



Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias

<http://rccp.udea.edu.co>

RCCP

Digestibilidad aparente de ingredientes de uso común en la fabricación de raciones balanceadas para tilapia roja híbrida (*Oreochromis sp.*)[✉]

Apparent digestibility of feed ingredients of common use in the balanced diets for tilapia red hybrid (Oreochromis sp.)

Digestibilidade aparente de ingredientes de uso comum na fabricação de dietas balanceadas para tilápia vermelha híbrida (Oreochromis sp.)

Walter Vásquez-Torres^{1*}, Biól, PhD; Martha I Yossa Perdomo¹, Zoot, PhD; Gilma Hernández Arévalo¹ MVZ, MSc; Mariana C Gutiérrez Espinosa², Zoot, cMSc.

¹ Profesores Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos, Sede Barcelona, km 12 vía Puerto López, Villavicencio, Meta, Colombia.

² Estudiante de Maestría en Acuicultura, Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos, Sede Barcelona, km 12 vía Puerto López, Villavicencio, Meta, Colombia.

(Recibido: 5 diciembre, 2009; aceptado: 13 abril, 2010)

Resumen

*El objetivo de este estudio fue determinar los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de materia seca (MS), proteína bruta (P) y energía bruta (E) para la tilapia roja híbrida (*Oreochromis sp.*) de harinas de pescado (HP), carne y huesos (HCH) sangre (HS), gluten de maíz (GluM), soya integral (SI), tortas de soya (TS), girasol (TG) y palmiste (TP), mezcla forrajera de maíz (MFM), trigo de tercera (HTT), trigo duro (HTD), arroz (HA), maíz amarillo (HMA), germen de maíz (GerM) y yuca integral (HYI). Fueron utilizados 540 ejemplares adultos revertidos sexualmente (peso medio 270 gramos) acondicionados en tres tanques de alimentación de 30 m² y nueve tanques de fondo cónico de 200 L para colecta de heces. Los CDA de los ingredientes fueron calculados por el método indirecto, utilizando óxido de cromo al 0.5% como marcador. Como ración base se utilizó una dieta semipurificada y 15 dietas experimentales fabricadas con extrusora, cada una con 30% de la MP a analizar. Los CDA-MS fueron muy variables con valores desde 34.7 y 42.2 % para TG y TP hasta 90.7 y 95.8 para TS y HCH respectivamente. La digestibilidad de la proteína fue alta para la mayor parte de los ingredientes investigados (superiores a 80%) con excepción de la HS con 74.6%, el GerM con 77.6 y la HA con 79.3%. La digestibilidad de la energía fue alta en los*

✉ Para citar este artículo: Vásquez-Torres W, Yossa MI, Hernández G, Gutiérrez MC. Digestibilidad aparente de ingredientes de uso común en la fabricación de raciones balanceadas para tilapia roja híbrida (*Oreochromis sp.*). Rev Colomb Cienc Pecu 2010; 23:207-216.

* Autor para correspondencia: Walter Vásquez, Cra. 46 N° 49 A-27 Barrio la Campiña, Villavicencio, Meta. E-mail: wvasquez@unal.edu.co

ingredientes de origen animal y menor de 80% en la mayoría de las MP vegetales, con excepción del GluM (80.4%), la SI (82.1%) y la HYI (82.3%).

Palabras clave: *coeficientes de digestibilidad, energía, materias primas, nutrición, proteína.*

Summary

*This study was carried out to determine the apparent digestibility coefficients (ADC) of dry mater (DM), crude protein (CP) and gross energy (GE) in various feed ingredients for hybrid tilapia (*Oreochromis sp.*) including fish meal (HP), meat and bone meal (HCH), blood meal (HS), corn gluten meal (GluM), soybean meal (HS), full-fat soybean (SI), sunflower meal (TG), palm kernel meal (TP), mix forage of corn (MFM), wheat meal (HTT), wheat grain (HTD), rice flour (HA), corn flour (HMA), germ of corn (GerM) and manioc flour (MF). 540 sexually reverts (average weight 270 g) were assigned to three 30 m² feeding tanks and nine 200-L cylindrical tanks with conical bottom, for feces collection. CDA analysis was performed by de indirect method, using 0.5% chromic oxide (Cr₂O₃) as marker. A semipurified diet was used as the reference diet. 15 experimental extruded diets were made, with 30% of the analyzed feed ingredient (MP). The CDA-DM varied widely from 34.7 and 42.2 % for TG and TP up to 90.7 and 95.8 for TS and HCH, respectively. The protein digestibility was high for most of the studied ingredients (higher than 80 %) except for HS with 74.6 %, GerM with 77.6 and HA with 79.3 %. The energy digestibility was high in the ingredients of animal origin and lower than 80 % in most of the vegetable MP, except for GluM (80.4 %), SI (82.1 %) and HYI (82.3 %).*

KeyWords: *coefficients Digestibility, energy, feed ingredients, nutrition, protein.*

Resumo

*O Objetivo deste estudo foi determinar os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) da matéria seca (MS), proteína bruta (P) e energia bruta (E) pela tilápia vermelha híbrida (*Oreochromis sp.*) da farinhas de peixe (HP), de carne e ossos (HCH), de sangue (HS), glúten de milho (GluM), soja integral (SI), farelos de soja (TS), girassol (TG) palmiste (TP), mistura forrageira de milho (MFM), farinhas de trigo de terceira (HTT), de trigo duro (HTD), de arroz (HA), de milho amarelo (HMA), gérmen de milho (GerM) e mandioca integral (HYI). Foram utilizados 540 peixes adultos revertidos sexualmente (peso médio 270 g) acondicionados em três tanques de alimentação de 30 m² e nove tanques com fundo cônico de 200 L para coleta de fezes. Os CDA dos ingredientes foram calculados pelo método indireto, utilizando óxido crômico 0.5% como indicador. Como ração base foi utilizada uma dieta referência semipurificada e 15 dietas experimentais fabricadas com uso de extrusora, com 30% da MP a analisar. Os CDA-MS foram muito variáveis com valores desde 34.7 e 42.2 % para TG y TP até 90.7 e 95.8 para TS e HCH respectivamente. A digestibilidade da proteína foi alta para a maior parte dos ingredientes pesquisados (maiores a 80%) com exceção da HS com 74.6%, o GerM com 77.6 e a HA com 79.3%. A digestibilidade da energia foi alta nos ingredientes de origem animal e menor de 80% na maioria das MP vegetais, com exceção do GluM (80.4%), a SI (82.1%) e a HYI (82.3%).*

Palavras-chave: *coeficientes de digestibilidade, energia, matérias primas, nutrição, proteína.*

Introducción

El desarrollo de dietas de alta calidad nutricional, bajo impacto ambiental y económicamente rentables para el piscicultor, son una necesidad apremiante de la industria de los alimentos balanceados para peces, especialmente para uso en sistemas de producción intensivos. Raciones con estas características son posibles cuando se formulan con ingredientes de alto valor nutricional (Glencross *et al.*, 2007) y utilizando la información sobre digestibilidad de ingredientes

determinada para cada especie en particular (Köprücü *et al.*, 2005).

En los sistemas de cultivo intensivo en jaulas y en estanques, es indispensable el suministro de grandes cantidades de alimento para proveer a los organismos cultivados los nutrientes necesarios para alcanzar máximo crecimiento en el menor tiempo posible. A mayor volumen de ración mayor la proporción de desechos solubles y sólidos eliminados al agua; esto no solamente

reduce la concentración de oxígeno sino que también pueden causar lesiones en los animales, facilitando la aparición de enfermedades (Borja, 2002). El resultado es a corto plazo, una reducción en la productividad y a mediano y largo plazo, una amenaza a la sostenibilidad de la operación acuícola. De acuerdo con Lupatsch y Kissil (1998) y Bock *et al.* (2006) el volumen de desechos es altamente dependiente de la digestibilidad de la dieta; una estrategia para minimizar tales pérdidas y reducir el impacto negativo sobre el agua tiene que ver con el uso de raciones formuladas con ingredientes de alta digestibilidad (Cho *et al.*, 2001).

Esta investigación fue proyectada con el propósito de presentar a la industria de alimentos balanceados para peces información básica sobre digestibilidad de las materias primas comúnmente utilizadas en la elaboración de raciones para tilapia. De esta manera el objetivo principal fue determinar los coeficientes de digestibilidad aparente de materia seca, proteína y energía de 15 materias primas disponibles en Colombia para fabricación de raciones para tilapia roja (*Oreochromis sp.*).

Materiales y métodos

Esta investigación fue realizada en el laboratorio de nutrición y alimentación de peces del Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos, Colombia (4°04'24" N, 73°34'56" O)

Preparación de las dietas

Como base para la formulación de las dietas experimentales se utilizó una dieta referencia semipurificada (DR) con 30% de proteína bruta (Vásquez-Torres *et al.*, 2002) cuya composición de ingredientes se describe en la tabla 1.

Las 15 materias primas (MP) evaluadas fueron: harinas de pescado (HP), carne y huesos (HCH), sangre (HS), gluten de maíz (GluM), soya integral en grano (SI), tortas de soya (TS), girasol (TG) y palmiste (TP), mezcla forrajera de maíz (MFM), trigo de tercera (HTT), trigo duro (HTD), arroz (HA), maíz amarillo (HMA), germen de maíz (GerM) y yuca integral (HYI). En la tabla 2 se

describe su composición proximal determinada de acuerdo a metodologías estándar (AOAC, 1995).

Tabla 1. Composición de ingredientes de la dieta de referencia (% en base húmeda)

Ingredientes	Dieta referencia (%)
Caseína ¹	33.3
Gelatina ²	3.4
Dextrina	40.0
Alfa-Celulosa	13.6
Aceite de pescado	2.4
Aceite de girasol	2.4
Premez Vitaminas ³	0.2
Premezcla microminerales ⁴	0.1
Premezcla Macrominerales ⁵	4.0
Ácido ascórbico ⁶	0.1
Óxido de cromo	0.5

¹ Composición analizada: MS 93 %; PB 86,42 %; lípidos 2,29%, cenizas 3,66%

² Composición analizada: MS 91%; PB 94,02%

³ Rovimix Vitaminas Ò Lab. Roche S.A : Vit A 8.0*10⁶ UI, Vit D3, 1.8*10⁶ UI, Vit E 66.66 g Vit B1 6.66 g, Vit B2 13.33 g, Vit B6 6.66 g, Pantoteno de Ca 33.33 g, Biotina 533.3 mg, Ac. Fólico 2.66 g, Ac. Ascórbico 400.0 g, Ac. Nicotínico 100.0 g, Vit B12 20.0 mg, Vit K3 6.66 g, vehículo csp. 1.0 kg

⁴ Premix microminerales Ò Lab. Roche S.A.: Composición por 100 g: Magnesio 1.0, Zinc 16.0, Ferro 4.0, Cobre 1.0, Iodo 0.5, Selenio 0.05, Cobalto 0.01

⁵ Composición por 100 g de mezcla: Ca(H₂PO₄)₂ 13,6 g; Lactato de Ca 34,85 g; 2MgSO₄.7 H₂O, 13,2 g; KH₂PO₄ 24 g; NaCl 4.5 g; AlCl₃ 0.015 g, CMC 9.835 g

⁶ Stay-C, Laboratorios Roche

Tabla 2. Ingredientes seleccionados y composición química.

Ingredientes	MS* (%)	% MS			EB (Kcal/kg)	
		PB	EE	Cz		
Origen animal	Harina de pescado (HP)	93.8	58.4	9.8	21.5	4875.2
	H. carne y huesos (HCH)	96.8	50.5	20.5	11.0	5756.5
	H. sangre (HS)	97.5	70.0	13.3	4.2	6102.8
	Gluten de maíz (GluM)	91.7	57.7	2.1	1.8	5546.1
Origen vegetal proteicos	Torta de soya (TS)	92.6	45.7	1.7	7.5	4600.1
	Soya integral (SI)	86.3	34.4	19.8	5.8	5745.4
	T. girasol (TG)	92.4	35.8	1.4	7.8	4599.5
	Germen maíz (GerM)	99.7	19.5	8.5	1.1	6102.2
Origen vegetal energético	T. palmiste (TP)	91.9	16.3	3.6	3.8	4580.0
	H. trigo tercera (HTT)	91.2	14.7	3.6	5.4	4662.6
	H. trigo duro (HTD)	88.8	12.1	1.9	1.8	4213.9
	H. de arroz (HA)	90.1	12.4	14.4	8.0	4762.8
	Mezcla forrajera maíz (MFM)	92.1	11.5	14.1	5.3	4768.0
	H. maíz amarillo (HMA)	85.7	9.0	3.9	4.3	4462.1
	H. yuca integral (HYI)	86.1	5.4	1.3	3.6	4190.3

*MS= Materia Seca; PB= Proteína Bruta; EE= Extracto Etéreo, Cz= Ceniza; EB= Energía Bruta

Para cada ingrediente fue formulada una dieta experimental compuesta por una mezcla de 69.5% de DR, 30% de la MP y 0.5% óxido de cromo (Cr_2O_3) (Cr) como marcador. Los ingredientes fueron finamente molidos (partículas de 0.3-0.4 mm de diámetro) y mezclados usando mixer de cocina KitchenAid, luego se adicionó agua (27%) y se pasó por micro-extrusora (Exteec, Riberão Preto-Brasil) para formar gránulos compactos, flotantes y con un diámetro de 5-6 mm (proceso de extrusión a temperatura de 123°C). Las raciones fueron secadas y almacenadas en bolsas plásticas a 4 °C hasta su uso. La composición proximal de las dietas experimentales se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Composición química analizada de las dietas usadas para la determinación de los CDA de las MP seleccionadas.

Dietas experimentales	MS (%)	PB (% de MS)	EB (Kcal/kg)	Cz (% de MS)	
Dieta Referencia	80.1	29.8	4544.6	3.8	
HP	85.7	34.7	4832.0	6.7	
Origen animal	HCH	85.9	5091.5	4.6	
	HS	83.1	5176.7	3.8	
Origen vegetal proteicos	GluM	80.2	4919.6	3.3	
	TS	81.4	4690.7	4.9	
	SI	83.2	4949.0	4.3	
	TG	84.5	4697.2	4.9	
	GerM	87.6	5055.3	3.0	
	TP	74.3	25.6	4538.9	4.2
	HTT	83.0	25.6	4657.8	4.1
Origen vegetal energéticos	HTD	74.8	28.6	4385.2	4.3
	HMA	81.8	26.1	4713.0	4.8
	MFM	88.5	28.6	4514.6	4.6
	HMA	82.3	23.0	4500.5	3.8
	HYI	75.7	24.0	4335.3	3.4

Alimentación y colecta de heces

Para los experimentos fueron utilizados ejemplares de tilapia roja híbrida (*Oreochromis sp.*) donados por la granja comercial Aquaprimavera. Un lote de 540 peces (270 g de peso medio) fue sometido a un periodo de aclimatación de dos semanas en dos tanques de concreto de 30 m² subdivididos en compartimentos de 10 m², cada uno con 90 animales; se les suministró DR como alimento, dos veces al día hasta aparente saciedad. Para la colecta de heces fueron utilizados nueve tanques de 200 L construidos en fibra de vidrio con fondo cónico

provisto de un dispositivo removible para la concentración de las heces; todo el sistema estaba resguardado bajo techo para mantener condiciones estables. Se mantuvo recambio de agua a una tasa de 9-10 L/min por tanque de 30 m² con 270 peces y 1-2 l/min por tanque cónico, aireación permanente para garantizar niveles de oxígeno superiores a 60% de saturación. La temperatura del agua fue de 25 ± 1.0 °C, el pH 6.5 ± 0.3 y los niveles de amonio inferiores a 0.2 ppm.

Para cada MP fueron utilizados 90 peces; durante cinco días el grupo fue alimentado dos veces/día con la dieta experimental hasta aparente saciedad; al quinto día, después de la ración matutina, los peces fueron trasladados a los tanques cónicos, colocando 10 animales en cada uno; a partir de la octava hora se comenzó la colecta de heces tomando muestras a intervalos de una hora durante 10 horas; las muestras fueron secadas en estufa a 60 °C y luego empacadas en frascos plásticos rotulados y almacenadas bajo condiciones de refrigeración hasta la realización de los análisis. Las muestras colectadas de tres tanques conformaban una repetición, de tres planeadas para cada uno de los tratamientos. Posteriormente los peces fueron trasladados a un tanque de 30 m² y dejados en descanso durante 3-4 días para nuevamente repetir el proceso con otra dieta experimental.

Procedimientos analíticos

Los ingredientes, las dietas y las heces fueron analizadas para determinar su composición proximal según metodologías de la (AOAC, 1995). La materia seca (MS) por secado en horno a 105 °C/ 24 h, la PB (%N x 6.25) por el método de Kjeldahl, lípidos por extracción con solvente en equipo soxhlet, cenizas por incineración a 550 °C / 6 h y EB utilizando bomba calorimétrica adiabática Parr Instruments 121AE. El contenido de Cr en las dietas experimentales y en las heces se determinó por el método de digestión ácida seguida de lectura en espectrofotómetro a 350 nm (Furukawa y Tsukahara, 1966).

Los Coeficientes de Digestibilidad Aparente (CDA) de las MP y de las dietas experimentales

fueron determinadas por el método indirecto (Cho *et al.*, 1985), a partir de las siguientes ecuaciones:

1. Digestibilidad Aparente Total de las dietas (%DAT): $DAT = 100 - 100(\%Cr_A / \%Cr_H)$
2. Digestibilidad Aparente de los Nutrientes en las dietas (%DAN)
3. $DAN = 100 - (100 * (\%Cr_A / \%Cr_H) * (N_H / N_A))$
4. Coeficiente Digestibilidad Aparente de Nutrientes en MP (%CDA-N):
5. $CDA-N = 100 / Y * ((CDA-N_{DS}) - X / 100 * (CDA-N_{DR}))$

Donde:

Cr_A = %Cr en alimento, Cr_H = %Cr en heces, N_A = %nutriente en alimento, N_H = %nutriente en heces, $CDA-N_{DS}$ = CDA del nutriente (PB, EB, MS) en la dieta sustituida, $CDA-N_{DR}$ = CDA del nutriente en la DR, $X = 70\%$ DR, $Y = 30\%$ MP.

Análisis estadísticos

Las medias de la observaciones de digestibilidad de la MS, PB y EB de las MP investigadas fueron sometidas a análisis de variancia de una vía ($p < 0.05$); posteriormente, para el caso de significancia estadística entre tratamientos, se aplicó el test de Tukey ($p < 0.05$). Se utilizó paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS Vr. 8.12, Inc., Cary NC, USA).

Resultados

Tomando como base el origen y la evaluación de la composición química de las MP seleccionadas (Tabla 2), se conformaron tres categorías: de origen animal y de origen vegetal, con alta y baja proteína. Los CDA de las MP son descritos en la tabla 4. Las diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre MP son relativas a los CDA de PB, EB y MS y a las diferencias entre ingredientes al interior de las categorías. De los ingredientes de origen animal, la HS presentó el

valor más bajo de PD (74.6%) y la HP, el menor valor de ED (77.8%). Entre los ingredientes de origen vegetal con altos contenidos de PB, la TS y la SI exhibieron los mayores CDA-P (92.4 y 91.9%, respectivamente) y el más bajo fue para el GerM (77.6%). La ED de la TG, el GerM y la TP exhibieron en ese orden, los valores más bajos entre los ingredientes de origen vegetal evaluados.

En el grupo de los ingredientes de origen vegetal energéticos se observó que los CDA-P fueron en general altos, entre 79.3% para la HA y 89.9% para la HYI y relativamente bajos los CDA-E, variando entre 58.2% y 82.3%. Considerando la totalidad de los ingredientes, con excepción de la HS y el GerM, todos pueden ser considerados excelentes fuentes de proteína ya que presentaron CDA superiores a 80%. Contrariamente, en términos de disponibilidad de energía, los coeficientes fueron inferiores a 80% en la mayor parte de los ingredientes de origen vegetal. En las tablas 5, 6 y 7 se comparan los CDA obtenidos en este estudio con los hallados en la literatura para tilapias y otras especies.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan, de manera general, con los descritos en diferentes investigaciones con tilapia para MP similares; entre los valores publicados en la literatura se observan discrepancias, que según consenso entre investigadores pueden ser causadas por diferencias en las metodologías empleadas para la determinación de los coeficientes, entre otras, procesamiento de las dietas, diferencias en los niveles de inclusión del ingrediente problema, clase de DR utilizada (Anderson *et al.*, 1995; Boscolo *et al.*, 2008; Furuya *et al.*, 2001; Guimarães *et al.*, 2008; Masagounder *et al.*, 2008), forma de colecta de heces (Meurer *et al.*, 2003), tamaño de los peces, ecuación utilizada para el cálculo de los coeficientes (Foster, 1999) y proceso de elaboración de las raciones experimentales (Allan *et al.*, 2000).

Tabla 4. CDA (%) de MS, P y E de los ingredientes investigados para tilapia roja híbrida (media \pm DE).

Ingredientes		Materia seca	Proteína	Energía
Dieta Referencia			92.3 \pm 0.5	82.7 \pm 3.5
	HP	59.4 \pm 3.9 ^{bB}	84.2 \pm 4.3 ^{bA}	77.8 \pm 9.2 ^{bB}
Origen animal	HCH	95.8 \pm 2.1 ^{aA}	86.3 \pm 2.4 ^{bA}	95.8 \pm 0.8 ^{aA}
	HS	56.6 \pm 2.9 ^{bB}	74.6 \pm 5.0 ^{cB}	85.6 \pm 2.7 ^{abA}
	GluM	64.6 \pm 3.3 ^{bM}	85.7 \pm 0.3 ^{bN}	80.4 \pm 1.9 ^{bM}
	TS	90.7 \pm 1.0 ^{aN}	92.4 \pm 0.2 ^{aM}	73.9 \pm 1.7 ^{bM}
Origen vegetal proteicos	SI	71.1 \pm 1.8 ^{bM}	91.9 \pm 2.5 ^{bM}	82.1 \pm 1.5 ^{abM}
	TG	34.7 \pm 2.7 ^{cO}	87.6 \pm 1.1 ^{abN}	38.5 \pm 2.3 ^{cO}
	GerM	45.7 \pm 2.1 ^{cP}	77.6 \pm 1.5 ^{bO}	55.1 \pm 4.4 ^{cN}
	TP	42.2 \pm 4.7 ^{cP}	81.7 \pm 1.5 ^{bP}	62.0 \pm 4.8 ^{cN}
	HTT	59.0 \pm 3.2 ^{bY}	85.4 \pm 0.9 ^{bY}	59.2 \pm 1.5 ^{cY}
Origen vegetal energéticos	HTD	66.0 \pm 6.4 ^{bY}	83.5 \pm 1.9 ^{bY}	61.4 \pm 4.0 ^{cY}
	HA	57.0 \pm 8.0 ^{bY}	79.3 \pm 3.6 ^{bZ}	68.4 \pm 3.8 ^{bY}
	MFM	45.7 \pm 2.1 ^{bZ}	84.1 \pm 1.4 ^{bY}	58.2 \pm 6.8 ^{cY}
	HMA	64.4 \pm 1.3 ^{bY}	84.7 \pm 0.8 ^{bY}	59.7 \pm 3.7 ^{cY}
	HYI	88.0 \pm 4.9 ^{aX}	89.9 \pm 0.6 ^{bXY}	82.3 \pm 3.8 ^{abX}

* Letras superíndices minúsculas diferentes en la misma columna indican significancia estadística ($p < 0.05$) en la comparación entre todos los ingredientes; letras superíndices mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias entre ingredientes dentro de cada grupo.

Ingredientes de origen animal

Tomando en cuenta los criterios de la NRC (1993) sobre características de calidad de MP apropiadas para la formulación de raciones para peces, las HP y HCH utilizadas en este experimento contenían PB y EB en proporciones dentro de rangos de calidad aceptables; este no fue el caso de la HS que poseía niveles de PB de casi 20% menos que el estándar, además grasa y EB en cantidades superiores al promedio.

La HP presentó un CDA-P de 84.2% cifra que fue semejante al promedio de los valores observados por distintos investigadores (Furuya *et al.*, 2004; Sklan *et al.*, 2004; 1997; Köprücü *y Özdemir*, 2005; Guimarães *et al.*, 2008) para tilapia y en términos de ED menor, hasta en un 14% con respecto a los más altos CDA descritos en la literatura; la digestibilidad de la MS fue baja, pero como se observa en la Tabla 5, en distintas investigaciones este parámetro es muy variable en un rango de aproximadamente 60% a un poco más de 90%. De acuerdo con datos generales de la literatura se puede considerar que las cifras de

disponibilidad de proteína de la HP para diferentes especies de hábito omnívoro, pueden variar entre un 70% observado para carpa común (Degani *et al.*, 1997) a 90.7% observado en la tilapia del Nilo (Meurer *et al.*, 2003). Según (Pezzato *et al.*, 2002), las diferencias en los CDA para diferentes peces pueden explicarse, esencialmente por variaciones en la estructura y función digestiva entre especies.

La HCH utilizada en este estudio tuvo una digestibilidad de 86.3% y fue más alta que la reportada por Guimarães *et al.* (2008) y Pezzato *et al.* (2002) para tilapia; igual que en el caso de la HP, los expertos consideran que las causas de discrepancia entre estudios realizados con metodologías similares, tienen relación con el origen y métodos de procesamiento para su obtención. Para otras especies de hábito carnívoro, que tienen especial predilección por el uso de la proteína, se han observado CDA-P de 74.6% para *Sciaenops ocellatus* (McGoogan *et al.*, 1996), 81.8% para *Lepomis macrochirus* (Masagounder *et al.*, 2009) hasta 90% para rockfish *Sebastes schlegeli* (Lee, 2002).

Tabla 5. Comparación de los CDA de MS, P y E de ingredientes de origen animal evaluados en este estudio con los valores para diferentes especies hallados en la literatura consultada.

Ingredientes	Materia seca	Proteína	Energía	Referencia bibliográfica
HP	59.4	84.2	77.8	Actual
	79.8	84.9	87.2	(Furuya <i>et al.</i> , 2001)
	57.5	78.5	80.1	(Pezzato <i>et al.</i> , 2002)
	87.6	90.7	89.5	(Meurer <i>et al.</i> , 2003)
	91.6	90.5	92.1	(Köprücü y Özdemir, 2005)
	-	90.2	89.2	(Sklan <i>et al.</i> , 2004)
HCH	-	88.6	-	(Guimarães <i>et al.</i> , 2008)
	95.8	86.3	95.8	Actual
	-	78.4	-	(Guimarães <i>et al.</i> , 2008)
	47.0	73.2	77.5	(Pezzato <i>et al.</i> , 2002)
HS		87.2	79.2	(Sklan <i>et al.</i> , 2004)
	56.6	74.6	85.6	Actual
	53.3	50.7	89.4	(Pezzato <i>et al.</i> , 2002)

Los CDA de la HS en este estudio fueron 56.6 para MS, 74.6% para proteína y 85.6% para energía; el valor de digestibilidad de la proteína fue muy alto comparado con los datos de Pezzato *et al.* (2002), quienes tan solo obtuvieron 50.7%; en un trabajo realizado por Allan *et al.* (2000) reportan para la perca plateada (*Bidyanus bidyanus*), un pez de hábito omnívoro como las tilapias, valores de 90.2 y 99.9% para proteína y energía respectivamente, sin embargo en criterio del autor, estos altos valores se debieron a posibles errores de experimentación, entre otros por pérdida de nutrientes de las heces. En nuestro experimento, se observó baja consistencia del bolo fecal, tendencia a dispersarse fácilmente en al agua confiriéndole a esta coloración marrón y mal olor; por estas razones se presume que también debió haber pérdida de nutrientes que conllevó a una sobrestimación de los CDA.

Las diferencias entre los CDA de nutrientes de la misma MP, especialmente cuando se trata de subproductos de origen animal que contienen altos niveles de PB, generalmente tienen que ver con la calidad y origen de la materia prima utilizada, métodos de procesamiento para su obtención, tiempo de almacenamiento y contenido de lípidos entre otras. De acuerdo con Masumoto *et al.* (1996), la oxidación de las harinas de origen animal y en especial de la HP que reduce la disponibilidad de proteína, ocurre por largos periodos de almacenamiento y por sobrecalentamiento. Anderson *et al.* (1995)

observaron en salmón que, para una misma HP se obtenían valores de digestibilidad de PB distintos por efecto de diferencias en el proceso de secado de la HP. Guimarães *et al.* (2008) sugiere que tales factores pueden reducir la disponibilidad de aminoácidos esenciales (AAE) debido a reacciones de oxidación de algunos AA, oxidación de lípidos con AA o a reacciones cruzadas entre AA, la mayor parte de las cuales darían lugar a compuestos que no pueden ser rotos por las enzimas digestivas (Anderson *et al.*, 1995).

Ingredientes de origen vegetal proteicos

En este grupo se observaron grandes diferencias en la digestibilidad de la MS entre ingredientes, 90.7% en la TS y entre 34.7 y 45.7% en TG, GerM y TP, respectivamente; una tendencia similar se observó en la disponibilidad de E (Tabla 4). Se ha podido determinar que los ingredientes de origen vegetal generalmente tienen CDA de MS y de E más bajos que las de origen animal (Sklan *et al.*, 2004) debido a la presencia de fibra que es un material no digestible para peces; Maina *et al.* (2002) demostraron que en la TG con fibra alta (27%) y con fibra reducida (11%), los CDA de MS y E fueron más bajos en la torta con fibra alta (Tabla 4). Esta es una de las razones por las que no se recomienda el uso en altas proporciones de ingredientes como la TG que tienen digestibilidad menor de 50% porque ese porcentaje que no puede ser aprovechado por los peces, es eliminado con

las heces como materia orgánica particulada, generando así un impacto negativo sobre el ambiente acuático (Cho y Bureau, 2001; Hardy y Gatlin III, 2002).

Los CDA-P, contrario a lo observado para MS y E, exhibieron menor variabilidad entre estudios sobre una misma MP y en la mayoría de ellas, con

excepción de GerM, los valores observados fueron superiores a 82%. En particular se verificó que con respecto a los datos de Sklan *et al.* (2004), hubo discrepancias que oscilaron entre 11.6% para la TG, 6.5% para el GluM y 3.8% para la TS (Tabla 6) indicando que, a pesar de tratarse de los mismos ingredientes, metodologías similares y el mismo tipo de pez, los coeficientes resultaron diferentes.

Tabla 6. Comparación de los valores de CDA de MS, P y E de ingredientes de origen vegetal con altos contenidos de proteína evaluados en este estudio con los hallados para las tilapias en la literatura consultada.

MP	Materia seca	Proteína	Energía	Especie	Referencia
GluM	64.6	85.7	80.4		Actual
	93.2	89.0	89.0	<i>O. niloticus</i>	(Köprücü y Özdemir, 2005)
		91.4		<i>O. niloticus</i>	(Guimarães et al., 2008)
		96.5	83.4	<i>T. híbrida</i>	(Sklan et al., 2004)
		92.0	95.7	90.7	<i>O. niloticus</i>
91.0	97.6	93.5	<i>O. niloticus</i>	(Meurer et al., 2003)	
TS	90.7	92.4	73.9		Actual
	90.9	87.4	83.7	<i>O. niloticus</i>	(Köprücü y Özdemir, 2005)
		91.6	82.7	<i>O. niloticus</i>	(Pezzato et al., 2002)
		92.7		<i>O. niloticus</i>	(Furuya et al., 2001)
		92.4		<i>O. niloticus</i>	(Guimarães et al., 2008)
96.2	84.5	<i>T. híbrida</i>	Sklan et al., 2004)		
SI	71.1	91.9	82.1		Actual
		90.1	76.8	<i>T. híbrida</i>	Sklan et al., 2004)
TG	34.7	87.6	38.5		Actual
		99.2	65.5	<i>T. híbrida</i>	Sklan et al., 2004)
		37.2*	88.8	42.1	<i>O. niloticus</i>
GerM	30.8**	85.6	29.7	<i>O. niloticus</i>	(Maina et al., 2002)
		45.7	77.6	55.1	
TP	42.2	86.8	74.9	<i>O. niloticus</i>	(Pezzato et al., 2002)
		81.7	62.0		Actual

*Baja fibra (11%); **Alta fibra (27%)

Como se señaló anteriormente, tales diferencias en los CDA de las fracciones que hacen parte de estas las MP pueden ser causadas por factores diversos (Furuya *et al.*, 2001; Köprücü y Özdemir, 2005; Guimarães *et al.*, 2008) pero también, por diferencias fisiológicas y enzimáticas del aparato digestivo estimuladas por condiciones de cultivo particulares (Degani y Revach, 1991; Sklan *et al.*, 2004). Hossain *et al.* (1997) y Pezzato *et al.* (2002) señalan la importancia de que en la formulación de raciones que pretendan alta eficiencia y bajo impacto ambiental, los valores a emplear sean de

preferencia los obtenidos para cada materia prima y especie de pez en particular.

Ingredientes de origen vegetal energéticos

Por tratarse de ingredientes con altos contenidos de fibra, la digestibilidad de la MS y de la E fue relativamente baja con respecto a los demás MP analizadas, con valores inferiores a 67% pero que con relación a datos reportados en la literatura para esta misma especie, fueron semejantes (Tabla 7). De acuerdo con observaciones de Furuya *et al.* (2001) y Pimenta *et al.* (2008), la fibra ejerce un efecto

negativo sobre los CDA-P y de aminoácidos por reducción del tiempo de tránsito intestinal.

De los seis ingredientes energéticos examinados la HA exhibió los coeficientes más bajos, que de todas maneras fueron semejantes a los reportados por Pezzato *et al.* (2002) y la HYI, los más altos; en la literatura no se hallaron reportes de digestibilidad de la HYI que permitieran hacer comparaciones.

Los altos CDA-P observados para los ingredientes energéticos evaluados en este estudio fueron similares a los reportados para MP de origen animal y vegetal en este y en otros estudios con tilapias; la baja digestibilidad de la MS se constituye en un factor limitante de uso en la formulación de raciones, especialmente de aquellas con destino a cultivos intensivos debido a que la gran cantidad de desperdicios eliminados con las heces que impactan negativamente la calidad del agua.

Tabla 7. Comparación de los valores de CDA de MS, P y E de ingredientes de origen vegetal energéticos evaluados en este estudio con los hallados para tilapias en la literatura consultada.

Ingredientes	Materia seca	Proteína	Energía	Referencia
HTT	59.0	85.4	59.2	Actual
		78.2		<i>O. niloticus</i> (Furuya <i>et al.</i> , 2001)
		79.5	71.9	T. híbrida Sklan <i>et al.</i> , 2004)
HTD	66.0	91.1	67.4	<i>O. niloticus</i> (Pezzato <i>et al.</i> , 2002)
		83.5	61.4	Actual
HA	57.0	79.3	68.4	Actual
		59.3	57.5	<i>O. niloticus</i> (Pezzato <i>et al.</i> , 2002)
MFM	45.7	84.1	58.2	Actual
HMA	64.4	84.7	59.7	Actual
		75.1	61.4	T. híbrida Sklan <i>et al.</i> , 2004)
		87.1		<i>O. niloticus</i> (Furuya <i>et al.</i> , 2001)
HYI	88.0	91.7	62.0	<i>O. niloticus</i> (Pezzato <i>et al.</i> , 2002)
		89.9	82.3	Actual

En virtud de las diferencias que generalmente se encuentran en los valores de composición de nutrientes y de CDA de MP semejantes, lo que fue verificado en este estudio, se evidencia la necesidad de la determinación y actualización permanente de los datos de digestibilidad de cada MP susceptible de ser utilizada en la formulación de raciones eficientes y de bajo impacto ambiental para cada especie en particular.

Referencias

Allan GL, and Booth MA. Effects of extrusion processing on digestibility of peas, lupins, canola meal and soybean meal in silver perch *Bidyanus bidyanus* (Mitchell) diets. *Aquaculture Research* 2004; 35:981-991.

Allan GL, Parkinson S, Booth MA, Stone DAJ, Rowland SJ, Frances J, and Warner-Smith R. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: I. Digestibility of alternative ingredients. *Aquaculture* 2000; 186:293-310.

Agradecimientos

Al IALL-Unillanos y al MADR por la Cofinanciación del proyecto según convenio N° 018-06 Unillanos/MADR. A la empresas comerciales ITALCOL e Industrias DELMAIZ por el suministro de las materias primas analizadas en este estudio.

Anderson JS, Lall SP, Anderson DM, and McNiven MA. Availability of amino acids from various fish meals fed to Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 1995; 138:291-301.

AOAC. (Association of Official Analytical Chemists). Official methods of analysis. 16th ed. AOAC. Ed. S. Williams. 16th ed. Arlington, Virginia; 1995.

Bock CL, Pezzato LE, Cantelmo OÂ, and Barros MM. Fitase e digestibilidade aparente de nutrientes de rações para tilápias do nilo. *Rev Bras Zootec* 2006; 35:2197-2202.

- Borja Á. Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad. Boletín Instituto Español de Oceanografía 2002; 18:41-49.
- Boscolo, WR, Hayashi C, Feiden A, Meurer F, Signor AA. Composição química e digestibilidade aparente da energia e nutrientes da farinha de resíduos da indústria de filetagem de tilápias, para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)
- Cho CY, and Bureau DP. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. Aquaculture Research 2001; 32:349-360.
- Cho CY, Cowey CB, and Watanabe T. Finfish Nutrition in Asia: Methodological approaches to research and development. Ottawa, Ont. (Canada): IDRC; 1985.
- Degani G, and Revach A. Digestive capabilities of three commensal fish species: Carp, *Cyprinus carpio* L., tilapia, *Oreochromis aureus*, x *O. niloticus*, and African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). Aquatic Fisheries Management 1991; 22:397-403.
- Degani G, Viola S, and Yehuda M. Apparent digestibility coefficient of protein sources for carp (*Cyprinus carpio*). Aquaculture Research 1997; 28:23-28.
- Foster I. A note on the method of calculating digestibility coefficients of nutrients provided by single ingredients to feeds of aquatic animals. Aquaculture Nutrition 1999; 5:143-145.
- Furukawa A, and Tsukahara H. Método de digestão ácida para determinação do óxido crômico usado como substância indicadora nos estudos de digestibilidade dos alimentos para peixes. Bull Jap Soc Sci Fish 1966; 32:502-506.
- Furuya WM, Pezzato LE, Pezzato AC, Barros MM, and Miranda EC. Coeficientes de Digestibilidade e Valores de Aminoácidos Digestíveis de Alguns Ingredientes para Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Rev Bras Zootec 2001; 30:1143-1149.
- Furuya WM, Pezzato LE, Pezzato AC, Miranda EC, Furuya VRB and Barros MM. Digestibilidade Aparente da energia e nutrientes do farelo de Canola pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Rev Bras Zootec 2001; 30:611-616
- Glencross BD, Booth M, and Allan GL. A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. Aquaculture Nutrition 2007; 13:17-34.
- Guimarães LG, Pezzato LE, and Barros MM. Amino acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture Nutrition 2008.
- Hardy RW, and Gatlin-III DM. Nutritional Strategies to Reduce Nutrient Losses in Intensive Aquaculture. Avances en Nutrición Acuicola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 3 al 6 de Septiembre del 2002, Eds. L. E. Cruz-Suárez, et al. Cancún, Quintana Roo, México, 2002. 23-34.
- Hossain MA, Nahar N, and Kamal M. Nutrient digestibility coefficients of some plant and animal proteins for rohu (*Labeo rohita*). Aquaculture 1997; 151:37-45.
- Köprücü K, and Özdemir Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture 2005; 250:308-316.
- Lee S-M. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture 2002; 207:79-95.
- Lupatsch I, and Kissil GW. Predicting aquaculture waste from gilthead seabream (*Sparus aurata*) culture using a nutritional approach. Aquatic Living Resources 1998; 11:265-268.
- Maina JG, Beames RM, Higgs D, Mbugua PN, Iwama G, and Kisia SM. Digestibility and feeding value of some feed ingredients fed to tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). Aquaculture Research 2002; 33:853-862.
- Masagounder K, Firman JD, Hayward SS, and Brown PB. Apparent digestibilities of common feedstuffs for bluegill *Lepomis macrochirus* and largemouth bass *Micropterus salmoides* using individual test ingredients. Aquaculture Nutrition 2009; 15:29-37
- Masumoto T, Ruchimat T, Ito Y, Hosokawa H, and Shimeno S. Amino acid availability values for several protein sources for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). Aquaculture 1996; 146:109-119.
- McGoogan BB, and Reigh RC. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. Aquaculture 1996; 141:233-244.
- Meurer F, Hayashi C, and Boscolo WR. Digestibilidade aparente de alguns alimentos protéicos pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Rev Bras Zootec 2003; 32:1801-1809.
- NRC. Nutrients requirements of fish. Ed. NRC. Washington. D. C.: National Research Council; 1993.
- Pezzato LE, Miranda EC, Barros MM, Pinto LGQ, Furuya WM, and Pezzato AC. Digestibilidade aparente de Ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Rev Bras Zootec 2002; 31:1595-1604.
- Pimenta MESH, Oliveira MM, Logato PVR, Pimenta CJ, and Freato TA. Desempenho produtivo e digestibilidade pela tilápia do NILO (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) alimentada com dietas suplementadas com níveis crescentes de silagem ácida de pescado. Ciênc Agrotec 2008; 32:1953-1959.
- Sklan D, Prag T, and Lupatsch I. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* X *Oreochromis aureus* (*Teleostei, Cichlidae*). Aquaculture Research 2004; 35:358-364.
- Vásquez-Torres W, Pereira-Filho M, and Arias-Castellanos JA. Estudos para composição de uma dieta referência semipurificada para avaliação de exigências nutricionais em juvenis de pirapitinga, *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818). Rev Bras Zootec 2002; 31:283-292.