de realimentación más corto comparado con el grupo de restricción severa, además de comparar periodos intermitentes de alimentación frente a periodos continuos para un total del 33,3% de restricción alimenticia durante todo el estudio.
- **Grupo de restricción severa:** durante el periodo inicial (del día 1 al 42), los peces tuvieron una restricción alimenticia total, es decir, un 100% (42 días) de restricción frente al grupo control; una vez iniciado el periodo final (del día 43 al 84) se les suministró alimento todos los días, es decir, 0% de restricción alimenticia, para una restricción total del 50% frente al grupo control a través de todo el estudio.

Obtención y análisis de muestras

Para la obtención de muestras (músculo blanco) y su evaluación, se realizaron seis colectas de individuos: tres colectas en el periodo inicial, en los días 7, 14 y 42, y tres colectas en el periodo final, en los días 50, 68 y 84. En los días 7 y 14, se tomaron 6 peces por tratamiento, y en los muestreos restantes se tomaron 7 peces por tratamiento, los cuales fueron analizados de manera individual. Los intervalos de tiempo entre muestreos se determinaron con el fin de comparar el efecto de los protocolos propuestos con los diferentes estudios reportados, los cuales en su mayoría registran diferencias dentro de estos intervalos, además de marcar puntos determinantes en las respuestas como el inicio y el final de cada periodo.

Aparte de estas colectas, se realizó un muestreo inicial con el fin de evaluar el estado previo del músculo blanco al comenzar el estudio. El día de la colecta los peces fueron capturados y anestesiados individualmente con benzocaína (100 mg/l.), para luego ser sacrificados por sección de la médula espinal y eviscerados. A cada individuo se le retiró una porción de músculo blanco, aproximadamente 35 g, la cual fue almacenada a -20 °C para efectuar los análisis proximales de energía y de ácidos grasos (A.O.A.C. 2005). Para ello, fue necesario liofilizar cada muestra por 25 horas en un equipo Chirst® a -70 °C y 1,0 milibar de presión en bomba de vacío, lo que también permitió calcular la cantidad de materia seca y realizar los análisis posteriores.

Las cenizas se determinaron por diferencia de peso antes y después de incinerar aproximadamente 1 g de muestra en una mufla Autonics TZ4M® a 600 °C por dos horas. La proteína se estimó me-

dante la determinación del nitrógeno total de la muestra (800 mg aproximadamente) por el método de Kjeldahl, en un digestor con ácido sulfúrico y destilador Behr® BS5 con soda cáustica; el valor obtenido se multiplicó por 6,25 para hallar el valor total de proteína.

El extracto etéreo se determinó mediante la extracción con éter de petróleo de 1 g de muestra, utilizando extractor Soxhlet Buchi® por dos horas a 60 °C. La energía bruta se determinó por combustión de una muestra de 300 mg en una bomba calorimétrica Parr® con bomba de combustión a partir de oxígeno.

La composición porcentual del total de los ácidos grasos detectados se realizó únicamente en las muestras de filete obtenidas al finalizar el experimento (día 84), ya que se buscaba verificar el contenido de estos en el producto final destinado al consumo humano. Para la determinación del perfil de ácidos grasos, los lípidos se extrajeron utilizando la metodología descrita por Folch (1957) y ajustándola al contenido de humedad de las muestras liofilizadas. Los lípidos extraídos fueron sometidos a metil-esterificación utilizando un reactivo comercial (Meth-Prep II®) y analizados en un cromatógrafo de gases equipado con un detector de ionización de llama (Shimadzu GC-20A).

La separación de los metil-ésteres de los ácidos grasos se realizó con una columna Supelco® Omegawax 320 de 30 m x 0,32 mm x 0,25 µm de grosor de película, utilizando una rampa de temperatura (temperatura inicial de 80 °C, 10 °C/min hasta 190 °C, 20 min a 190 °C, 2 °C/min hasta 220 °C y 10 min a 220 °C). Como gas transportador se utilizó helio y la inyección se realizó en modo “split” (relación 1:50). Los anali-

tos se identificaron por comparación de los tiempos de retención de las muestras con los de una mezcla estándar de ácidos grasos (Supelco® 37component FAME-Mix).

Análisis estadístico

El análisis de las variables: cenizas, proteína, extracto etéreo y energía se realizó bajo un diseño experimental con estructura jerárquica que permitió comparar cada tratamiento dentro de cada periodo mediante cada fecha de muestreo (repeticiones); mientras que el análisis de la composición de ácidos grasos se llevó a cabo bajo un diseño experimental completo al azar, pues se buscó evaluar y comparar el efecto de los tres protocolos de alimentación luego de terminada la fase de realimentación (día 84) sobre la composición porcentual de los ácidos grasos. En ambos casos, los supuestos para cada modelo fueron material experimental homogéneo y error de muestro como una variable aleatoria independiente con distribución normal, media 0 y varianza común, los cuales se probaron mediante las pruebas de Shapiro-Wilk para la normalidad del error, y de Levene para homogeneidad de varianzas (Martínez y Martínez 1997).

Se realizó un análisis de varianza (ANAVA) para evaluar la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos y entre periodos (según el caso); las diferencias encontradas fueron comparadas con de la prueba de Duncan (5%). El análisis estadístico se realizó por medio del programa estadístico SAS.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos para cenizas, proteína, extracto etéreo, energía y áci-

dos grasos del músculo blanco (tablas 2 y 3) son expresados como porcentaje de la materia seca total que en promedio fue de 23,5%.

La composición promedio del músculo blanco de la cachama blanca al inicio del experimento fue $6,5 \pm 0,6\%$ de cenizas; $86,2 \pm 6,5\%$ de proteína cruda; $5,2 \pm 1,4\%$ de extracto etéreo y 5250 ± 103 cal g⁻¹ de energía.

Extracto etéreo

Los valores más altos a lo largo de los dos periodos los presentó el grupo control, mientras que el grupo de restricción severa presentó los más bajos (tabla 2). A través del periodo inicial, el tratamiento de restricción severa no presentó diferencias significativas entre sí, aun cuando se observó un descenso en el porcentaje de extracto etéreo a medida que aumentaba el periodo de restricción, al ser significativamente menor a los dos grupos restantes en los días 14 y 42, y llegar a disminuir en un 50,5% al día 14 y en un 45,7% al día 84 respecto al grupo control. Por otro lado, el grupo de restricción moderada disminuyó drásticamente en el día 14 (en un 23,1%) respecto al grupo control, aunque sin diferencias estadísticas.

En el periodo final, tan solo al día 50, los grupos de restricción fueron significativamente inferiores al grupo control, observándose un descenso significativo en el grupo control y en el de restricción severa. No obstante, al finalizar el periodo de realimentación, no se observaron diferencias entre los grupos experimentales.

Proteína

No se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de proteína cruda

TABLA 2. Composición proximal (media \pm DS) del músculo blanco de *Piaractus brachypomus* dentro del periodo de restricción alimenticia y realimentación en los diferentes tiempos de colecta.

Variable	Periodo	Día	Grupos experimentales					
			Control		Moderado		Severo	
Extracto Etéreo (%)	I	7	5,95 \pm 1,35		5,25 \pm 1,61		5,26 \pm 1,48	
		14	7,49 \pm 1,95	a	5,76 \pm 0,92	b	3,70 \pm 1,17	c
		42	7,61 \pm 1,52	a	5,90 \pm 1,24	a	4,13 \pm 0,99	b
	F	50	9,42 \pm 0,74	A,a	6,21 \pm 1,52	b	4,85 \pm 1,60	B,b
		68	7,05 \pm 0,79	B	6,84 \pm 1,21		6,19 \pm 0,36	B
		84	8,40 \pm 1,54	AB	7,81 \pm 1,28		8,22 \pm 2,40	A
Proteína (%)	I	7	83,37 \pm 3,98		86,30 \pm 1,68		84,82 \pm 2,13	
		14	85,00 \pm 2,87		86,56 \pm 0,55		88,39 \pm 1,59	
		42	83,99 \pm 2,56		84,54 \pm 3,74		86,38 \pm 1,58	
	F	50	80,70 \pm 3,24		85,17 \pm 2,86		87,42 \pm 2,69	
		68	83,81 \pm 4,63		85,25 \pm 3,55		84,74 \pm 2,79	
		84	83,18 \pm 3,70		83,94 \pm 2,09		82,56 \pm 4,67	
Cenizas (%)	I	7	6,19 \pm 0,19		6,23 \pm 0,12	AB	6,32 \pm 0,18	
		14	6,07 \pm 0,22	b	6,41 \pm 0,08	A,a	6,33 \pm 0,16	a
		42	6,03 \pm 0,32	b	6,12 \pm 0,24	B,b	6,47 \pm 0,13	a
	F	50	5,90 \pm 0,16	b	6,06 \pm 0,14	b	6,54 \pm 0,21	A,a
		68	5,77 \pm 0,31	b	6,01 \pm 0,47	a	6,23 \pm 0,13	B,a
		84	5,89 \pm 0,25		5,95 \pm 0,22		5,88 \pm 0,19	C
Energía (cal g ⁻¹)	I	7	5145,74 \pm 147	B	5088,30 \pm 102	B	5082,36 \pm 125	
		14	5360,04 \pm 107	A	5168,13 \pm 55	AB	5162,28 \pm 149	
		42	5408,38 \pm 114	A,a	5311,28 \pm 165	A,ab	5161,15 \pm 73	b
	F	50	5578,55 \pm 141	a	5465,69 \pm 132	ab	5298,64 \pm 280	B,b
		68	5632,96 \pm 255	a	5364,25 \pm 313	b	5294,74 \pm 88	B,b
		84	5543,39 \pm 250		5474,48 \pm 159		5597,85 \pm 277	A

Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) dentro de cada periodo en cada tratamiento; Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos dentro de cada día de muestreo. Periodo de restricción o inicial (I) y periodo de realimentación o final (F).

TABLA 3. Ácidos grasos (media \pm DS) y relación n-6/n-3 del músculo blanco de *Piaractus brachipomus* al final del periodo de realimentación, como porcentaje del total de ácidos grasos detectados.

Ácidos Grasos	Grupos experimentales		
	Control	Moderado	Severo
SFA	39,5 \pm 1,1	39,9 \pm 0,9	39,8 \pm 0,5
MUFA	34,7 \pm 1,9	36,4 \pm 1,1	36,6 \pm 2,0
PUFA	25,8 \pm 1,9	23,8 \pm 1,3	23,6 \pm 2,0
n-3	8,2 \pm 1,2 a	6,7 \pm 1,1 b	6,9 \pm 1,3 b
n-6	16,8 \pm 0,7	16,5 \pm 0,3	16,0 \pm 0,8
n-6/n-3	2,1 \pm 0,2	2,5 \pm 0,3	2,4 \pm 0,4

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos MUFA= mono unsaturated fatty acids (ácidos grasos mono-insaturados); PUFA= poly unsaturated fatty acids (ácidos grasos poli-insaturados); SFA= saturated fatty acids (ácidos grasos saturados).

(tabla 2) entre los tiempos y periodos de colecta. Sin embargo, los valores más altos de proteína se registraron en los días 14 y 50 para el grupo de restricción severa, mientras que en el grupo control se obtuvo el menor valor al día 50.

Cenizas

El grupo de restricción moderada en el periodo inicial y el grupo de restricción severa en el periodo final (tabla 2) presentaron diferencias significativas; asimismo, hubo diferencias significativas entre los diferentes grupos dentro de cada día de muestreo, excepto para los días 7 y 84, donde el grupo control tuvo los valores más bajos y el de restricción severa los más altos, exceptuando los días 14 y 84. Sin embargo, en la última fecha de muestreo no se observaron diferencias significativas entre los tres grupos.

Energía

En la tabla 2, se presentan los valores de energía obtenidos en el presente estudio. En el transcurso del periodo inicial se

observó un aumento significativo en el nivel de energía en las muestras del grupo control y de restricción moderada, cuyo nivel se mantuvo sin diferencias en el periodo final; por su parte, en el grupo de restricción severa los niveles de energía se mantuvieron constantes durante el periodo de restricción, contrario a lo observado en el periodo de realimentación donde se hizo evidente un aumento significativo en los niveles de energía, aunque fueron estadísticamente inferiores al grupo control en los días 42, 50 y 68. El grupo de restricción moderada solo presentó diferencias con el grupo control al día 68. A pesar de que durante el experimento los valores más altos se registraron para el grupo control, en el día 84 no se encontraron diferencias significativas entre los grupos.

Ácidos grasos

En el perfil lipídico de las muestras de músculo blanco analizadas al finalizar el experimento se observaron diferencias significativas para los ácidos grasos ome-

TABLA 4. Perfil de ácidos grasos (%) del músculo blanco de *Piaractus brachipomus* al final del periodo de realimentación.

Ácidos grasos	Grupos experimentales		
	Control	Moderado	Severo
Ácidos grasos saturados (SFA)			
C14:0 Mirístico	2,6	2,5	2,7
C15:0 Pentadecanoico	0,2	0,2	0,2
C16:0 Palmítico	26,5	26,3	27,1
C17:0 Heptadecanoico	0,3	0,3	0,3
C18:0 Estearico	9,6	10,2	9,2
C20:0 Araquídico	0,2	0,2	0,2
C22:0 Behénico	0,1	0,2	0,1
Ácidos grasos mono-insaturados (MUFA)			
C14:1 Miristoleico	0,2	0,2	0,22
C16:1 Palmitoleico	6,1	5,8	6,97
C17:1 cis-10 Heptadecanoico	0,1	0,1	0,12
C18:1 n-9c/t Oleico	27,6	29,5	28,58
C20:1 Eicosanoico	0,6	0,7	0,66
C24:1 Nervónico	0,1	0,1	0,04
Ácidos grasos poli-insaturados (PUFA)			
C18:2n-6c/t Linoleico	14,1	14,0	13,6
C18:3n-3a Linolénico	1,0	0,8	0,9
C18:3n-6 g Linolénico	0,1	0,2	0,1
C20:2 Eicosadienoico	0,6	0,5	0,5
C20:3n-3 cis-11,14,17 Eicosatrienoico	0,1	0,2	0,2
C20:3n-6 cis-8,11,14 Eicosatrienoico	0,9	0,9	0,8
C20:4n-6 Araquidónico	1,7	1,6	1,5
C20:5n-3 Eicosapentanoico(EPA)	1,5	1,2	1,2
C22:2 Docosadienoico	0,2	0,1	0,2
C22:5n-3 Docosapentaenoico (DPA)	0,7	0,7	0,6
C22:6n-3 Docosahexaenoico (DHA)	4,9	3,8	3,9

ga 3 (n-3), siendo mayor su contenido en el grupo control (tabla 3). Los ácidos grasos omega 6 (n-6), polinsaturados (PUFAS), monoinsaturados (MUFAS) y saturados (SFAS), y la relación n-6/n-3, no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. En la tabla 4, se puede observar el perfil de ácidos grasos obtenidos al final del ensayo para los tres grupos experimentales, donde se observa el mayor porcentaje de los ácidos grasos n-3, α -linolénico, EPA y DPA pero en especial el DHA del grupo control.

DISCUSIÓN

Durante el periodo inicial, en los dos grupos de restricción no se observaron diferencias significativas entre sí en el nivel de lípidos del músculo blanco, lo que podría explicarse por un posible gasto inicial de los carbohidratos del músculo o porque probablemente el periodo de restricción no fue lo suficientemente extenso para causar una disminución significativa en el nivel de lípidos; así lo reportan Echevarría et ál. (1997), quienes sugieren que en la fase inicial del periodo de restricción se da una movilización de la masa muscular como un todo y solo con tiempos mayores de restricción se podrían observar cambios significativos en la composición muscular, la cual puede variar internamente entre el músculo blanco y el músculo rojo, siendo en este último mayor el porcentaje de lípidos (Carvalho y Urbinati 2005; Zaboukas et ál. 2006).

Aunque no se determinó el contenido de lípidos del músculo rojo, las diferencias del grupo de restricción severa frente al grupo control indican un continuo uso de lípidos del músculo blanco durante la fase de restricción, como respuesta a la necesidad de cubrir los re-

querimientos energéticos. Los anteriores resultados están de acuerdo con lo reportado por Heide et ál. (2006) y Echevarría et ál. (1997). No obstante, se observan diferencias en el tiempo, en las que los cambios del nivel de lípidos se vuelven significativos, existiendo siempre la tendencia a disminuir a medida que avanza el periodo de restricción (Cho 2005; Grigorakis y Alexis 2005; Montserrat et ál. 2007; Souza 1998; Xie et ál. 1997; Shiau et ál. 2001).

Las respuestas del grupo de restricción moderada sugieren que hubo una mejor disposición y utilización del alimento suministrado durante los periodos intermitentes de restricción y realimentación, lo que se ve reflejado en un ligero incremento de los lípidos hacia el final del periodo inicial, siguiendo una dinámica similar a la del grupo control, lo cual supone que periodos alternados de restricción y realimentación no permiten una alta deposición de lípidos a nivel muscular, comparados con animales alimentados continuamente.

Zhu et ál. (2005) observaron en *Leiocassis longirostris* a través del periodo de realimentación que los niveles de lípidos fueron restablecidos al nivel de animales no restringidos, respuesta que coincide con lo observado en el presente trabajo para los dos grupos de restricción, una vez iniciado el periodo de realimentación y en su transcurso, especialmente en el grupo de restricción severa. Esta respuesta confirma que los animales movilizan parte de la reserva de lípidos del músculo para su mantenimiento durante la fase de restricción alimenticia.

Algunos autores reportan que periodos de restricción alimenticia no afectan la proteína muscular de la misma manera como se afecta el nivel de lípidos (Cho

2005; Heide 2006; Souza 1998). De acuerdo con ello, en el actual trabajo la aplicación de periodos de restricción alimenticia severa o moderada, seguidos de periodos de realimentación, no afectaron el porcentaje de proteína en el músculo blanco; por el contrario y aunque no se presentaron diferencias significativas, sí se observó como una tendencia en los individuos restringidos mayores porcentajes de proteína que los del grupo control. Esto no significa que los individuos restringidos hayan depositado una mayor cantidad de proteína, sino que dichos valores son repuesta al cambio en la movilización de los nutrientes importantes para el mantenimiento corporal durante periodos de restricción; es decir, durante restricciones alimenticias son los carbohidratos y los lípidos los primeros en ser utilizados y su movilización explicaría la presencia de mayor porcentaje de proteína en los individuos restringidos.

Lo anterior soportaría la teoría de que en momentos de restricción alimenticia se protegen ciertos nutrientes, en este caso, la proteína (Abdel et ál. 2006; Regost 2001). En contraste con estos resultados, otros autores muestran el uso de proteína y lípidos como fuente de energía casi de manera simultánea durante periodos de restricción (Rueda et ál. 1998; Shiau et ál. 2001; Xie et ál. 1997; Zhu et ál. 2005).

Periodos de restricción alimenticia parecen promover un aumento en el porcentaje de cenizas del músculo blanco de *Piaractus brachypomus*, respuesta principalmente observada en el grupo de restricción severa y similar a la tendencia observada en *Oreochromis niloticus* *Paralichthys olivaceus* y *Lates calcarifer* (Abdel et ál. 2006; Cho 2005; Tian y Qin 2003).

Al finalizar el periodo de restricción, sin embargo, el grupo de restricción moderada presentó valores similares a los del grupo control, lo cual coincide con los reportes de Shiau et ál. (2001) en músculo blanco de *Chanos chanos* y de Souza (1998) en carcasa de *Piaractus mesopotamicus*, pero contrario a lo observado por Echevarría et ál. (1997) en músculo blanco de *Dicentrarchus labrax*. En el periodo de realimentación del grupo de restricción severa, se observó una disminución significativa en el porcentaje de cenizas, similar a la tendencia presentada por los dos grupos restantes; resultados contrarios a los observados por Souza (1998) y Cho (2005), quienes no encontraron diferencias en dicha variable después del periodo de realimentación.

Estas diferencias podrían indicar que restricciones alimenticias promueven la movilización de esta fracción muscular según sea la intensidad de la restricción y al ser también las cenizas parte esencial, se movilizan junto con la proteína y los lípidos en conjunto dentro del músculo.

No son muchos los trabajos que reportan el efecto de periodos de restricción sobre la energía de la carcasa o el músculo blanco. En el presente trabajo, el grupo de restricción moderada presentó una dinámica similar al del grupo control, lo cual indica probablemente que el periodo de restricción moderada les permitió a los individuos una deposición de energía total a través de los nutrientes, similar a la de los peces no restringidos. En el grupo de restricción severa los niveles de energía permanecieron estables, resultado que difiere de los reportados por Tian y Qin (2003), Xie et ál. (1997) y Zhu et ál. (2005). No obstante, al finalizar el primer periodo, los valores fueron significativamente

menores a los del grupo control, lo cual confirmaría que hubo una importante movilización de nutrientes para el mantenimiento de las funciones vitales durante la restricción alimenticia y que por ello no fue posible una deposición energética. En el transcurso del periodo de realimentación, el grupo de restricción severa mostró un aumento significativo de la energía, similar a la dinámica observada en los lípidos, lo cual confirmaría que existe una relación directa con el aumento en la deposición de nutrientes en el músculo y su respectivo equilibrio.

Al finalizar los respectivos periodos de restricción alimenticia, fue claro el cambio en el movimiento de nutrientes, lo que se confirma al compararlos con los valores del grupo control. Sin embargo y de acuerdo con Weatherley y Gill (1987), al finalizar el periodo de realimentación, se observa un restablecimiento de todas las variables evaluadas como respuesta al retorno a condiciones favorables de alimentación, lo que fue observado en los resultados del presente trabajo, que coinciden con lo reportado por otros autores bajo diferentes esquemas de restricción en diferentes especies (Ali y Jauncey 2004; Cho 2005; Gaylord y Gatlin III 2001; Zhu 2005). Dichos resultados sugieren que los protocolos evaluados permitieron una adecuada compensación con respecto a la composición muscular.

El menor porcentaje de n-3 en el músculo blanco de los grupos restringidos podría sugerir que hubo un posible efecto residual de los periodos de restricción alimenticia sobre el contenido de ácidos grasos, el cual no se pudo compensar a través del periodo de realimentación. Einen et ál. (1998) observaron que el porcentaje de los MUFA aumentó

con el grado de restricción alimenticia, lo que coincide con un ligero pero no significativo aumento observado en el actual trabajo; sin embargo, tales autores sugieren que dichos periodos de restricción tuvieron efectos marginales sobre la composición de ácidos grasos del filete, tal como lo reportan De Silva et ál. (1997), Rondán et ál. (2004) y Suárez et ál. (2010).

El patrón en los ácidos grasos para la cachama blanca está de acuerdo con lo reportado para otras especies de agua dulce (Bahurmiz y Ng 2007; De Silva et ál. 1997; Inhamuns et ál. 2009; Jabeen y Chaudhry 2011; Luzia et ál. 2003; Moreira et ál. 2001; Steffens 1997). No obstante, la proporción entre SFA, MUFA y PUFA contrasta con la reportada para otras especies (Sant'Ana y Mancini-Filho 2000; Hallier et ál. 2007), lo cual podría obedecer a un efecto de la especie, dieta y tipo de ayuno aplicado. Por otro lado, la relación n-6/n-3 se encuentra dentro del rango ideal para el consumo humano, según las recomendaciones de Simopoulos (2000).

El estatus nutricional previo a la restricción alimenticia puede ser determinante en la respuesta durante la restricción. En el presente trabajo la dieta suministrada antes del periodo de restricción fue una dieta con niveles estándares para peces tropicales, que aparentemente permitió una adecuada respuesta frente a la fase de restricción, pues no se observaron cambios drásticos que determinaran un detrimento de la composición muscular, así como fue observado por otros autores (Grigorakis y Alexis 2005; Regost et ál. 2001).

CONCLUSIONES

Juveniles de *Piaractus brachipomus* utilizan principalmente sus lípidos musculares para enfrentar periodos de restricción alimenticia, y esto en términos de calidad nutricional no afecta la composición del músculo blanco posterior a la realimentación por un periodo similar al tiempo de restricción. Asimismo, los protocolos evaluados permitieron el restablecimiento de los nutrientes alterados durante el periodo de restricción alimenticia, lo que podría sugerir que la inclusión de protocolos de restricción en el cultivo de especies nativas podría beneficiar la productividad del sistema. Aunque se observaron diferencias significativas sobre el porcentaje de n-3, esto no afectó la relación n-6/n-3 lo cual indica en términos de calidad nutricional una ventaja de interés hacia los consumidores.

Agradecimientos

A los laboratorios de Nutrición Animal y Toxicología de la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, por su apoyo y colaboración.

REFERENCIAS

1. 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.). J Appl Aquacult. 18(3): 17-36.
2. Ali MZ, Jauncey K. 2004. Evaluation of mixed feeding schedules with respect to compensatory growth and body composition in African catfish *Clarias gariepinus*. Aquacult Nutr. 10(1): 39-45.
3. Ali M, Nicieza A, Wootton RJ. 2003. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. Fish and fisheries. 4(2): 147-190.
4. A.O.A.C. 2005. Official methods of analysis. 18th ed. Washington D.C.: Association of Official Analytical Chemist.
5. Bahurmiz OM, Ng WK. 2007. Effects of dietary palm oil source on growth, tissue fatty acid composition and nutrient digestibility of red hybrid tilapia, *Oreochromis* sp., raised from stocking to marketable size. Aquaculture. 262(2-4): 382-392.
6. Carvalho EG, Urbinati EC. 2005. Crescimento, desenvolvimento gonadal e composição muscular de matrinxas (*Brycon cephalus*) submetidos a restrição alimentar e realimentação durante um ano. Cienc Rural. 35(4): 897-902.
7. 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.
8. De Silva SS, Gunasekera RM, Austin CM. 1997. Changes in the fatty acid profiles of hybrid red tilapia, *Oreochromis mossambicus* X O. *niloticus*, subjected to short-term starvation, and a comparison with changes in seawater raised fish. Aquaculture. 153(3-4): 273-290.
9. Echevarría G, Martinez M, Zamora S. 1997. Evolution of biometric indices and plasma metabolites during prolonged starvation. Comp Biochem Phys A. 118(1): 111-123.
10. Einen O, Waagan B, Thomassen MS. 1998. Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*) I. Effects on weight loss, body shape, slaughter- and fillet-yield, proximate and fatty acid composition. Aquaculture. 166: 85-104.
11. Folch J, Lees M, Sloane GH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. J Biol Chem [Internet]. [accessed: October 24 2009]; 226: 497-507. Disponible en: <http://www.jbc.org/content/226/1/497.full.pdf+html>.
12. Gaylord TG, Gatlin III DM. 2001. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish *Ictalurus punctatus*. Aquaculture. 194: 337-348.

13. Grigorakis K, Alexis MN. 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. *Aquacult Nutr.* 11(5): 341–344.
14. Hallier A, Serot T, Prost C. 2007. Influence of rearing conditions and feed on the biochemical composition of fillets of the European catfish (*Silurus glanis*). *Food Chem.* 103(3): 808–815.
15. Heide A, Foss A, Stefansson SO, Mayer I, Norberg B, Roth B, Jenssen MD, Nortvedt R, Imsland AK. 2006. Compensatory growth and fillet crude composition in juvenile Atlantic halibut: Effects of short term starvation periods and subsequent feeding. *Aquaculture.* 261: 109–117.
16. Hung S, Liu W, Li H, Storebakken T, Cui Y. 1997. Effect of starvation on some morphological and biochemical parameters in white sturgeon, *Acipenser transmontanus*. *Aquaculture.* 151(1–4): 357–363.
17. Inhamuns AJ, Bueno MR, Santos W. 2009. Seasonal variations in total fatty acid composition of muscles and eye sockets of tucunaré (*Cichla* sp.) from the Brazilian Amazon area. *Food Chem.* 117(2): 272–275.
18. Jabeen F, Chaudhry AS. 2011. Chemical compositions and fatty acid profiles of three freshwater fish species. *Food Chem.* 125(3): 991–996.
19. Luzia LA, Sampaio GR, Castellucci CMN, Torres EAFS. 2003. The influence of season on the lipid profiles of five commercially important species of Brazilian fish. *Food Chem.* 83(1): 93–97.
19. Martínez BR, Martínez RN. 1997. Diseño de experimentos, análisis de datos estándar y no estándar. 1a ed. Bogotá, D.C.: Fondo Nacional Universitario. 461 p.
20. Montserrat N, Gómez P, Bellini G, Capilla E, Pérez J, Navarro I, Gutiérrez J. 2007. 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.* 267: 188–198.
21. Moreira A, Visentainer J, Souza NE, Matsushita M. 2001. Fatty acids profile and cholesterol contents of three Brazilian Brycon freshwater fishes. *J Food Composition Analysis.* 14(6): 565–574.
22. Regost C, Arzel J, Cardinal M, Laroche M, Kaushik SJ. 2001. Fat deposition and flesh quality in seawater reared, triploid brown trout (*Salmo trutta*) as affected by dietary fat levels and starvation. *Aquaculture.* 193(3): 325–345.
23. Rondán, M, Hernández MD, Egea MA, García B, Rueda FM, Martínez FJ. 2004. Effect of feeding rate on fatty acid composition of sharpnose sea bream (*Diplodus puntazzo*). *Aquacult Nutr.* 10(5): 301–307.
24. 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.
25. Sant'Ana LS, Mancini-Filho J. 2000. Influence of the addition of antioxidants in vivo on the fatty acid composition of fish fillets. *Food Chem.* 68(2): 175–178.
26. SAS Institute. 2000. SAS/STAT User's Guide: Statistics. Release 6.04 Edition. SAS Institute Inc.
27. Shiao CY, Pong YJ, Chiou TK, Tin YY. 2001. Effect of starvation on free histidine and amino acids in white muscle of milkfish *Chanos chanos*. *Comp Biochem Phys B.* 128(3): 501–506.
28. Simopoulos A. 2000. Symposium: role of poultry products in enriching the human diet with n-3 PUFA, human requirement for n-3 polyunsaturated fatty acids. *Poultry Sci.* 79: 961–970.
29. Souza VL. 1998. Efeitos da restrição alimentar e da realimentação no crescimento e metabolismo energético de juvenis de pacú (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887). [Tesis de maestría]. [São Paulo, Brasil]. Universidade Estadual Paulista.
30. Steffens W. 1997. Effects of variation feeds on nutritive in essential fatty acids in fish value of freshwater fish for humans. *Aquaculture.* 151(1–4): 97–119.
31. Suárez M, Rincón M, Abellán E, Morales AE, Gallego GM, Cardenete G. 2010. Influence

- of starvation on flesh quality of farmed *dentex*, *Dentex dentex*. J World Aquacult Soc. 41(4): 490-505.
32. Takahashi LS, Biller JD, Criscuolo-Urbinati E, Urbinati EC. 2011. Feeding strategy with alternate fasting and refeeding: effects on farmed pacu production. J Anim Physiol Anim Nutr. 95(2): 259-266
33. Tian X, Qin JG. 2003. A single phase of food deprivation provoked compensatory growth in barramundi *Lates calcarifer*. Aquaculture. 224(1-4): 169-179.
34. Weatherley A, Gill H. 1987. The biology of fish growth. London: Academic press. 443 p.
35. Xie S, Cui Y, Yang Y, Liu J. 1997. Energy budget of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in relation to ration size. Aquaculture 154(1): 57-68.
36. Zaboukas N, Miliou H, Megalofonou P, Moraitou M. 2006. Biochemical composition of the atlantic bonito *Sardasarda* from the Aegean sea (Eastern Mediterranean sea) in different stages of sexual maturity. J Fish Biol. 69(2): 347-362.
37. 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.