

EFFECTO DEL PROCESAMIENTO DE LA DIETA SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE TILAPIA NILÓTICA (*Oreochromis niloticus* Var. Chitralada) EN UN CICLO COMERCIAL DE PRODUCCIÓN

F. Aguilar¹, G. Afanador-Téllez², A. Muñoz-Ramírez³

Grupo de investigación UN-Acuictio

Departamento de Ciencias para la Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia
Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

Recibido: 22 de febrero de 2010; aprobado: 17 de junio de 2010

RESUMEN

Este estudio evaluó el efecto del procesamiento de alimento (extruido frente a peletizado) sobre el desempeño productivo de tilapia nilótica durante un ciclo comercial de producción. Se utilizaron 504 alevinos reversados que fueron alimentados con un sistema de alimentación por fases (alevinaje, crecimiento 1, crecimiento 2 y finalización) con niveles de proteína cruda para cada fase de 43,10%, 36,40%, 31,50% y 28,65% respectivamente. Las dietas fueron procesadas (extruidas o peletizadas) en micro extrusora para laboratorio Exteec[®] (Exteec máquinas, Brasil). El análisis de los indicadores acumulados mostró que el proceso de extrusión generó un mayor crecimiento y una mayor eficiencia en el uso de alimento hasta la fase de crecimiento 2 ($P < 0,05$). En la fase de finalización los desempeños fueron similares entre los tipos de procesamiento, respuesta que podría estar asociada con una mayor densidad en términos de biomasa alcanzada por el grupo alimentado con alimento extruido generando así que el desempeño global del ciclo no presentara diferencias entre los tratamientos.

Palabras clave: tilapia nilótica, extruido, peletizado, desempeño productivo, crecimiento.

EFFECT OF FEED PROCESING ON THE PRODUCTIVE PERFORMANCE OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus* Var. Chitralada) IN A COMMERCIAL PRODUCTION CYCLE

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the effect of feed processing (extruded vs pelleted) on productive performance of Nile tilapia in a commercial production cycle. Sex-reversed fry (504) Nile tilapia were fed a four-phase diet (fry, growth 1, growth 2 y finishing) with 43.10%, 36.40%, 31.50% and 28.65% of crude protein, respectively.

1. faaguilar@unal.edu.co
2. gafanadort@unal.edu.co
3. apmunozr@unal.edu.co

The diets were processed (extruded or pelleted) in a micro laboratory extruder Exteec® (Exteec machines, Brazil). The extrusion produced higher growth and feed efficiency until the “growth 2” phase ($P < 0.05$). During the finishing phase the productive performances were similar between feed processing methods. This result should be due to the higher carrying capacity achievement for extruded group and also generated that accumulative cycle performance didn't have significant differences between treatments.

Key words: Nile tilapia, extruded, pelleted, productive performance, growth.

INTRODUCCIÓN

La importancia de la alimentación dentro de la canasta de costos de los sistemas de producción animal es estructural, especialmente en aquellos sistemas donde debido a la intensificación se requiere el uso de dietas y programas de alimentación a escala que propendan por maximizar el desempeño productivo de los animales y su rentabilidad. A esta realidad no es ajena la producción industrial de tilapia nilótica, ya que en la actualidad se diseñan y formulan sistemas de alimentación que incluyen elementos como el nivel de nutrientes, la oferta de biomasa, la frecuencia de alimentación, el comportamiento alimenticio y el tipo de procesamiento.

La extrusión es un proceso en el cual un alimento se hace fluir por un cañón que proporciona diferentes condiciones de temperatura, presión y humedad hacia un dado diseñado para dar forma o expandir el producto (1). Este procesamiento es el más utilizado en la manufactura de alimento para peces debido a algunas ventajas como la posibilidad de verificar el consumo del mismo dada su flotabilidad asociada a su menor densidad, una mayor inocuidad debido a su carácter pasteurizado, mayores porcentajes de gelatinización del almidón (menores de 40% para alimentos peletizados y mayores al 80% para alimentos extruidos) (2) y a las mejoras en la digestibilidad del alimento, siendo este último aspecto controversial en el caso

de la tilapia nilótica (3, 4). Sin embargo, el efecto del procesamiento del alimento sobre el desempeño productivo de la tilapia durante un ciclo completo de producción es poco documentado y también se torna controversial, dado que existen estudios que indican un desempeño similar entre los dos procesamientos (extruido frente a peletizado) en términos de crecimiento, conversión alimenticia y supervivencia (5). Otro estudio realizado en policultivo (*Oreochromis niloticus* y *Mugil cephalus*) indica un crecimiento superior y una mayor eficiencia en el uso del alimento cuando este es extruido (6). Sin embargo, en un trabajo realizado en la fase inicial de crecimiento de la tilapia nilótica se encontró interacción entre la fuente energética y el procesamiento del alimento sobre el crecimiento de la especie, y un uso más eficiente del alimento cuando éste es peletizado en comparación a cuando es extruido (7).

En este contexto, el presente estudio buscó evaluar el efecto del procesamiento del alimento (extruido y peletizado) sobre el desempeño productivo de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* var. Chitralada) a lo largo de un ciclo comercial de producción, empleando un sistema de alimentación por fases.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación fue realizada en el Laboratorio de Nutrición de Peces de la

Estación Piscícola La Terraza ubicada en la ciudad de Villavicencio, departamento del Meta. Se utilizaron 504 alevinos reversados, los cuales fueron obtenidos de una granja comercial de producción y alojados en un sistema de recirculación con 14 tanques plásticos de 600 L, con biofiltro y aireación continua. La densidad inicial fue de 36 peces por tanque y disminuyó en función del tiempo debido a la mortalidad y al sacrificio periódico de algunos peces para la realización de un estudio adicional sobre el efecto del procesamiento del alimento sobre la dinámica de la composición corporal.

Diariamente fue registrada la temperatura y semanalmente se realizaron determinaciones de oxígeno disuelto, pH, nitrógeno amoniacal total, amonio, nitrito, dureza y alcalinidad (Kit Hach FF1-A® - Hach Company) (8) llevando a cabo los manejos correspondientes para garantizar óptimas condiciones de

calidad de agua para el desarrollo de la especie.

Durante el estudio se utilizó un sistema de alimentación por fases, en el cual la transición de una dieta a otra se realizó cuando los animales de al menos una unidad experimental (tanque) de uno de los tratamientos alcanzaron en promedio pesos corporales superiores al peso objetivo de cada fase (32 g en alevinaje, 112 g en crecimiento 1, 480 g en crecimiento 2 y 800 g en finalización). La frecuencia de alimentación fue decreciente a lo largo del estudio, inició con 8 suministros diarios en la fase de alevinaje y concluyó con 2 en la de finalización. La oferta de alimento en cada suministro fue a saciedad aparente. Las dietas incluyeron recursos alimenticios de uso corriente en la manufactura de alimentos balanceados para tilapia, y propendieron por cumplir con las recomendaciones nutricionales para esta especie (tabla 1).

TABLA 1. Inclusión de ingredientes en las dietas del sistema de alimentación (%)

Ingredientes	Fase de alimentación			
	Alevinaje	Crecimiento 1	Crecimiento 2	Finalización
Maíz	5,00	5,00	15,00	15,00
Arroz partido	13,63	28,15	28,26	32,82
Gluten de maíz	10,00	10,00	10,00	10,00
Salvado de trigo	0,78	2,11	5,00	5,00
Torta de soya	35,55	28,47	20,73	19,69
Harina de carne	3,00	3,00	3,00	3,00
Harina de pescado	27,78	20,24	14,91	10,54
Aceite de soya	1,42	0,51	0,07	0,02
Aceite de pescado	1,40	1,07	1,58	1,92
Carboximetilcelulosa	1,00	1,00	1,00	1,00
L-Lisina	0,00	0,00	0,00	0,04
Carbonato de calcio	0,00	0,00	0,00	0,51
Cloruro de colina	0,10	0,10	0,10	0,10
Antioxidante ¹	0,05	0,05	0,05	0,05
Premezcla vitamínica y mineral ²	0,30	0,30	0,30	0,30

1 Antiox®.

2 Rovimix®

Las dietas fueron procesadas de dos maneras: peletizada o extruida en una micro extrusora para laboratorio Exteec® (Exteec máquinas, Brasil). Modificando las condiciones de procesamiento (velocidad de paso y configuración del cañón y tornillo) fue posible obtener los gránulos extruidos o peletizados que fueron secados en horno con circulación forzada a 55 °C durante 24 h, posteriormente enfriados a temperatura ambiente.

La densidad calórica en términos de Energía Digestible (ED) calculada de las dietas fue de 3,74; 3,59; 3,52 y 3,48 Mcal/kg para las fases de alevinaje, crecimiento 1, crecimiento 2 y finalización, respectivamente. La composición proximal de cada una de las dietas fue verificada mediante un análisis proximal de acuerdo con estándares de la AOAC (9), el cual se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia (tabla 2).

TABLA 2. Composición proximal de las dietas utilizadas en el sistema de alimentación (valores expresados como alimento)

Componente	Alevinaje		Crecimiento 1		Crecimiento 2		Finalización	
	EX ¹	PE ¹	EX	PE	EX	PE	EX	PE
Materia seca (%)	92,0	91,9	92,2	92,3	92,2	92,3	92,0	91,8
Energía bruta (Mcal/kg)	4,35	4,41	4,11	4,30	4,21	4,25	4,19	4,25
Proteína cruda (%)	43,0	43,2	36,4	36,4	31,2	31,1	28,6	28,7
Fibra cruda (%)	3,2	3,1	3,1	3,4	3,3	3,4	3,3	3,1
Cenizas (%)	10,7	10,6	9,2	9,3	7,3	7,4	6,8	6,6

1 EX: extruido – PE: peletizado

Quincenalmente se realizaron pesajes y mediciones para lo cual los peces fueron atrapados en redes y anestesiados usando una solución de aceite de clavo (Eugenol® - 10 ppm). Para cada una de las fases de alimentación se calcularon los siguientes indicadores de desempeño productivo:

$$\text{Factor de condición} = 100 \cdot (P/Lt^3)$$

$$\text{Biomasa final (kg/m}^3\text{)} = (Pf \cdot Nf) \cdot 1,666$$

$$\text{Ganancia diaria (g/pez)} = (Pf - Pi)/t$$

$$\text{Tasa específica de crecimiento (\%/día)} =$$

$$100 \cdot (\ln Pf - \ln Pi)/t$$

$$\text{Coeficiente térmico de crecimiento} =$$

$$100 \cdot (Pf^{0,3333} - Pi^{0,3333})/T \cdot t$$

$$\text{Conversión alimenticia ajustada} = \text{CAL}/\text{GBT}$$

$$\text{Tasa de eficiencia proteica} = \text{GBT}/(\text{CAL} \cdot \text{PCDF}/100)$$

$$\text{Tasa de alimentación (\% de la biomasa)} =$$

$$100 \cdot (\text{CAMP}/\text{PCPP})$$

$$\text{Mortalidad (\%)} = 100 \cdot (\text{Nm}/36)$$

Donde:

P = peso corporal de cada uno de los peces muestreados al final de cada fase

Lt = longitud total de cada uno de los peces muestreados al final de cada fase

Pf = promedio de peso corporal final de los peces en cada tanque

Nf = número de peces vivos en cada tanque al final de cada fase

1,666 = factor que permite convertir los resultados por tanque a valores por metro cúbico

Pi = promedio de peso corporal inicial en cada tanque

T = promedio de temperatura (°C) registrada durante cada fase

t = tiempo de duración de la fase en días

CAL = consumo de alimento por cada tanque

GBT = ganancia de biomasa total (biomasa final del tanque + biomasa retirada por mortalidad + biomasa extraída para el estudio de composición corporal)

PCDF = porcentaje de proteína de la dieta de la respectiva fase

CAMP = consumo de alimento promedio por pez durante la fase

- PCPP = promedio de peso corporal de los peces a lo largo de la fase
 Nm = número de peces muertos en cada tanque
 36 = número inicial de peces por tanque

Adicionalmente, se realizó un análisis para variables acumuladas hasta el final de las fases de crecimiento 1, crecimiento 2 y finalización, incluyendo las siguientes variables:

- Ganancia diaria (g/pez) = $(Pf - Pic)/tac$
 Conversión alimenticia ajustada = $CALAC/GBTAC$
 Costo del alimento (\$/kg de biomasa cosechada) = $COSALAC/BCAC$
 Donde:
- Pf = promedio de peso corporal final de los peces en cada tanque al final de cada una de las fases
 Pic = promedio de peso corporal al inicio del ciclo (peso inicial de la fase de alevinaje) en cada uno de los tanques
 tac = número de días acumulados hasta el final de cada una de las fases
 CALAC = consumo del alimento acumulado hasta el final de cada una de las fases en cada uno de los tanques
 GBTAC = ganancia de biomasa total acumulada hasta el final de cada una de las fases en cada uno de los tanques
 COSALAC = costo (\$) de alimento consumido de manera acumulada hasta el final de cada una de las fases en cada uno de los tanques, el cual fue establecido teniendo en cuenta el consumo de alimento durante cada una de las fases y el costo de las dietas (\$/kg) de la respectiva fase (incluyendo costo de la fórmula y el costo del procesamiento \$100/kg de alimento extruido y \$40/kg de alimento peletizado).
 BCAC = "Biomasa cosechada" acumulada (biomasa de los peces vivos al concluir cada fase + biomasa sacrificada para composición corporal hasta el final de la fase).

Para todo el ciclo productivo también se establecieron los valores acumulados por tanque para el consumo de alimento y la "biomasa total" (biomasa viva al final de ciclo + biomasa acumulada retirada por mortalidad + biomasa acumulada extraída para el estudio de composición

corporal a lo largo de todo el ciclo); dichos valores fueron ajustados a magnitudes por metro cúbico multiplicándolos por 1,666. El costo energético en Mcal de ED para producir un kilogramo de "biomasa total" se estableció como:

$$\text{Costo de energético (Mcal ED/kg de biomasa)} = \text{CEDAC/BT}$$

Donde:

CEDAC = consumo de energía digestible (Mcal) acumulado por tanque, el cual se obtuvo sumando los consumos energéticos parciales en cada una de las cuatro fases de alimentación; dichos consumos energéticos parciales se establecieron multiplicando el consumo de alimento (kg) en cada uno de los tanques durante cada fase por la respectiva densidad calórica (Mcal/kg) estimada en alimento ofrecido en dicha fase.

BT = biomasa total

Adicionalmente se realizó una valoración de la eficiencia económica durante el ciclo productivo, para lo cual se recurrió al índice Ingalls-Ortiz (IOR), el cual es un cociente entre el ingreso total y el costo de producción (10). Para su cálculo se empleó la expresión: $IOR = (BC \cdot PV) / (CTA \cdot FA)$, donde: BC es la "biomasa cosechada" en kg, PV es el precio de venta que fue estimado en \$4557/kg* de biomasa a partir del valor promedio reportado por el Sistema de Información de Precios de Pesca y Acuicultura para el año 2008 para el mercado de La Plaza de las Flores en la ciudad de Bogotá (11), y un ajuste por rendimiento en canal (88,87%) obtenido promediando los valores reportados en trabajos previos (12), CTA es el costo total del alimento consumido en cada tanque hasta el final del ciclo, y FA es un factor de conversión que se calculó como $1/0,7581$, donde 0,7581 es la proporción (75,81%) de participación del rubro del

1. USD = \$1818 col – 2008, septiembre de 2010.

alimento dentro de la canasta de costos del sistema productivo el cual fue estimado según los reportes para sistemas intensivos de producción en jaulas (13), de forma tal que multiplicando el costo del alimento consumido por 1,3191 es posible estimar el costo total de producción. Así, cuando $IOR > 1$ la operación productiva produce utilidad, cuando $IOR = 1$ se logra el punto de equilibrio y cuando $IOR < 1$ se producen pérdidas económicas.

El análisis estadístico se realizó de manera independiente para cada fase de alimentación. El diseño experimental utilizado para las variables peso final, longitud, factor de condición y biomasa final fue completamente al azar, con dos tratamientos, 7 repeticiones (tanques) y una covariable que correspondió a la medición inicial de dichos parámetros en cada fase. Para las variables ganancia diaria de peso, tasa específica de crecimiento, coeficiente térmico de crecimiento, conversión alimenticia ajustada, tasa de alimentación, tasa de eficiencia proteica y mortalidad, el diseño no incluyó covariable. Para las variables acumuladas por fases y para todo ciclo de producción no se incluyó covariable (14).

Adicionalmente, se establecieron ecuaciones para describir el comportamiento

de la tasa de alimentación (TA) expresada como porcentaje de la biomasa en función del peso corporal (P). Esta aproximación empírica de la descripción del consumo de alimento ha sido empleada en tilapia roja cultivada en agua marina (15). Para este análisis se emplearon tasas de alimentación calculadas a partir de los registros de los pesajes periódicos; la ecuación empleada fue de la forma $TA = aP^b$ donde el parámetro a corresponde a la tasa de alimentación, cuando $P=1$, y b es el parámetro que describe el descenso en la tasa de alimentación en función del peso corporal. Para el análisis de la variable mortalidad (y), expresada en porcentaje, se realizó transformación por la fórmula $\arcsen\sqrt{y}$. Los valores se expresan como medias y error estándar (\pm SEM), y se establecieron diferencias significativas cuando $P < 0,05$ y tendencias cuando $P < 0,10$. El análisis de los datos se realizó mediante el programa estadístico SAS V. 8.0 (16).

RESULTADOS

El peso corporal promedio obtenido en la primera unidad experimental que logró el peso objetivo de cada una de las fases y la duración de las mismas se presentan en la tabla 3.

TABLA 3. Peso corporal objetivo y obtenido, y duración de cada una de las fases de alimentación

Característica	Fase			
	Alevinaje	Crecimiento 1	Crecimiento 2	Finalización
Peso final objetivo (g)	32	112	480	800
Peso final obtenido ¹ (g)	44 \pm 1,11	137 \pm 4,11	501 \pm 20,11	735 \pm 34,11
Duración (días)	45	32	100	72
Días acumulados	45	77	177	249

¹ Corresponde al promedio de los peces alojados en el tanque que logró primero el peso objetivo.

Los valores iniciales de peso corporal, longitud total y factor de condición no presentaron diferencias significativas ($P>0,05$) entre los tratamientos, lo que indica homogeneidad del material expe-

rimental al comienzo del estudio (tabla 4). En la fase de alevinaje ninguno de los parámetros evaluados presentó diferencias significativas ($P>0,05$) entre los tratamientos (tabla 4).

TABLA 4. Efecto del procesamiento del alimento sobre el desempeño productivo de tilapia nilótica en un ciclo comercial durante la fase de alevinaje (0 - 45 días)

Parámetro productivo	Procesamiento		(P < F)
	Extruido	Peletizado	
Valores iniciales			
Peso corporal (g)	0,805±0,019	0,811±0,012	0,7892
Longitud total (cm)	3,65±0,02	3,69±0,02	0,2961
Factor de condición	1,63±0,03	1,61±0,03	0,5202
Alevinaje			
Peso corporal final (g)	40±0,99	38±1,24	0,4596
Longitud total final (cm)	13,0±0,13	12,7±0,16	0,3628
Factor de condición	1,81±0,02	1,83±0,02	0,2767
Biomasa final (kg/m ³)	1,79±0,06	1,82±0,06	0,7556
Ganancia diaria (g/pez)	0,874±0,022	0,844±0,028	0,4177
Tasa específica de crecimiento (%/día)	8,68±0,08	8,59±0,08	0,4284
Coefficiente térmico de crecimiento	0,2064±0,0025	0,2029±0,0031	0,4041
Conversión alimenticia ajustada	0,75±0,03	0,81±0,03	0,1677
Tasa de eficiencia proteica	3,11±0,12	2,87±0,09	0,1429
Tasa de alimentación (% de la biomasa)	4,20±0,15	4,56±0,014	0,1136
Mortalidad (%)	11,5±2,30	7,93±1,27	0,1998
Costo del alimento (\$/kg de biomasa cosechada)	1315±53	1371±45	0,4332

De manera similar a lo ocurrido en la fase de alevinaje, en la fase de crecimiento 1 tampoco se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) entre los dos grupos experimentales para las variables evaluadas (tabla 5).

TABLA 5. Efecto del procesamiento del alimento sobre el desempeño productivo de tilapia nilótica en un ciclo comercial durante la fase de crecimiento 1 (46 - 77 días)

Parámetro productivo	Procesamiento		(P < F)
	Extruido	Peletizado	
Peso corporal final (g)	118±3,45	112±2,80	0,1506
Longitud total final (cm)	18,43±0,18	18,16±0,16	0,6020
Factor de condición	1,86±0,01	1,85±0,01	0,7324
Biomasa final (Kg/m ³)	4,17±0,10	4,18±0,14	0,6020
Ganancia diaria (g/pez)	2,43±0,085	2,29±0,069	0,2115
Tasa específica de crecimiento (%/día)	3,38±0,06	3,33±0,08	0,3116
Coefficiente térmico de crecimiento	0,1709±0,0035	0,1657±0,0039	0,2038
Conversión alimenticia ajustada	0,76±0,02	0,81±0,02	0,1674
Tasa de eficiencia proteica	3,62±0,10	3,39±0,11	0,1539
Tasa de alimentación (% de la biomasa)	2,43±0,04	2,50±0,06	0,3639
Mortalidad (%)	1,39±0,56	1,19±0,83	0,7900

Durante la fase de crecimiento 2 se encontró diferencia significativa ($P<0,05$) para el peso corporal, lo que correspondió a 10% superior para la dieta extruida. La conversión alimenticia y la tasa de eficiencia proteica también presentaron diferencias ($P<0,05$), siendo dichos resultados favorables para el tratamiento extruido en un 13%; así-

mismo, la ganancia diaria fue un 12% mayor en este grupo experimental señalando una tendencia ($P<0,10$) hacia un mejor crecimiento. La tasa de alimentación fue más alta en el alimento peletizado ($P<0,05$), mientras que las otras variables evaluadas no presentaron diferencias significativas entre los grupos experimentales (tabla 6).

TABLA 6. Efecto del procesamiento del alimento sobre el desempeño productivo de tilapia nilótica en un ciclo comercial durante la fase de crecimiento 2 (78 - 177 días)

Parámetro productivo	Procesamiento		(P < F)
	Extruido	Peletizado	
Peso corporal final (g)	445±17	404±11	0,0223
Longitud total final (cm)	28±0,51	27,9±0,23	0,1613
Factor de condición	1,94±0,03	1,87±0,04	0,1142
Biomasa final (kg/m ³)	9,54±0,42	8,66±0,21	0,2513
Ganancia diaria (g/pez)	3,27±0,15	2,92±0,09	0,0746
Tasa específica de crecimiento (%/día)	1,326±0,028	1,284±0,026	0,3012
Coefficiente térmico de crecimiento	0,1033±0,0028	0,0976±0,0021	0,1335
Conversión alimenticia ajustada	1,07±0,02	1,21±0,04	0,0142
Tasa de eficiencia proteica	3,01±0,08	2,66±0,08	0,0124
Tasa de alimentación (% de la biomasa)	1,21±0,01	1,29±0,02	0,0087
Mortalidad (%)	1,85±0,59	1,19±0,56	0,6261

Para la fase de finalización la tasa de alimentación fue más alta en el alimento peletizado ($P<0,05$), pero el factor de condición fue superior en un 4,5% en el alimento extruido ($P<0,05$). Las demás respuestas estudiadas no presentaron diferencias significativas entre los dos grupos experimentales (tabla 7).

TABLA 7. Efecto del procesamiento del alimento sobre el desempeño productivo de tilapia nilótica en un ciclo comercial durante la fase de finalización (178 - 249 días)

Parámetro productivo	Procesamiento		(P < F)
	Extruido	Peletizado	
Peso corporal final (g)	606±27	575±12	0,2604
Longitud total final (cm)	32±0,42	31,9±0,30	0,8385
Factor de condición	1,84±0,02	1,76±0,02	0,0164
Biomasa final (kg/m ³)	8,78±0,30	8,36±0,36	0,8999
Ganancia diaria (g/pez)	2,25±0,19	2,37±0,12	0,5944
Tasa específica de crecimiento (%/día)	0,430±0,024	0,492±0,025	0,1025
Coefficiente térmico de crecimiento	0,0430±0,0027	0,0479±0,0024	0,2037
Conversión alimenticia ajustada	1,90±0,11	1,88±0,14	0,9375
Tasa de eficiencia proteica	1,886±0,123	1,909±0,117	0,8926
Tasa de alimentación (% de la biomasa)	0,81±0,01	0,91±0,02	0,0023
Mortalidad (%)	1,19±0,56	1,19±0,83	0,7906

El análisis de las variables acumuladas hasta la fase de crecimiento 1 no mostró diferencias significativas entre los grupos experimentales. Por el contrario, para la fase de crecimiento 2 la conversión alimenticia fue estadísticamente superior ($P < 0,05$) en el alimento peletizado con una diferencia promedio del 11% respecto al alimento extruido. La ganancia diaria promedio hasta la finalización de la fase de crecimiento 2 tendió ($P < 0,10$) a ser más alta en el caso del alimento extruido; así mismo, el costo monetario de la

producción de “biomasa cosechada” tendió a ser más alto en el caso del alimento peletizado. Para las magnitudes acumuladas hasta el final del ciclo ninguna de las variables presentó diferencias significativas entre los dos grupos experimentales a excepción del consumo de alimento (kg/m^3), el cual fue estadísticamente superior en el alimento peletizado ($P < 0,05$). El índice de eficiencia económica IOR (Extruido 1,91; Peletizado 1,95) no presentó diferencias significativas entre los dos grupos experimentales (tabla 8).

TABLA 8. Efecto del procesamiento del alimento sobre el desempeño productivo acumulado de tilapia nilótica en las últimas tres fases de alimentación en un ciclo comercial de producción

Fase - Parámetro productivo	Procesamiento		(P < F)
	Extruido	Peletizado	
Crecimiento 1 (0-77 días)			
Ganancia diaria de peso (g/pez)	1,52±0,04	1,44±0,04	0,2033
Conversión alimenticia ajustada	0,76±0,02	0,81±0,02	0,1047
Costo del alimento (\$/kg de biomasa cosechada)	1246±35	1285±35	0,4308
Crecimiento 2 (0-177 días)			
Ganancia diaria de peso (g/pez)	2,51±0,10	2,28±0,06	0,0665
Conversión alimenticia ajustada	0,99±0,20	1,10±0,03	0,0061
Costo del alimento (\$/kg de biomasa cosechada)	1469±30	1572±39	0,0601
Finalización (0-249 días)			
Ganancia diaria de peso (g/pez)	2,43±0,11	2,31±0,05	0,3165
Biomasa total (kg/m^3)	15,44±1,80	15,58±0,95	0,8656
Consumo acumulado (kg/m^3)	19,24±0,35	20,18±0,10	0,0237
Conversión alimenticia ajustada	1,25±0,03	1,29±0,02	0,3353
Mortalidad (%)	15,5±2,26	11,50±1,76	0,1907
Costo de energético (Mcal ED/kg de biomasa)	4,17±0,13	4,25±0,08	0,5768
Costo del alimento (\$/kg de biomasa cosechada)	1816±57	1782±55	0,6855
Índice Ingalls-Ortiz (IOR)	1,91±0,06	1,95±0,06	0,6874

La ecuación que describe la tasa de alimentación (TA) en función del peso corporal (P) para el caso del alimento extruido presentó la expresión $TA = 23,25 \times P^{-0,518}$ ($r^2 = 0,911$), y para el alimento peletizado $TA = 23,70 \times P^{-0,508}$ ($r^2 = 0,883$). En los dos casos el coeficiente de determinación de la ecuación fue satisfactorio.

DISCUSIÓN

Los alimentos para peces son procesados para obtener gránulos enteros o gránulos quebrantados que permitan asegurar la prehensión, mejorar la eficiencia alimenticia y reducir las pérdidas de nutrientes en el agua. Durante la extrusión, las altas temperaturas y la presión causan

la gelatinización del almidón de la dieta, incrementando la disponibilidad de los carbohidratos del alimento. De otra parte, es posible que la extrusión produzca reacciones tipo Maillard que disminuyan la disponibilidad de aminoácidos comparados con alimentos peletizados.

Son escasos los estudios realizados que comparan alimentos peletizados y extruidos en la alimentación de peces. Para el caso de truchas se encontró que estas crecieron más rápidamente con un alimento peletizado comparado con un alimento extruido; sin embargo, el valor de conversión de alimento fue significativamente superior, sin efectos sobre la mortalidad ocasionada (17, 18). Estos estudios y otros posteriores muestran que la eficiencia de los procesos industriales del alimento para peces es evidente. Por ejemplo, en cultivo de tilapia cerca del 15-30% de la entrada de nutrientes en un alimento peletizado fue convertido a proteína animal, mientras que en sistemas de lagunas fertilizadas solamente del 5-15% de esta entrada de nutrientes fue retenido como proteína corporal (19, 20).

El desempeño productivo durante las fases de alevinaje y crecimiento 1 no fue afectado por el tipo de procesamiento del alimento. Estos datos coinciden con los obtenidos en un estudio previo con tilapia nilótica en el que se evaluó, en condiciones de estanques y durante 126 días, el efecto del tipo de dieta (extruida, peletizada, harina o productividad primaria) sobre variables productivas, y en donde no se encontraron diferencias significativas entre la dieta extruida y la peletizada para las variables: ganancia de peso corporal, tasa específica de crecimiento, conversión alimenticia y supervivencia (5).

En la fase de crecimiento 2, que correspondió al 40% de la duración del estudio y durante la cual los peces lograron más de la mitad (54% en el alimento extruido y 51% en el alimento peletizado) del crecimiento de todo el ciclo, se observó un desempeño superior en términos de peso corporal final, tasa de eficiencia proteica y conversión alimenticia ajustada a favor del alimento extruido; asimismo, la ganancia diaria de peso corporal tendió a ser superior en este procesamiento. Este hallazgo es coherente con lo encontrado previamente en tilapia nilótica donde se observó un desempeño superior en términos de ganancia de biomasa y conversión alimenticia para peces que consumieron una dieta cuyo almidón fue gelatinizado mediante el proceso de extrusión (21); también, los autores reportaron una digestibilidad de nutrientes y de la energía superior en los alimentos sometidos a dicho proceso. En ese sentido, y acorde con otros autores, el mejor desempeño de la tilapia nilótica durante la fase de crecimiento 2 pudo estar asociado con una mayor digestibilidad de la energía y los nutrientes ofrecidos y, por ende, con una mayor cantidad de sustratos y energía disponibles para procesos metabólicos, incluido el crecimiento (22).

En un estudio con tilapia nilótica en el que se evaluó el efecto del procesamiento de diferentes recursos energéticos sobre el desempeño productivo de la especie se encontró que de manera general la tasa de alimentación fue más alta con el alimento peletizado, lo cual concuerda con los hallazgos del presente estudio donde se observaron mayores tasas de alimentación cuando se empleó el alimento peletizado (diferencias numéricas en las fases de alevinaje y creci-

miento 1, y diferencias estadísticamente significativas en la fases de crecimiento 2 y finalización). Este resultado podría deberse a la gelatinización del almidón que es generado por el proceso de extrusión y que lleva a una tasa de digestión del almidón más rápida, lo cual conduce a una mayor disponibilidad energética para el metabolismo del pez, ocasionando que el animal logre de manera más rápida el estado de saciedad (7).

Durante la fase de finalización el desempeño entre los dos tratamientos fue similar. Es posible que para esta fase los peces del tratamiento extruido hayan alcanzado la carga máxima del tanque a una menor edad, implicando que la densidad limitara el crecimiento de los peces en esta fase. Esto puede postularse teniendo en cuenta que durante las dos primeras fases las ganancias diarias fueron numéricamente superiores en el tratamiento extruido, y en la tercera tendió a ser superior en dicho tratamiento. Lo contrario ocurrió en la fase de finalización donde las mayores ganancias diarias fueron para el alimento peletizado; este concepto de capacidad de carga ha sido ampliamente documentado en la producción de peces (23, 24). Lo ocurrido en la fase de finalización pudo generar que los parámetros productivos acumulados por tanque fueran similares entre tratamientos, a excepción del consumo de alimento que fue mayor para el tratamiento con alimento peletizado. Respecto a la conversión de alimento acumulada (extruido $1,25 \pm 0,03$; peletizado $1,29 \pm 0,02$) los valores del presente estudio fueron más satisfactorios que los reportados previamente en tilapia nilótica (extruido 1,41; peletizado 1,45), en especial si se tiene en cuenta la menor duración y el menor peso corporal logrado

durante dicho estudio (5). Lo anterior indicaría que el sistema de alimentación por fases fue acertado para un ciclo de producción de tilapia nilótica.

Un análisis de fases realizado con *Tilapia zillii* y *Sarotherodon* spp. mostró que después de la incubación la larva de tilapia crece rápidamente y alcanza la madurez en los tres meses subsiguientes (25). Los requerimientos de proteína analizados en un rango de temperatura del agua de 21-31 °C y tamaños entre 0,8 y 70 g de peso corporal, que corresponderían a la fase de alevinaje y crecimiento 1 de este estudio, señalan que el crecimiento máximo es soportado por dietas que contienen 34% de proteína cruda (26) estimando que estos requerimientos pueden ser reducidos, pero con incrementos de solamente 2-2,5 veces en la longitud total. En el presente estudio, al emplear niveles de proteína bruta de 43,1% en alevinaje y 36,4% en crecimiento 1 se obtuvo un incremento de la longitud total promedio de 5,1 veces lo cual señala la importancia de los altos niveles de proteína en estas fases iniciales con alimentos artificiales procesados. Por otra parte, y respecto al uso de la harina de pescado en este tipo de alimentos, se ha demostrado que la utilización de más del 63% del recurso deprime la tasa de crecimiento de los peces (27). Para la transición de alevinos (0,8 g) a juveniles (40 g de peso individual) diversos autores sugieren niveles óptimos de proteína de 30 a 40% (21, 22). Sin embargo, en la formulación de esas dietas se hace evidente el uso excesivo de harina de pescado y de altos niveles de cenizas (14,8%) produciendo un efecto adverso sobre las tasas de crecimiento (28).

El coeficiente térmico de crecimiento constituye un índice que permite in-

volucrar el efecto de la temperatura del agua en la trayectoria de crecimiento de los peces, y ha sido usado ampliamente en salmónidos (29, 30); sin embargo, para el caso de tilapia los reportes de este índice son inexistentes, y no se dispone de valores comparativos para las diferentes fases de alimentación de este ciclo. A pesar de no disponer de reportes de este índice para tilapia, previamente se ha sugerido su uso en la predicción del crecimiento de esta especie (31). Aunque no fueron encontradas diferencias significativas de este parámetro en las fases de alimentación, se debe tener en cuenta que este coeficiente es útil para predecir el peso corporal (Pf) a un tiempo dado (t), posterior a un registro de peso inicial (Pi) y una temperatura promedio de agua (T) mediante la expresión $Pf = ((Pi^{0,3333}) + (CTC/100)*T*t)^3$.

En referencia a la ecuación de predicción de la tasa de alimentación ($TA=a*P^b$) en función del peso corporal, en el presente estudio se encontraron valores del parámetro *a* inferiores a los reportados previamente para tilapia roja de 25,8-46,9 (15). En dicha investigación, el coeficiente *b* osciló entre -0,539 y -0,473, rango en el cual se encuentran los valores obtenidos en este estudio.

El factor de condición corporal constituye una herramienta para valorar el estado corporal de los peces. En el presente trabajo esta variable no fue afectada por los tratamientos durante las tres primeras fases del estudio; sin embargo, para la fase de finalización, este factor fue superior ($P<0,05$) en animales que consumieron alimento extruido. En términos generales, los valores fueron inferiores a los reportados previamente para tilapia roja criada en jaulas en agua marina y sometida a diferentes ofertas

de alimento (2,3 para oferta restringida al 50% de la saciedad aparente y 3,14 para “alimentadores” mecánicos o por demanda) (15).

La tasa de eficiencia proteica encontrada en este estudio presentó, durante las fases iniciales de crecimiento (alevinaje y crecimiento 1), un resultado superior a lo reportado previamente en un estudio que empleara, durante 70 días, dietas con 40,3% de proteína bruta, y que documentó un valor de 2,77 (32). Para fases tardías de crecimiento no se dispone de estudios para comparar los presentes resultados. Durante las fases iniciales de crecimiento se observó una mayor tasa de eficiencia proteica con el alimento extruido (diferencias numéricas en las fases de alevinaje y crecimiento 1, y diferencias significativas en la fase de crecimiento 2), lo cual sugiere un uso más eficiente de la proteína para promover el crecimiento corporal cuando se emplean dietas extruidas; así mismo, se observó una disminución en los valores de tasa de eficiencia proteica a lo largo del estudio indicando un uso más eficiente de la proteína de los animales en las fases iniciales de crecimiento.

La cantidad de energía digestible requerida para producir un kilogramo de biomasa no es un parámetro corrientemente reportado en los estudios de nutrición de peces; no obstante, puede ser estimada a partir de la densidad calórica de la dieta y la conversión alimenticia. En un estudio previo (5) la densidad calórica de la dieta fue de 2.986 Kcal ED/kg y la conversión alimenticia aparente de 1,45 y 1,41 para alimento peletizado y extruido respectivamente; lo anterior correspondería a gastos energéticos de 4,33 Mcal/kg de biomasa producido para alimento peletizado y de

4,21 Mcal/kg para el extruido, que son superiores a los encontrados en el presente estudio (Extruido 4,17; Peletizado 4,25). Lo anterior puede estar asociado con los menores valores de conversión ajustados observados en el presente estudio (Extruido 1,25; Peletizado 1,29). Sin embargo, se debe tener en cuenta que en la estimación realizada para el estudio de referencia se utilizaron los valores reportados de conversión aparente que no incluyen la biomasa de los peces muertos, lo cual hace que el indicador se incremente. Los dos estudios guardan coherencia ya que el procesamiento del alimento no generó cambios significativos en la estimación de la demanda de energía digestible para la producción de biomasa.

Respecto a la mortalidad acumulada no se encontraron diferencias entre los grupos experimentales, concordando dicho hallazgo con lo reportado previamente (5); aun cuando, en dicho estudio los valores fueron más bajos que los hallados en el presente. No obstante, los resultados son razonables si se tiene en cuenta la mayor duración de esta investigación.

El costo monetario de la producción de biomasa acumulada hasta la fase de crecimiento 2 tendió a ser más bajo en el alimento extruido en comparación con el alimento peletizado; sin embargo, al analizar este indicador de manera acumulada hasta el final del ciclo y el índice de eficiencia económica (IOR) no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para estos dos parámetros. Estos resultados económicos indican, de manera coherente con los parámetros productivos, una mayor eficiencia en el uso del alimento cuando este es extruido; adicionalmente evidenció, en el caso del

alimento extruido, el efecto depresivo de la biomasa de peces dentro del cuerpo de agua en la fase de finalización sobre el crecimiento individual y la eficiencia de uso del alimento, generando que los balances económicos al final del ciclo fueran similares entre los tratamientos.

En general, la formulación de alimentos para especies acuáticas tiene por objeto maximizar el crecimiento y la eficiencia alimenticia. En este contexto, el presente estudio muestra que la técnica de extrusión es importante para el desarrollo de la acuicultura industrial de tilapia nilótica, ya que los hallazgos pueden ser asociados con un incremento en la disponibilidad de nutrientes de recursos alimenticios de origen vegetal y la destrucción de microorganismos y componentes antinutricionales (33).

CONCLUSIONES

Durante el estudio se evidenció el efecto del procesamiento sobre el desempeño productivo de la tilapia nilótica; el análisis de desempeño acumulado hasta la fase de crecimiento 2 indicó un mayor crecimiento, una mayor eficiencia en el uso del alimento y un menor costo del mismo para la producción de biomasa cosechada con alimento extruido. El análisis de cada una de las fases mostró que durante la fase de crecimiento 2 el efecto del proceso de extrusión se presentó de manera más evidente. La mayor biomasa alojada en los tanques que recibieron alimento extruido, y que fue lograda hasta la fase de crecimiento 2, pudo limitar el crecimiento individual de los peces en dichos tanques durante la fase de finalización, lo cual pudo generar que el desempeño global del ciclo no fuera afectado por el procesamiento del alimento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la División de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia (DIB) por la financiación de la investigación, al personal de la Estación Piscícola “La Terraza” y del Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia por el apoyo técnico, y a la empresa Acuicultura Primavera S.A. por el suministro de los peces estudiados.

REFERENCIAS

1. Riaz MN. Introduction to extruders and their principles. In: Riaz MN, editor. Extruders in food applications. CRC Press; 2000. p. 1-23.
2. Hardy RW, Barrows FT. Diet formulation and manufacture. In: Halver JE, Hardy RW, editores. Fish nutrition. 3 ed. San Diego: Academic press; 2002. p. 505-600.
3. Muñoz-Ramírez AP, Wills A. Avances en nutrición de tilapia. Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia 2007;54(2 Supl):83-101.
4. Guimarães IG, Pezzato LE, Barros MM, Tachibana L. Nutrient digestibility of cereal grain products and by-products in extruded diets for Nile tilapia. J World Aquac Soc 2008;39:781-89.
5. Baccarin AE. Impacto ambiental e parâmetros zootécnicos da produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) sobre diferentes manejos alimentares. [tesis doctoral]. Jaboticabal São Paulo Brasil. Universidade Estadual Paulista; 2002.
6. Ammar AA, Abd-Elgawad AS, Salam AA. Effect of extruded and non-extruded fish pellet on growth performance and total production of Nile tilapia and grey mullet fingerlings reared in a polyculture system in earthen ponds. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture; 2008 Oct 12-14; Cairo, Egypt; 2008. Vol 2. p. 1199-209.
7. Bellam LF. Digestibilidade de nutrientes, crescimento e variáveis metabólicas em tilápias do Nilo alimentadas com fontes de carboidratos peletizadas, extrusadas ou cruas. [tesis doctoral] – Universidade Estadual Paulista, Centro de Aqüicultura; 2009.
8. Hach Company. Fish Farmer’s water quality test kit manual. 1990. Disponible en URL: <http://www.hach.com/fmmimghach/?CODE%3A243087776%7C1>. [Citado marzo de 2008]
9. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis 18th ed. AOAC. Gaithersburg, Maryland, USA; 2005.
10. Ortiz A, Ingalls F, Alonso y Núñez F. Evaluación de la productividad y utilidad contable en pollos de engorde en México. Arch Latinoam Prod Anim 1997;5(Supl 1):659-661.
11. SIPA (Sistema de Información de Pesca y Acuicultura). Comportamiento de los precios de la tilapia durante 2008. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – Corporación Colombia Internacional. Boletín mensual No 34. 2009.
12. Souza MLR, Castagnolli N, Kronka SN. Influência das densidades de estocagem e sistemas de aeração sobre o peso e características de carcaça da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1757). Acta Sci Anim Sci 1998;20:387-393.
13. Usgame D, Usgame G, Valverde C. Agenda productiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la tilapia. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; 2007.
14. Kaps M, Lamberson WR. Biostatistics for Animal Science. Wallingford. UK. CABI Publishing; 2004.
15. Clark JH, Watanabe W, Erns DH, Wicklund RI, Olla BL. Effect of feeding rate on growth and feed conversion of Florida red tilapia reared in floating marine cages. J World Aquac Soc 1990; 21:16-24.
16. SAS Institute. SAS/STAT User’s Guide: Statistics. Release 6.04 Edition. SAS Institute Inc; 2000.
17. Hilton JW, Cho CY, Slinger SJ. Effect of extrusion processing and steam pelleting diets on pellet durability, pellet water absorption and the physiological response of rainbow trout. Aquaculture 1981;25:185-94.

18. Pokniak J, Cornejo S, Galleguillos C, Larrain C, Battaglia J. Efectos de la extrusión o peletización de la dieta de engorde sobre la respuesta productiva de la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) tamaño plato. Arch Med Vet 1999;31:141-50.
19. Acosta-Nassar MV, Morell JM, Corredor JE. The nitrogen budget of a tropical semi-intensive freshwater fish culture pond. J World Aquac Soc 1994;25:261-70.
20. Gross A, Boyd CE, Word CW. Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds. Aquacult Eng 2000;24:1-14.
21. Amirkolaie AK, Verreth JA, Schrama JW. Effect of gelatinization degree and inclusion level of dietary starch on the characteristics of digesta and faeces in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* (L.)) Aquaculture 2006;260:194-205.
22. Serrano X. The extrusion-cooking process in animal feeding: Nutritional implications. [Acceso en marzo de 2009.] Disponible en URL: <http://ressources.ciheam.org/om/pdf/c26/97605976.pdf>. [Citado marzo de 2009].
23. Weatherley AH, Gill HS. The biology of fish growth. Washington DC USA: Academic Press; 1987. 443 p.
24. Baldiserotto B. Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura. Universidade Federal de Santa Maria; 2002.
25. Rothbard S. Observations on the reproductive behavior of *Tilapia zillii* and several *Sarotherodon* spp. under aquarium conditions. Bamidgeh 1979;31:35-43.
26. Wang KW, Takeuchi T, Watanabe T. Effect of dietary protein levels on growth of Tilapia nilótica. Bull Japan Soc Sci Fish 1985;51:133-140.
27. Santiago CB, Bañez-Aldaba M, Laron MA. Dietary crude protein requirement of Tilapia nilótica fry. Kalikasan Philipp J Biol 1982;11:255-265.
28. Siddiqui AQ, Howlander MS, Adam AA. Effects of dietary protein levels on growth, feed conversion and protein utilization in fry and young Nile Tilapia. *Oreochromis niloticus*. Aquaculture 1988;70:63-73.
29. Dumas A, France J, Bureau D. Review article: Modelling growth and body composition in fish nutrition: where have we been and where are we going? Aquacult Res 2010;41:161-181.
30. Cho CY, Bureau DP. Development of bioenergetic models and the Fish-PrFEQ software to estimate production, feeding ration and waste output in aquaculture. Aquat Living Resour 1998;11:199-210.
31. Bureau BP, Azevedo PA, Tapia-Salazar M, Cuzon G. Pattern and cost of growth and nutrient deposition in fish and shrimp: Potential implications and applications. En: Cruz-Suárez LE, Ricque-Marie D, Tapia-Salazar M, Olvera-Novoa MA, Civera-Cerecedo R. Editores. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuicola; 2000. Nov 19-22. Mérida, Yucatán, México; 2000, pp. 111-140.
32. El-Sayed A-FM. Study to determine maximum growth capacity and amino acid requirements of Tilapia genotypes. [tesis doctoral] Göttingen Germany. Georg-August- University; 2002.
33. Woodroffe JM. Dry extrusion application in the feed industry; 1995. Disponible en URL: http://www.asaimsea.com/download_docphp?file=FT33-95.pdf [Citado febrero de 2010].