

PECES DULCEACUÍCOLAS COMO ALIMENTO FUNCIONAL: PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN TILAPIA Y BOCACHICO CRIADOS EN POLICULTIVO

FRESHWATER FISH AS A FUNCTIONAL FOOD: FATTY ACID PROFILE IN POLYCULTURE OF TILAPIA AND BOCACHICO

PEIXES DE ÁGUA DOCE COMO UM ALIMENTO FUNCIONAL: PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DE TILÁPIA E BOCACHICO EM POLICULTURA

TATIANA ISABEL RESTREPO V.¹, GONZALO JAIR DÍAZ G.², SANDRA CLEMENCIA PARDO C.³

RESUMEN

Para evaluar el efecto de dos estrategias alimentarias y presencia de sustrato para perifiton sobre el perfil de ácidos grasos, características sensoriales y microbiológicas en filetes de tilapia y bocachico, se realizó un policultivo bajo un diseño factorial 2x2 con tres réplicas. El primer factor, A1: alimento con 20% de proteína bruta (PB) y A2: alimentación con niveles decrecientes de PB, (38, 32, 24 y 20%). El segundo factor B1: presencia y B2: ausencia de sustrato para perifiton. Al final de un periodo de cultivo de ocho meses fueron analizados los filetes de las dos especies. Las muestras cumplieron con los parámetros microbiológicos del INVIMA. No hubo diferencias significativas sensoriales entre tratamientos. En tilapia, la estrategia alimentaria tuvo efectos sobre el perfil de ácidos grasos, no en bocachico. En bocachico se encontraron relaciones Ω -6/ Ω -3 de $0,7 \pm 0,12$, en tilapia de $3,9 \pm 1,2$ y en perifiton de $0,7 \pm 0,007$. Por la relación Ω -6/ Ω -3 menor a

Recibido para evaluación: 18/11/2011. **Aprobado para publicación:** 28/04/2012

- 1 Ingeniera Biológica, MSc. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
- 2 Médico Veterinario, PhD, Profesor Asociado. FMVZ, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá
- 3 Médica Veterinaria Zootecnista, PhD. Profesora Asociada, FCA/DPA/BIOGEM, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Correspondencia: scpardoc@unal.edu.co

1 y la presencia de DHA y EPA, el bocachico reúne características para ser identificado como un alimento funcional. El perifiton presentó niveles altos de ALA, siendo una fuente apropiada para peces. Tilapia tiene más alta relación de Ω -6: Ω -3, pero con adecuados niveles de DHA y EPA.

ABSTRACT

To evaluate the effect of two feeding strategies and the presence of substrate for periphyton on the fatty acid profile, sensory and microbiological characteristics in tilapia and bocachico fillets, we performed a polyculture under a 2x2 factorial design with 3 replicates. The first factor with two levels, A1: food with 20% crude protein [CP] and A2: a meal plan with decreasing levels of PB, (38, 32, 24 and 20%). The second factor B1 substrate and B2 absence of substrate for periphyton. At the end of the cultivation of eight months were analyzed both fish fillets. All samples met the standard microbiological parameters as INVIMA. The sensory panel found no significant differences between treatments. There was no effect of the presence of substrate on fatty acid profile in fish. In tilapia, the feeding strategy had effects on the fatty acid profile. Ω -6/ Ω -3 ratio was 0.7 ± 0.12 in bocachico, in tilapia was 3.9 ± 1.2 and 0.7 ± 0.007 for periphyton. Ω -6/ Ω -3 ratio was less than 1 and the presence of DHA and EPA, bocachico can be identified as a functional food. Periphyton showed high levels of ALA, which makes it an appropriate source for fish. Tilapia has a higher ratio of Ω -6/ Ω -3, but with good levels of DHA and EPA.

PALABRAS CLAVES:

DHA, EPA, Omega 3, Omega 6, Perfil sensorial

KEY WORDS:

DHA, EPA, Omega 3, Omega 6, Sensory profile

PALAVRAS-CHAVE:

DHA, EPA, Omega 3, Omega 6, Análise sensorial

RESUMO

Para avaliar o efeito de duas estratégias alimentarias e a presença de substrato para perifiton no perfil dos ácidos graxos, características sensoriais e microbiológicas dos files de tilápia e bocachico, foi feito um policultivo sob um desenho fatorial 2x2 com três repetições. O primeiro fator com dois níveis, A1: alimento de 20% de proteína bruta (PB) e A2: alimentação com níveis decrescentes de PB, (38, 32, 24 y 20%). O segundo fator B1: presença e B2: ausência de substrato para perifiton. No final do cultivo de oito meses, foram analisados os filés das duas espécies. Todas as amostras tiveram os parâmetros microbiológicos segundo o INVIMA. No painel sensorial não se encontraram diferenças significativas entre os tratamentos. Em tilapia, a estratégia alimentaria teve efeitos no perfil de ácidos graxos, mas não em bocachico. Em bocachico se encontraram relações Ω -6/ Ω -3 de $0,7 \pm 0,12$, em tilapia de $3,9 \pm 1,2$ e no perifiton de $0,7 \pm 0,007$. Pela relação Ω -6/ Ω -3 e a presença de DHA e EPA, o bocachico tem características para ser identificado como um alimento funcional. O perifiton apresentou níveis altos de ALA, sendo uma fonte apropriada para peixes. Tilápia tem mais alta relação de Ω -6/ Ω -3, mas com bons níveis de DHA e EPA.

INTRODUCCIÓN

Existe suficiente evidencia científica para soportar la hipótesis que propone que a través de la modulación de funciones específicas en el cuerpo, la dieta puede traer beneficios fisiológicos y psicológicos al ser humano [1]. Esto puede lograrse por medio de los alimentos funcionales, que fueron definidos por Diplock *et al.* [2] de la siguiente manera: “un alimento puede ser reconocido como funcional si es satisfactoriamente demostrado que más allá de su efecto nutricional, actúa beneficiando una o más funciones en el cuerpo, siendo pertinente para el bienestar y la salud o la reducción de riesgo de enfermedad”. Con la divulgación sobre los alimentos funcionales, el público cada vez más preocupado por su salud, está muy pendiente de las ventajas potenciales otorgadas por ciertos alimentos [3]. Dentro de este grupo de alimentos, los peces poseen alta potencialidad por su alto contenido de ácidos grasos que no pueden ser sintetizados por el ser humano y que en las proporciones adecuadas pueden otorgar beneficios al consumirlos.

Los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs), son los de interés en este contexto de alimento funcional, tales como Ω -3 y Ω -6, los cuales no pueden ser sintetizados por el ser humano, por lo que se denominan ácidos grasos esenciales (AGE) y deben ser obtenidos de los alimentos [4].

Existe controversia respecto a la relación Ω -6/ Ω -3 que es beneficiosa para el ser humano. Hay una competencia saludable entre estas dos series de AGE por la formación de eicosanoides (prostaglandinas, tromboxanos y leucotrienos) los cuales son responsables de efectos fisiológicos negativos. Cuando se consume una proporción más alta de Ω -6 que de Ω -3 se crea un desequilibrio incrementando los efectos perjudiciales para la salud. Por esto, aumentar el consumo de Ω -3, especialmente EPA y DHA inhibe la producción de eicosanoides estableciendo el equilibrio saludable [5].

En general, los peces marinos son ricos en EPA y en DHA, con una relación Ω -6/ Ω -3 que oscila entre 1:7 y 1:10, lo cual es atribuido a la composición lipídica del plancton, importante fuente alimenticia. Los estudios también hacen evidente que por medio de la dieta suministrada a los peces de agua dulce se puede

mejorar la relación Ω -6/ Ω -3 y convertirlo en un alimento funcional [6].

La Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) es el segundo pez de agua dulce más cultivado en el mundo, después de las carpas. Más de 100 países en el mundo lo cultivan, siendo China el mayor productor de carne de este pez, con una cifra cercana al 50% de la producción mundial [7,8].

Tilapia nilótica no tiene una buena relación de ácidos grasos Ω -6/ Ω -3 [10], aun cuando presenta todos los AG importantes [5], siendo esto un reflejo de lo consumido en la dieta, con lo cual se resalta la posibilidad de mejorarla a través de la alimentación y la genética [4]. Existen otros factores que pueden alterar tal relación como algunas prácticas culturales [10].

De otra parte el bocachico (*Prochilodus magdalenae*) es la cuarta especie en producción en Colombia y sus hábitos alimenticios hacen de él un pez ecológico que debiera ser utilizado siempre en policultivo con una especie principal. Sin embargo, a pesar de su importancia, se observa escasez de estudios al respecto.

La acuicultura procura métodos que le permitan disminuir el uso de alimento balanceado, mejorar la relación con el medio ambiente y producir alimentos de mejor calidad. El perifiton es una comunidad compleja de plantas y animales adheridas por una matriz de mucopolisacáridos [11] y que puede servir de alimento para especies como tilapia y bocachico, entre otros beneficios. Por lo tanto, se podría estimular la producción de perifiton en estanques a través de la incorporación de sustratos apropiados dentro de los estanques de cultivo, lo cual permitiría disminuir la cantidad de alimento balanceado y mejorar la calidad del efluente por el uso de los nutrientes provenientes de los residuos. El perifiton está compuesto principalmente por algas, lo cual podría considerarse un importante aporte de los precursores de los PUFAs de forma económica.

El objetivo de este estudio fue evaluar el perfil de ácidos de grasos de tilapia y bocachico en policultivo, las características microbiológicas y sensoriales con diferentes estrategias alimentarias y la presencia de sustratos para perifiton. Adicionalmente, ver su potencial como alimentos funcionales.

MÉTODO

Tipo de estudio y ubicación. El estudio, de tipo experimental, se realizó en la Piscícola Meléndez, Cereté, Córdoba, Colombia, con coordenadas geográficas de 75°42' longitud oeste y 8°50' latitud norte, con respecto al meridiano de Greenwich.

Material biológico. Se utilizaron alevinos de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* variedad Chitralada, adquiridos a una empresa del sector que garantizó su calidad, homogeneidad de tamaño y alto porcentaje de reversión sexual. Los alevinos de bocachico *Prochilodus magdalenae* fueron suministrados por el Centro de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba, CINPIC.

Diseño experimental. El experimento fue desarrollado bajo el sistema de policultivo, con un factorial 2x2, así: El primer factor con dos niveles, A1: alimento con el 20% de proteína bruta (PB) durante todo el cultivo y A2: un plan comercial con niveles decrecientes de proteína a lo largo del cultivo (38, 34, 28, 20% de PB) de acuerdo a las indicaciones del fabricante; y el segundo factor B1: presencia de sustrato y B2 ausencia de sustrato para perifiton, con 3 réplicas cada uno, para un total de 12 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió de un estanque de 90 m² construido en tierra, 6 de los cuales tuvieron sustrato para perifiton. Cada unidad experimental recibió 243 tilapias y 63 bocachicos. El sustrato consistió en tubos verticales dentro de la columna de agua, de 6 cm de diámetro y en una densidad de 3,3 tubos/m². Previo a la siembra de los peces, se tomaron muestras de suelo para análisis de pH y contenido de nutrientes y así definir los pasos siguientes. No se realizó corrección del pH por cuanto éste estuvo por encima de 6. Tampoco se fertilizó por cuanto los análisis de suelo mostraron adecuado contenido de nutrientes. No se aplicaron fertilizantes durante el periodo experimental restante y tampoco recambio de agua; únicamente se repuso las pérdidas por evaporación e infiltración. La alimentación fue diaria a razón de 3% de la biomasa por día. El policultivo se desarrolló durante 8 meses, al cabo de los cuales de cada estanque se tomaron muestras de filetes de bocachico y tilapia los cuales fueron transportados y almacenados a 4°C durante 20 h, en seguida se tomaron 10 g para determinación del perfil de ácidos grasos, 10 g de muestra para bromatología, 12 g de muestra

para microbiología y 15 g para el análisis de perfil sensorial. La muestra para determinación de ácidos grasos se almacenó a -80°C y posteriormente se liofilizó previamente a la extracción de los lípidos de acuerdo al método de Folch [12], con algunas modificaciones.

Determinación del perfil de ácidos grasos.

Los reactivos utilizados incluyeron una solución estándar de 37 "FAMES" ("fatty acid methyl esters") producida por Supelco (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) de concentración de 10 µg/mL en diclorometano de la sumatoria de FAMES. Los solventes utilizados (metanol, cloroformo y diclorometano) fueron de Merck (Darmstadt, Alemania) y el agua se obtuvo de un sistema MilliQ (Millipore, Billerica, MA, USA). Para la formación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos se utilizó como reactivo de metilación el Meth-Prep II® (Grace Davison Discovery Sciences, Deerfield, IL, USA).

Para la extracción de los lípidos se utilizó una modificación del método de Folch [12] como se describe a continuación: en un frasco con tapa de 50 mL de capacidad se pesó un gramo de muestra liofilizada y se agregaron 12 mL de cloroformo:metanol (2:1, v/v), la mezcla se llevó a un agitador mecánico por 30 minutos a 700 rpm, luego de lo cual se filtró a través de papel de filtro cualitativo y se colectaron 5 mL en un tubo de centrifuga de 20 mL de capacidad. A estos 5 mL se adicionaron 1,2 mL de agua grado HPLC, se homogenizó el contenido y se centrifugó a 3000 rpm durante 10 minutos, para permitir la separación de las fases. La fase acuosa superior se retiró cuidadosamente con una pipeta de vidrio y se agregó a la fase orgánica inferior 1 mL de solución de lavado (cloroformo: metanol:agua, 3/48/47, v/v), luego de lo cual se homogenizó y se centrifugó nuevamente a 3000 rpm por 10 min. Tras remover nuevamente la fase acuosa superior se tomó 1 mL de la fase orgánica inferior que se transfirió a un tubo de ensayo de 10 mL previamente pesado y se llevó a sequedad bajo corriente de nitrógeno. Una vez evaporado el solvente, se reconstituyó el residuo seco con diclorometano y se llevó a agitación en vortex durante 30 segundos. De esta solución se transfirieron 20 µL a un inserto de vidrio de 250 µL de capacidad, a los que se agregaron 160 µL de diclorometano y 20 µL del reactivo de transmetilación. Luego de homogenizar el contenido en vortex se inyectó 1 µL en el cromatógrafo de gases. El análisis de la composición de los ácidos grasos se realizó en un cromatógrafo de gases Shimadzu GC-20A (Shimadzu Scientific, Tokio, Japón), con inyector

automático y con detector de ionización de llama, utilizando para la separación una columna capilar de biscyanopropyl polysiloxane Rt™-2560 (Restek, Bellefonte, PA, USA) de 100 m de longitud, 0,25 mm de diámetro interno y 0,2 μ m de grosor de película. Las condiciones cromatográficas fueron: inyección en modo "split" (100:1); temperatura inicial del horno de 140°C por 5 minutos, aumentando hasta 220°C a 4°C/min, manteniendo esta temperatura por 5 minutos. Posteriormente la temperatura se aumentó a 240°C, a 2°C/min, y se mantuvo por 10 minutos. Como gas de arrastre se utilizó helio ultrapuro a un flujo de 1,0 mL/min. Las temperaturas del inyector y detector se mantuvieron constantes a 260°C y 270°C, respectivamente. El tiempo total de cada corrida cromatográfica fue de 50 minutos. La composición cualitativa se determinó por comparación de los tiempos de retención de los picos de las muestras con los del estándar de metil-ésteres de los ácidos grasos, usando el programa GC-Solution de Shimadzu para el registro y tratamiento de las señales. La composición cuantitativa se reportó con base en el método de normalización de áreas y se expresó como porcentaje en masa.

Análisis de ácidos grasos en perifiton. Se tomó una muestra representativa del perifiton de todos los estanques (n=12) y se analizó el perfil de ácidos grasos; la extracción y cuantificación de los ácidos grasos se realizó como se describió anteriormente.

Análisis microbiológico.

Se realizaron pruebas de mesófilos, coliformes, salmonella, esporas sulfito reductoras, psicrófilos, mohos y levaduras según AOAC 988.18 edición 17, AOAC 966.24 edición 17, AOAC 967.27 edición 17, AOAC 972.45 edición 15, AOAC 975.55 edición 15, y AOAC17.2.02 edición 17.

Análisis sensorial. Se realizó una evaluación sensorial a los filetes de tilapia y bocachico mediante una prueba triangular con un panel de 30 consumidores con edades entre 20-60 años. Se utilizó un intervalo de confianza de 95%, considerando una prueba pareada de una cola.

Análisis estadístico. Se analizaron los datos usando un modelo lineal general (GLM). Antes de realizar el análisis de varianzas se evaluaron los supuestos de Normalidad y Homogeneidad de varianzas, en todos los casos se eligió una significancia del 5% y en los

casos en que se halló diferencia significativa se llevó a cabo un test de Tukey a fin de determinar en donde realmente se hallaba la divergencia.

RESULTADOS

En el Cuadro 1 se presenta el perfil de ácidos grasos encontrado en los filetes de bocachico, tilapia y perifiton. Los valores son promedios sin considerar los diferentes tratamientos.

El Cuadro 2 corresponde al ANOVA para el perfil de ácidos grasos en tilapia, en el cual se presentan los efectos de interacción AxB y los efectos simples de A y B.

En tilapia se encontró interacción significativa entre los factores sobre el nivel de ácidos grasos Ω -6, razón por la cual en el Cuadro 3 se presentan los efectos simples de la estrategia alimentaria en los niveles específicos del sustrato.

El Cuadro 4 corresponde al ANOVA para el perfil de ácidos grasos en bocachico, en el cual se presentan los efectos de interacción AxB y los efectos simples de A o B. No hubo interacción de los factores ni efectos de A, solamente se encontró efecto de B sobre los niveles de PUFAS. Se registró mayor contenido de Pufas en ausencia de sustrato. La relación de Ω -6/ Ω -3 fue inferior a 1 en todos los casos.

Todas las muestras cumplieron con los parámetros microbiológicos según la norma INVIMA: coliformes (4-400 UFC), *Salmonella spp* (Ausente 25 g). No hubo diferencia significativa en la prueba triangular usada para la evaluación sensorial, 30 personas no encontraron diferencia en el sabor entre los filetes que se produjeron en estanques con sustrato para perifiton de aquellos que no lo tenían.

DISCUSIÓN

Lo más relevante del presente estudio son los perfiles de AGE para bocachico y perifiton y el efecto de la dieta sobre el perfil de AGE en Tilapia. Luzia *et al.* [9] determinaron la relación Ω -6/ Ω -3 para tilapia y curimatá (*Prochilodus spp*) procedentes de cultivos en época de

Cuadro 1. Perfil de ácidos grasos en filetes de Bocachico *Prochilodus magdalenae*, tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* y perifiton.

Nombre	FAMES	Bocachico	Tilapia	Perifiton
Ácido láurico	C12:0	0,2 ± 0,1	0,07 ± 0,015	0,5 ± 0,03
Ácido tridécilico	C13:0	0,2 ± 0,1	0	0
Ácido mirístico	C14:0	3,0 ± 0,9	2,8 ± 0,2	2,9 ± 0,7
Ácido pentadecílico	C15:0	1,8 ± 0,8	0,2 ± 0,04	0,5 ± 0,08
Ácido pentadecenoico	C15:1	0,05 ± 0,06	0	0
Ácido palmítico	C16:0	26,5 ± 2,1	25,6 ± 0,9	36,4 ± 1,8
Ácido palmitoleico	C16:1	2,7 ± 1,6	4,1 ± 0,9	1,8 ± 0,07
Ácido margárico	C17:0	2,0 ± 0,4	0,3 ± 0,06	0,5 ± 0,2
Ácido maragoroleico	C17:1	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,03	0
Ácido esteárico	C18:0	9,0 ± 0,8	7,0 ± 0,5	11,5 ± 3,2
Ácido eláidico	C18:1n-9t	0,3 ± 0,1	0,3 ± 0,03	0
Ácido oleico	C18:1n-9c	11,2 ± 1,3	28,1 ± 1,8	5,4 ± 1,7
Ácido vacénico	C18:1n-7	5,0 ± 0,5	3,3 ± 0,2	0
Ácido linolelaídico	C18:2n-6t	0,07 ± 0,07	0	2,5 ± 0,4
Ácido linoleico	C18:2n-6c	11,0 ± 1,2	16,5 ± 0,8	12,9 ± 1,8
Ácido araquídico	C20:0	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,02	0,3 ± 0,07
Ácido gamma linolénico	C18:3n-6	0,2 ± 0,04	0,6 ± 0,06	0,6 ± 0,05
Ácido gadoleico	C20:1	0,8 ± 0,3	1,2 ± 0,2	0,4 ± 0,2
Ácido alfa linolénico	C18:3n-3	4,8 ± 1,5	0,9 ± 0,1	18,0 ± 3,5
Ácido henecosanoico	C21:0	0,1 ± 0,03	0,08 ± 0,02	0
Ácido eicosatrienoico	C20:2	1,3 ± 0,4	0,9 ± 0,3	0,5 ± 0,1
Ácido behénico	C22:0	0,06 ± 0,03	0,1 ± 0,02	0,2 ± 0,1
Ácido eicostrienoico	C20:3n-6	1,1 ± 0,2	1,06 ± 0,07	0,2 ± 0,1
Ácido erúcico	C22:1n-9	0,04 ± 0,04	0,06 ± 0,012	0
Ácido eicosatrienoico	C20:3n-3	0,8 ± 0,2	0,2 ± 0,02	0,4 ± 0,3
Ácidotricosanoico	C23:0	5,7 ± 2,2	2,3 ± 0,2	2,0 ± 1,1
Ácido docosadienoico	C22:2	1,1 ± 0,4	0,05 ± 0,01	0,3 ± 0,1
Ácido tetracosenoico	C24:0	0,05 ± 0,03	0,06 ± 0,01	0,3 ± 0,0
Ácido eicosapentaenoico	C20:5n-3	3,1 ± 0,9	0,2 ± 0,1	1,7 ± 1,0
Ácido docosapentaenoico	C22:5n-3	1,6 ± 0,3	0,8 ± 0,3	0
Ácido docosahexaenoico	C22:6n-3	6,2 ± 1,2	3,0 ± 1,7	0
	Pufas	31 ± 2,4	24,3 ± 2,1	36,5 ± 2,7
	Mufas	20,4 ± 1,8	37,0 ± 2,1	13,9 ± 8,1
	Sfas	42,9 ± 2,5	36,4 ± 1,01	48,1 ± 7,44
	Ω -3	16,5 ± 2,2	5,2 ± 1,7	20,7 ± 1,7
	Ω - 6	12,1 ± 1,3	18,2 ± 0,8	14,0 ± 1,0
	Ω - 6 / Ω - 3	0,7 ± 0,1	3,9 ± 1,2	0,7 ± 0,007

*Los valores corresponden a la media ± desviación estándar del contenido de ácidos grasos de cada especie, sin considerar los efectos de los factores A y B [n=12]. Pufas: Ácidos grasos poliinsaturados, Mufas: Ácidos grasos monoinsaturados, Sfas: Ácidos grasos saturados

Cuadro 2. Concentración promedio de ácidos grasos y análisis de varianza de perfil de ácidos grasos en tilapia nilótica *Oreochromis niloticus*

Tilapia	Estrategia alimentaria (A)		Presencia de Sustratos (B)		ANOVA $p \leq 0,05$		
	20% PB	Plan comercial	Si	No	A	B	A x B
Pufas	22,44 ^a	26,24 ^b	24,33	24,36	S	NS	NS
Mufas	38,67 ^a	35,27 ^b	37,11	36,83	S	NS	NS
Sfas	36,74	36,09	36,3	36,53	NS	NS	NS
Ω -3	3,58 ^a	6,81 ^b	5,27	5,13	S	NS	NS
Ω -6	17,83	18,59	18,03	18,39	S	NS	S
Ω -6/ Ω -3	5,00 ^a	2,75 ^b	3,78	3,97	S	NS	NS

Letras diferentes entre columnas para cada factor, indican diferencia estadística significativa. S cuando $p \leq 0,05$ y NS cuando $p \geq 0,05$.

Cuadro 3. Efectos simples del factor A en niveles específicos de B en los valores de ácidos grasos Ω -6 de tilapia *Oreochromis niloticus*.

Sustrato [B]	Estrategia alimentaria [A]	
	20% PB	Plan Comercial
Con sustrato	18,0	18,1
Sin sustrato	17,7 ^a	19,1 ^b

Letras diferentes entre columnas para cada factor, indican diferencia estadística significativa.

Cuadro 4. Concentración promedio de ácidos grasos y análisis de varianza de perfil de ácidos grasos en bocachico *Prochilodus magdalenae*.

Bocachico	Estrategia alimentaria [A]		Presencia de Sustratos [B]		ANOVA $p \leq 0,05$		
	20% PB	Plan comercial	Si	No	A	B	A x B
Pufas	30,8	31,3	29,6 ^a	32,4 ^b	NS	S	NS
Mufas	20,6	20,3	20,9	19,9	NS	NS	NS
Sfas	44,2	41,6	43,3	42,4	NS	NS	NS
Ω -3	16,8	16,2	15,7	17,3	NS	NS	NS
Ω -6	11,6	12,7	11,8	12,5	NS	NS	NS
Ω -6/ Ω -3	0,7	0,8	0,8	0,7	NS	NS	NS

Letras diferentes entre columnas para cada factor, indican diferencia estadística significativa. S cuando $p \leq 0,05$ y NS cuando $p \geq 0,05$.

verano e invierno y encontraron que independientemente de la época, el perfil fue mejor para el prochilónido (0,77 y 0,9), mientras que tilapia registró valores de 1,26 y 2,6 en verano e invierno, respectivamente. Estas relaciones son similares a las del presente estudio: $0,7 \pm 0,12$ y $3,9 \pm 1,2$ para bocachico y tilapia respectivamente. Una explicación para esta diferencia entre especies podría estar en los

hábitos alimenticios. El bocachico, de hábitos bentónicos y alimentación detritívora-iliofaga, tiene posibilidades de consumir una mayor proporción de alimentos de origen natural, quizás con un mayor contenido de ácidos grasos, como sería el caso de las algas. Las algas de agua dulce, generalmente, son ricas en ALA [11]. De acuerdo con Brett y Muller [13], la mayoría de los peces de agua dulce

pueden realizar las reacciones de conversión de ALA a EPA y DHA, razón por la cual pueden presentar altos contenidos de estos últimos.

La tilapia es filtradora, consumidora de perifiton [7] y acepta muy bien el alimento balanceado, pero Azim *et al.* [14] reportaron que es más eficiente ramoneando algas perifíticas que plantónicas; además, ante la disponibilidad del alimento balanceado lo preferirá, disminuyendo la proporción de los alimentos de origen natural en la dieta total. Zenebe y colaboradores [15] compararon la variación de AG y lípidos en tilapias silvestres procedentes de cinco lagos de Etiopía, siendo el fitoplancton la fuente alimenticia en estos lagos, registrando un fuerte efecto de la dieta sobre la composición del cuerpo de tilapia en términos de AG [15]. Comparando los hallazgos de Zenebe y colaboradores [15] con los de Justi y colaboradores [16], resulta evidente que la tilapia silvestre tiene un mayor contenido de AG Ω -3 que de Ω -6. Mientras que la tilapia de cultivo tiene mucho menos Ω -3, pero la misma cantidad de Ω -6 que las silvestres. Justi y colaboradores [16] lograron incrementar la cantidad de Ω -3 y disminuir la de Ω -6 suministrando una dieta rica en Ω -3 durante un mes.

Para tilapia se registraron PUFAS, MUFAS y SFAS de $24,3 \pm 2,1$; $37 \pm 2,1$ y $36,4 \pm 1,01$, respectivamente, comparados con los valores encontrados por Ferreira *et al.* [18] de 40,39; 9,74 y 40,65% para PUFAS, MUFAS y SFAS, respectivamente. En cuanto a PUFAS, la diferencia puede deberse a que Ferreira *et al.* [17] utilizaron aceite de pescado para la alimentación de los peces. Los mismos autores encontraron que la inclusión de aceites vegetales tenía un efecto marcado en la reducción de Ω -3, PUFAS, DHA y EPA, mientras que los peces a los que se le suministró aceite de pescado tenían valores más elevados de DHA ($9,3 \pm 0,7\%$ del total de lípidos).

El ácido palmítico se encontró en mayor proporción dentro del perfil de ácidos grasos: en tilapia fue de $25,6 \pm 0,9\%$ y en bocachico de $26,5 \pm 2,1\%$. Estos resultados son similares a los de Luzia *et al.* [9], quienes encontraron el ácido palmítico como el más prevalente en curimatá (*Prochilodus spp*) con 28,9% y en tilapia (*Oreochromis spp*) con 35,9%. Se encontraron valores de $4,8 \pm 1,5\%$ de ALA para bocachico, mientras que en tilapia el porcentaje fue de $0,9 \pm 0,1\%$. Luzia *et al.* [9] reportaron que el ALA fue detectado solamente en curimatá (1,53% en verano y 0,88% en invierno) y no en tilapia.

De acuerdo con Whelan [18] es el DHA, y no el EPA, el que disminuye el riesgo de enfermedad cardiovascular. En el presente estudio, tanto para tilapia como bocachico las cantidades de DHA fueron superiores a las de EPA (Cuadro 1), lo cual constituye un indicador de la calidad nutricional de estas especies y de la posibilidad de considerar a estos peces como alimento funcional [19]. La carne de pescado contiene lípidos, minerales, vitaminas, triglicéridos, fosfolípidos y proteínas de importante valor biológico. Por su contenido de ácidos grasos poliinsaturados ayudan a la disminución de enfermedades coronarias y problemas asociados con diabetes [20]. No se encuentran estudios *in vivo* para tilapia y bocachico como alimentos funcionales, sin embargo, por la relación Ω -6/ Ω -3 menor a 1 y la presencia de DHA y EPA, el bocachico reúne las características para ser identificado como un alimento funcional.

Para tilapia se encontró una interacción entre la estrategia alimentaria y la presencia de sustrato (A x B) con respecto a los ácidos grasos de la serie Ω -6. El valor más alto de Ω -6 se encontró en las tilapias alimentadas con el plan comercial en ausencia de sustrato, lo cual permite resaltar que por medio de la manipulación de la dieta y del sistema de manejo, estos perfiles pueden modificarse para reducir su contenido de Ω -6.

Para tilapia, la estrategia alimentaria con un plan comercial aumentó los niveles de PUFAs, MUFAs, Ω -3, Ω -6 y disminuyó la relación Ω -6/ Ω -3. Por usar dietas comerciales no se tuvo acceso a la composición precisa de la dieta, sin embargo, el experimento pretendía reproducir condiciones comerciales, por lo que solamente se puede decir que a través de la manipulación de la estrategia alimentaria se puede intervenir la composición lipídica del filete.

Los PUFAS fueron superiores en los filetes de bocachicos cultivados en estanques sin sustrato para perifiton, esto se debe, probablemente, a que en estos estanques hubo mayor área disponible para el desarrollo de comunidades bentónicas, pues los tubos ocuparon espacio. Posiblemente, en aquellos estanques sin tubos los peces tuvieron más área para buscar alimento de origen natural.

No se observaron efectos de la estrategia alimentaria sobre el perfil de ácidos grasos de los bocachicos, lo cual nos permite deducir que estos peces no consumieron el alimento balanceado como si lo hizo la tilapia, lo cual es apoyado por los hábitos alimenticios del bocachico.

En perifiton se encontraron valores de $18,0 \pm 3,5\%$ de ALA y $1,7 \pm 1,0\%$ de EPA, los cuales pueden ser aprovechados por los peces para producir DHA y EPA a partir de reacciones de elongación y desaturación [13]. Estos resultados refuerzan la hipótesis que una alimentación a base de perifiton, incrementaría los niveles de PUFAS en peces de agua dulce. No se identificó DHA en perifiton y los valores de EPA fueron bajos. De acuerdo con Brett [13], las algas clorofíceas marinas tienen 4,8% y 1.0% de EPA y DHA, respectivamente, mientras que en clorofíceas dulceacuícolas frecuentemente no son detectadas, argumentando que esas diferencias pueden deberse a adaptaciones a los ambientes.

En términos generales, la presencia de sustratos para la fijación de perifiton no tuvo efecto significativo sobre el perfil de ácidos grasos en los filetes de tilapia y bocachico. Probablemente no hubo suficiente fijación de perifiton en los sustratos, de esta manera lo evaluado fue el sustrato y no el perifiton como tal. En el agua se registró una transparencia muy baja (inferior a 11 cm), lo cual impidió una adecuada penetración de luz necesaria para la fotosíntesis, afectando consecuentemente la producción de perifiton.

González y Brown [21] buscando alimentos de alta calidad para la tripulación de vuelos espaciales, caracterizaron nutricionalmente tilapias alimentadas con materias primas de origen vegetal y encontraron una relación de $\Omega-6/\Omega-3$ de 0,55. Concluyen que la tilapia alimentada de esta manera presenta características apropiadas para la elaboración de alimentos para los viajeros espaciales. De acuerdo con lo anterior se podría continuar en la investigación con el perifiton en la búsqueda de alimentos funcionales, manteniendo niveles altos de proteína y una buena relación $\Omega-6/\Omega-3$.

Los resultados del presente estudio demuestran que a pesar de no haber un efecto significativo de la presencia de sustrato para perifiton sobre el perfil de ácidos grasos en tilapia y bocachico, si se encontraron excelentes relaciones $\Omega-3/\Omega-6$ para bocachico y perifiton. El perifiton se entrevistó como una apropiada fuente alimenticia para peces, rica en precursores de ácidos grasos $\Omega-3$.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia por la financiación de este estudio a través del proyecto de código 2008U62189-6087.

REFERENCIAS

- [1] ROBERFROID, M. What is beneficial for health? The concept of functional food. *Food and Chemical Toxicology*, 37(9-10), 1999.p. 1039–1041.
- [2] DIPLOCK, A. T., AGGETT P. J., ASHWELI M., BORNET F., FERN E. B. and ROBERFROID M. B. Scientific concepts of functional foods in Europe: Consensus Document. *British Journal of Nutrition* 81 (Suppl. 1), 1999, p. S1-S27.
- [3] ANNE S. The sustainability of functional foods. *Social Science & Medicine*, 64(3), 2007, p. 554–561.
- [4] NGUYEN, N H., PONZONI, R.W., YEE, H.Y., ABU-BAKAR K.R., HAMZAH A. and KHAW H.L. Quantitative genetic basis of fatty acid composition in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) selected for high growth. *Aquaculture*, 309(1-4), 2010, p. 66–74.
- [5] YOUNG, K. Omega-6 (n-6) and omega-3 (n-3) fatty acids in tilapia and human health: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60, 2009, p. 203–11.
- [6] W. S. 1997. Effects of variation in essential fatty acids in fish feeds on nutritive value of freshwater fish for humans. *Aquaculture*, 151(1-4), 1997, p.97–119.
- [7] EL-SAYED AF. *Tilapia culture* CABI Publishing. 2006.
- [8] FAO. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. 2010.
- [9] LUZIA, L.A., SAMPAIO, G.R., CASTELLUCCI, C.M. and TORRES, E.A.F. The influence of season on the lipid profiles of five commercially important species of Brazilian fish. *Food Chemistry*, 83(1), 2003, p. 93–7.
- [10] KARAPANAGIOTIDIS, I.T., YAKUPITIYAGE, A., LITTLE, D.C., BELL, M.V. and MENTE, E. The nutritional value of lipids in various tropical aquatic animals from rice fish farming systems in

- northeast Thailand. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(1), 2010, p. 1–8.
- [11] VAN DAM, A.A., BEVERIDGE, M.C.M., AZIM, M.E. and VERDEGEM, M.C.J. The potential of fish production based on periphyton. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12(1), 2002 ,p.1–31.
- [12] FOLCH, J., LEES, M. and STANLEY, S. A Simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues, 1957, p. 497-509.
- [13] BRETT. M.T., MÜLLER-NAVARRA, D.C. and PERSSON, J. En. *Lipids in aquatic ecosystem*. New York, NY: Springer New York, 2009, p.115-143.
- [14] AZIM, M.E. and ASAEDA, T. Periphyton structure, diversity and colonization. En: AZIM M.E., VERDEGEM, M.C.J., VAN DAM, A. and BEVERIDGE, M.C.M. (Eds.), *Periphyton ecology, exploitation and management*, 2005, CABI Publishing, Wallingford.
- [15] ZENEBE, T., AHLGREN, G. GUSTAFSSON, I.B. and BOBERG, M. Fatty acid and lipid content of *Oreochromis niloticus* L. in Ethiopian lakes—dietary effects of phytoplankton. *Ecology of Freshwater Fish*, 7(3), 1998, p. 146–58.
- [16] JUSTI, K., HAYASHI, C. VISENTAINER, J. DE SOUZA, N. and MATSUSHITA, M. The influence of feed supply time on the fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed on a diet enriched with n-3 fatty acids. *Food Chemistry*, 80(4), 2003, p.489–93.
- [17] FERREIRA, M.W., DE ARAUJO, F.G., COSTA, D.V., ROSA, P.V., FIGUEIREDO, H.C.P. and MURGAS, L.D.S. Influence of dietary oil sources on muscle composition and plasma lipoprotein concentrations in Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1, 42(1), 2011, p. 24–33.
- [18] WHELAN, J. Fishy business: Aquaculture, omega-3 fats and health. Presentado en *Aquaculture America 2009*, Seattle, WA.
- [19] THOMSON, C., BLOCH A. and HASLER C. M. Position of The American Dietetic Association: Functional foods. *Journal American Dietetic Association*, 99(10), 1999, p.1280-1281.
- [20] SALAMANCA, G., OSORIO, M. HENAO, C. REYES, L. y BOTERO, C. Kamaboko como oferta nutricional de alto valor biologico a partir de cachama (*Colossoma* sp) y tilapia (*Oreochromis* sp). En: *II Congreso Iberoamericano sobre Seguridad Alimentaria V Congreso Español de Ingeniería de Alimentos Barcelona*, 5 a 7 de Noviembre de 2008 © CIMNE, España 2008.
- [21] GONZALES JR. J.M., LOWRY, B.A. BROWN, P.B. BEYL C.A. and NYOCHEMBERG, L. The effects of composting on the nutritional composition of fibrous bio-regenerative life support systems (BLSS) plant waste residues and its impact on the growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Advances in Space Research*, 15,43(8), 2009,p.1243–9.