

Digestibilidad del fósforo en ingredientes de origen animal utilizados en dietas para cachama (*Piaractus brachypomus*)

Digestibility of phosphorus from animal ingredients used in diets for cachama (*Piaractus brachypomus*)

Digestibilidade do fósforo em ingredientes de origem animal utilizados em dietas para cachama (*Piaractus brachypomus*)

René M. Ramos-Páez^{1*}; Walter Vasquéz-Torres^{2*}

¹ Biól, Esp, MSc,

² Biol, MSc, PhD. Profesor Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia.

* Grupo de investigación en alimentación y nutrición de organismos acuáticos GRANAC, Instituto de Acuicultura, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia.

Email: renemrp@gmail.com

Recibido: septiembre 4 de 2012 Aceptado: noviembre 29 de 2012

Resumen

Se realizó un experimento para determinar los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de fósforo para cachama (*Piaractus brachypomus*) de tres materias primas de origen animal: harina de pescado, harina de carne y hueso y harina de sangre. Para cada ingrediente a investigar se formuló una ración experimental compuesta por 69.5% de una dieta referencia semipurificada, 30% de la materia prima y 0.5% de óxido de cromo usado como marcador inerte. En el experimento se utilizaron 90 juveniles de 187.82 ± 13.45 g de peso, los cuales fueron colocados en un tanque rectangular de 12 m² en donde se suministró la respectiva dieta experimental durante 7 días, dos veces/día; en los tanques se mantuvo flujo continuo de agua a una tasa de 8-12 L/minuto y aireación permanente para garantizar niveles de oxígeno superiores a 60% de saturación; al séptimo día después de la ración matutina, los animales se pescaron y se distribuyeron aleatoriamente en nueve tanque cónicos de 200 L (10 peces/tanque) para proceder a la colecta de heces. Los materiales recogidos de tres tanques conformaron una repetición de tres por cada tratamiento. El contenido de nutrientes y de fósforo en los ingredientes y en las heces fue determinado por métodos convencionales de análisis bromatológico y por el método colorimétrico del ácido vanadomolibdomofosfórico, respectivamente. El contenido de fósforo fue 1.25 % en la harina de carne y hueso, 0.83% en la harina de pescado y 0.26% en la harina de sangre y los CDA de 76.69%, 75.67% y 6.36% respectivamente.

Palabras clave: acuicultura, cultivo de peces, digestibilidad aparente de fósforo, nutrición de peces, peces tropicales

Abstract

An experiment was conducted to determine the apparent digestibility coefficients (ADC) of phosphorus for cachama (*Piaractus brachypomus*) from three primary materials of animal origin: fish meal, meat and bone meal and blood meal. For each ingredient an experimental ration was developed, composed of 69.5% semi purified reference diet, 30% of the primary material and 0.5% chromium oxide used as inert marker. In the experiment 90 juveniles of 187.82 ± 13.45 of weight, were used and placed in a rectangular tank of 12 m². The respective experimental diet was provided twice a day for a period of time of seven days with a continuous water flow of 8-12 L/minute rate and permanent aeration to ensure oxygen levels

above 60% of saturation, the seventh day after the morning ration, the animals were caught and randomly distributed into nine conical tanks of 200 L (10 fish / tank) to carry out the feces collection. The materials collected from three tanks formed a repetition of three for each treatment. The nutrient content and phosphorus in the ingredients and feces were determined by conventional bromatological analysis methods and by the colorimetric method of vanadomolybdofosfórico acid, respectively. The phosphorus content was 1.25% in meat and bone meal, 0.83% in fish meal and 0.26% in the blood meal and CDA to 76.69%, 75.67% and 6.36% respectively.

Keywords: aquaculture, fish farming, apparent digestibility of phosphorus, fish nutrition, tropical fish.

Resumo

Um experimento foi conduzido para determinar os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) de fósforo para pirapitinga (*Piaractus brachypomus*) de três matérias-primas de origem animal: farinha de peixe, farinha de carne e ossos e farinha de sangue. Para cada ingrediente em estudo foi formulada uma ração experimental, composta por 69.5% da dieta referência semipurificada, 30% da matéria-prima e 0.5% de óxido de cromo usado como marcador inerte. No experimento se utilizaram 90 juvenis de 187.82 ± 13.45 g de peso, que foram colocados em um tanque retangular de 12 m², onde foi fornecida a respectiva dieta experimental durante sete dias, duas vezes/dia; nos tanques foi mantido fluxo contínuo da água a uma taxa de 8 - 12 L/minuto e ventilação permanente para garantir níveis de oxigênio acima de 60% de saturação; no sétimo dia após a primeira ração do dia, os animais foram capturados e distribuído aleatoriamente em nove tanques cônicos de 200 L (10 peixes / tanque) para realizar a coleta das fezes. Os materiais coletados de três tanques conformaram uma repetição de três para cada tratamento. O teor de nutrientes e fósforo nos ingredientes e fezes foi determinado por métodos convencionais de análise bromatológica e pelo método colorimétrico do ácido vanadomolybdofosfórico, respectivamente. O teor de fósforo foi de 1.25% na farinha de carne e osso, 0.83% em farinha de peixe e 0.26% na farinha de sangue e os CDA de 76.69%, 75.67% e 6.36% para as três matérias primas, respectivamente.

Palavras chave: aqüicultura, cultivo de peixes, digestibilidade aparente de fósforo, nutrição de peixes, peixes tropical.

Introducción

El fósforo es un componente esencial del sistema esquelético y participa activamente en los procesos de transformación de energía y metabolismo celular, incluyendo la síntesis de ácidos nucleídos, fosfolípidos y algunas enzimas (Tacon, 1990; NRC, 1993). Aunque los peces pueden absorber las sales de fósforo solubles a través de la piel, las aletas y las branquias, la concentración de fósforo en agua dulce y en agua de mar es relativamente baja (Tacon, 1990; NRC, 1993); por esta razón, la principal fuente de fósforo para el metabolismo de las especies acuáticas es el alimento (Sales *et al.*, 2003; Weerasinghe *et al.*, 2001).

El contenido de fósforo en ingredientes de origen vegetal es muy bajo, generalmente es limitado a menos de 0.60% de la materia seca en ingredientes como harina de trigo, torta de soya y gluten de maíz y no todo su contenido es biodisponible para peces (Rueda, 2011). En ingredientes de origen animal por el contrario, las proporciones pueden ser mayores, desde 1% hasta 4-5% de la materia seca (Cho & Bureau, 2001), sin embargo, la digestibilidad es el factor que define que proporción del contenido total está realmente disponible para una especie en particular (Shearer, 1995). Las raciones para peces deben incluir niveles de fósforo altamente disponible, suficientes para atender las

exigencias específicas de cada especie, pero nunca deben superar sus requerimientos porque los excedentes no pueden ser almacenados en el organismo y por tal razón, deben ser devueltos al sistema como productos de excreción (Pimentel-Rodríguez y Oliva-Teles, 2007). En trucha arcoíris, la eficiencia de la utilización del fósforo es máxima cuando la concentración dietaria es menor que los requerimientos y decrece con valores más altos de los requeridos (Rodehutschord *et al.*, 2000). Así mismo, diferentes investigadores (Ogino *et al.*, 1979; Lall, 1991; NRC, 1993; Köprücü *et al.*, 2005), han demostrado que la morfología y fisiología gástrica de las especies también influye en la digestibilidad del fósforo, siendo mayor en peces con estómago verdadero y digestión ácida, como la trucha arcoíris y menor en peces agástricos, como la carpa común; de esta manera la digestibilidad de nutrientes incluyendo el fósforo de cualquier materia prima, es variable entre especies.

Para formular raciones para peces es importante conocer la concentración de fosforo así como su digestibilidad en cada una de las materias primas a emplear; esto con el fin de lograr niveles que garanticen eficiencia nutricional y sostenibilidad ambiental. Para la especie en estudio no hay reportes en la literatura sobre digestibilidad de fósforo. El objetivo del presente estudio fue determinar la digestibilidad aparente de fósforo

Tabla 1. Composición centesimal de la Dieta Referencia Semipurificada (DRS).

Ingredientes	(g/100g dieta)
Caseína ⁽¹⁾	33.3
Gelatina ⁽²⁾	3.4
Dextrina	40.0
Alfa celulosa	10.1
Carboximetil celulosa (CMC)	4.0
Aceite de pescado	2.4
Aceite de maíz	2.4
Premezcla de vitaminas ⁽³⁾	0.2
Premezcla de minerales ⁽⁴⁾	0.1
Premezcla de macrominerales ⁽⁵⁾	4.0
Ácido ascórbico (StayC-35)	0.1

(Vásquez-Torres *et al*, 2002).

⁽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 ® 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, Pantotenato 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 ® 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) 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.

de tres materias primas de origen animal: harinas de sangre, de pescado y de carne y hueso para juveniles de cachama (*Piaractus brachypomus*).

Materiales y métodos

El estudio fue desarrollado en la sala de bioensayos de la Estación Piscícola del Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos (IALL), en Villavicencio, Colombia.

Para la evaluación de las materias primas seleccionadas, harinas de sangre (HS), pescado (HP) y carne y huesos (HCH), se elaboraron tres dietas experimentales constituidas por el 69.5% de una dieta de referencia semipurificada (DRS), 0.5% de óxido de cromo y 30% de cada una de las tres materias primas en estudio (Tabla 1). Estos ingredientes, de uso común en la industria de alimentos para peces, fueron donados por una empresa comercial de alimentos concentrados para animales. Para la elaboración de las dietas todos los ingredientes fueron finamente molidos, mezclados

y extruidos utilizando microextruder de laboratorio (Extec®, Riberão Preto-Brasil). Las dietas terminadas se almacenaron en bolsas plásticas bajo refrigeración hasta su uso: igualmente se preservaron muestras para los análisis de composición proximal, de contenidos de fósforo y para determinación de óxido de cromo (Cr₂O₃).

Para cada materia prima seleccionada se utilizaron 90 juveniles de cachama (*Piaractus brachypomus*) con peso medio de 187.82 ±13.45 g los cuales fueron sometidos a un periodo de aclimatación de una semana en tanque rectangular de 12 m², alimentándolos hasta aparente saciedad dos veces al día (8 y 16 h) con DRS. Para cada materia prima se suministró la dieta experimental durante seis días y en el día séptimo, después de la primera ración diaria, se seleccionaron y ubicaron aleatoriamente 9 grupos de 10 animales, aproximadamente 1880 g de biomasa/tanque, en igual número de tanques cónicos de 200 L (sistema Guelph modificado); la recolección de las heces se realizó a intervalos de una hora durante diez horas. Estos tanques eran abastecidos con agua proveniente de un sistema cerrado con recirculación a través de biofiltros para garantizar condiciones de calidad de agua estables; se fijó una tasa de recambio de aproximadamente 2 L/min/tanque y aireación continua para mantener niveles de oxígeno superiores a 60% de saturación. Este mismo proceso se repitió para cada dieta experimental.

Una vez colectada cada muestra de heces se procedió a eliminar el exceso de agua y fueron deshidratadas en horno (Inmetalgas, Ltda-Bogotá) a una temperatura de 60 °C. Posteriormente el material fue pulverizado utilizando un micromolino (Scienceware, USA) y luego almacenadas bajo refrigeración para los análisis de composición proximal, concentración de óxido de cromo y contenidos de fósforo.

Las materias primas en estudio, la DRS, las dietas experimentales y las heces fueron analizadas para determinar la composición proximal según metodología descrita por Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 1995), energía bruta utilizando bomba calorimétrica (121AE Parr Instruments, USA), la concentración de óxido de cromo (Cr₂O₃) por el método de digestión ácida propuesto por (Furukawa y Tsukahara, 1966) y los contenidos de fósforo utilizando el método colorimétrico del ácido vanadomolibdofosforico (AOAC, 1995). Una alícuota de la solución ácida de la muestra, se mezcla con el reactivo molibdovanadato para formar el complejo coloreado fosfomolibdovanadato y la absorbancia de éste complejo es proporcional a la concentración del ión fosfato, Ley de Lambert - Beer, (NTC 4981). Para la concentración de fósforo

(mg) en la alícuota de la muestra se preparó una serie de soluciones de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 ppm a partir de una solución estándar de trabajo de 100 ppm de fósforo con fosfato monobásico de potasio anhídrido (KH₂PO₄) en 11 balones aforados de 100 ml, agregando a cada uno 20 ml de agua destilada desmineralizada, (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10) ml de solución estándar de trabajo, excepto al blanco, y 6 ml de solución de molibdovanadato (reactivo mixto o solución de color) completando a volumen y homogenizando. Luego de 10 minutos de espera para el desarrollo total del color, se midió la absorbancia a 400 nm. Se elaboró una curva de calibración de la absorbancia obtenida contra los contenidos de fosforo correspondientes.

El coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de fósforo en las dietas experimentales se calculó con base en la fórmula propuesta por Nose, (1960).

$$CDA\% = 100 \left\{ -100 \times \left(\frac{\%Cr\ 203\ D}{\%Cr\ 203\ H} \times \frac{\%Nutriente\ H}{\%Nutriente\ D} \right) \right\}$$

Donde:

- CDAP% = Coeficiente de digestibilidad aparente de fósforo.
- % Cr₂O₃ D = Porcentaje de óxido de cromo en la dieta.
- % Cr₂O₃ H = Porcentaje de óxido de cromo en las heces.
- % Fósforo H = Porcentaje de fósforo en las heces.
- % Fósforo D = Porcentaje de fósforo en la dieta.

El coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de fósforo en la materia prima de origen animal evaluada, basado en el CDA de las dietas experimentales es calculado con base en la siguiente fórmula (Forster, 1999; Bureau y Hua, 2006):

$$CDAP\ \% \text{ ingrediente} = \frac{((CDA\ dt\ exp. \times \% P\ dt\ exp) - (a \times \% P\ dt\ ref \times CDA\ dt\ ref))}{(b \times \% P\ ingr)}$$

- CDA dt exp. = Coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta experimental evaluada.
- % P dt exp = % de fósforo de la dieta experimental evaluada.
- a = proporción de la dieta de referencia en la dieta experimental.
- % P dt ref = % de fósforo de la dieta de referencia.
- CDA dt ref. = Coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta de referencia.
- b = proporción de la materia prima en la dieta experimental.
- % P ingr = % de fósforo de la materia prima evaluada.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 3 tratamientos (dietas experimentales) y tres réplicas por tratamiento (tres tanques cónicos por réplica). A los datos obtenidos se les sometió a análisis de varianza y cuando se observaron diferencias significativas (p<0.05), se aplicó el test de comparación múltiple de medias de Tukey (p<0.05). Los análisis fueron realizados usando el programa de estadística SAS (Statistic Analysis System) vers.9.0 for Windows.

Resultados

Los resultados del análisis de composición proximal de las dietas experimentales se presentan en la Tabla 2. La dieta con HS presentó el valor más alto de proteína bruta (45.52%), seguida de la dieta con harina de carne y hueso (39.19%) y el más bajo para la dieta con HP (29.42%), sin embargo los valores de lípidos (EE) y ceniza fueron más altos en la HCH respecto de la HS.

Tabla 2. Composición proximal de las materias primas y de las dietas experimentales.

Materias primas y Dietas	MS %	% de la materia seca			% E. bruta (kcal/Kg)*
		PB	EE	Ceniza	
Materias primas					
Harina de pescado	91.3	24.5	3.4	6.2	4875.2
Harina de carne y hueso	90.4	55.3	16.2	12.4	5756.5
Harina de sangre	93.9	78.0	5.9	6.0	5302.8
Dietas					
Referencia (DRS)	89.7	32.1	2.7	3.9	4461.5
Dieta con HP	88.2	29.4	2.9	4.8	4710.5
Dieta con HCH	83.5	39.2	6.7	6.5	4705.7
Dieta con HS	82.1	45.5	3.6	4.7	4780.4

* Energía bruta (EB) determinada en bomba calorimétrica (PARR 121 EA, USA).
MS = materia seca; PB = proteína bruta; EE = extracto etéreo.

Tabla 3. Concentración de fósforo en las materias primas y en las dietas experimentales (% de materia seca)

Dietas	Contenido de P (% de la MS)	
	Ingrediente	Dieta
Dieta Referencia		0.49
Dieta con HP	0.83	0.57
Dieta con HCH	1.25	0.81
Dieta con HS	0.26	0.40

Tabla 4. Coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de P de las dietas experimentales y de las materias primas.

Tratamientos	CDA de P (%)	
	Dieta	Ingrediente
Dieta Referencia	74.84	
Dieta Harina de pescado	78.09 ^a	75.67 ^a
Dieta Harina de Carne y Hueso	67.20 ^b	76.69 ^a
Dieta Harina de sangre	65.41 ^c	6.36 ^b

Valores de la misma columna con diferentes letras son estadísticamente diferentes. (Tukey, $p < 0.05$).

Para la materia seca el valor más alto se presentó en la dieta con HCH (88.5%) y el más bajo en la dieta con HS (82.1%).

Los datos de concentración de fósforo de las materias primas y de las dietas experimentales se describen en la Tabla 3. El fósforo presentó un porcentaje alto en HCH (1.25%) y HP (0.83%) y un porcentaje relativamente bajo en la HS (0.26%). En las dietas experimentales el contenido de fósforo, fue más alto en la dieta con inclusión de HCH (0.81%) respecto de los valores para las dietas con HP (0.57%) y con HS (0.40%).

El CDA del fósforo de la DRS, de las dietas experimentales y de las materias primas se presentan en la tabla 4. Las dietas evaluadas presentaron coeficiente de digestibilidad aparente de fósforo entre el 65% y el 78% con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Discusión

El contenido de fósforo de ingredientes de origen animal comúnmente usados para la fabricación de raciones para peces, es altamente variable; en algunos productos como las harinas de sangre, de plumas e hidrolizados de pescado y de aves de corral, los contenidos oscilan entre 0.3 y 0.66% (NRC, 1993), mientras que en otros como las harinas de carne bovina, de aves de corral y de pescado de diversos orígenes, las

proporciones pueden llegar a 3 y 4.5% (Cho y Bureau, 2001; NRC, 1993). En este estudio los contenidos de fósforo de las materias primas oscilaron entre 0.26% en la HS y 1.25% en la HCH los cuales se encuentran dentro del rango normalmente reportados para materias primas de este tipo y son comparables con los citados en la literatura para estos mismos ingredientes (Tabla 5).

El CDA del fósforo para HCH fue superior al constatado para trucha arcoíris por Hua y Bureau (2006), (CDA de 48.2% y 3.5% de P en la materia prima), y por Sugiura y Hardy (2000) (27% de CDA y 2.2% de P en la materia prima), sugiriendo esto mayor eficiencia de la cachama en la utilización del fósforo contenido en la HCH respecto de la trucha arcoíris. El CDA de la HP determinado fue superior al valor reportado por NRC (1993) para bagre de canal (60%) y para carpa (18 – 24%) y a los reportados por Pimentel y Oliva (2007) para trucha arcoíris analizando diferentes harinas de pescado e inferiores a los resultados reportados por Manríquez (1994) para harina de pescado deshuesada en salmones (CDA del fósforo de 85.46%, con 1.3% de fósforo en la materia prima). La HS presentó CDA inferior a los valores reportados por Manríquez (1994) para salmones (CDA del fósforo de 85.46%, con 1.3% de P en la materia prima) y por Sugiura y Hardy (2000) para trucha arcoíris (mayor de 95% para HS con 0.7% de fósforo).

Tabla 5. Comparación del contenido de fósforo (P) y de los Coeficientes de Digestibilidad Aparente (CDA) del P de las materias primas de origen animal evaluadas en cachama con los valores reportados para otras especies.

MP	Especie	P (%)	CDA (%)	Referencia
HCH	Cachama	1.25	76.69	Actual
	Trucha arcoíris	3.50	48.20	Hua y Bureau (2006)
	Trucha arcoíris	2.20	27.00	Sugiura y Hardy (2000)
HP	Cachama	0.83	75.67	Actual
	Salmon	1.30	85.46	Manríquez (1994)
	Bagre de canal		60.00	NRC (1993)
	Carpa		18 - 24	NRC (1993)
	Lubina	2.0 - 2.96	49.2- 63.3	Pimentel y Oliva (2007)
	Tilapia nilótica	2.30	59.90	Schneider, et al. 2004
	Salmon Coho y trucha	2.9	47.4 y 50.4	Sugiura et al. 1999
HS	Cachama	0.26	6.36	Actual
	Salmon	1.30	85.46	Manríquez (1994)
	Trucha arcoíris	0.70	95.00	Sugiura y Hardy (2000)

Según Steffens (1987) el fósforo presente en los ingredientes de origen animal se encuentra principalmente en forma inorgánica como hidroxapatita, componente estructural de los huesos, con baja disponibilidad a menos que sean digeridos en medio ácido. El CDA del fósforo de HP y HCH para cachama es consecuente al contenido de fósforo de estas materias primas, es decir valores altos tomando en consideración que la especie posee estómago con actividad en medio ácido, situación que le permite ser más eficiente en la digestión y absorción del fósforo de materias primas que contienen este mineral en la forma de hidroxapatita.

Al comparar los resultados obtenidos en la presente investigación con los reportados en otros trabajos, se encuentran diferencias en los valores nutricionales en las materias primas evaluadas al igual que en los valores de digestibilidad del fósforo determinados para una misma especie, en diferentes edades o en diferentes especies en distintas edades y condiciones de cultivo; aunque las observaciones se hagan en animales que comparten similitudes morfológicas y fisiológicas como la presencia de estómago definido y digestión en medio ácido. Tales diferencias en los resultados reportados por varios investigadores (Hua, y Bureau, 2006; Sugiura y Hardy, 2000; NRC, 1993; Pimentel-Rodríguez y Oliva-Teles, 2007) pueden ser atribuidos a las variaciones en la composición de los ingredientes, al procesamiento de las raciones, al nivel del nutriente

en la ración o aún al tamaño de los peces (Quintero, 2008); también influyen la calidad, el sistema de obtención y procesamiento de las materias primas, que son factores que además afectan ampliamente la composición de una ración, por estas razones es importante que las evaluaciones nutricionales al igual que la determinación del CDA para los diferentes nutrientes, sean realizados minuciosamente y constantemente para tener mayor certeza al momento de formular las raciones, evitando la generalización y transposición de información entre diferentes especies o en una misma especie en diferentes edades.

En conclusión, la digestibilidad aparente del fósforo en juveniles de cachama blanca (*piaractus brachypomus*) para las materias primas evaluadas fue de 76.69% para HCH, 75.67% para HP y 6.36% para HS; siendo mejor la digestibilidad en las que contienen el fósforo en forma de hidroxapatita y comparativamente más alta que la reportada en otras especies para estos mismos recursos; lo cual puede indicar que la cachama es más eficiente en la asimilación del fósforo de estas materias primas por sus características digestivas, en especial la presencia de estómago con proceso de digestión en medio ácido.

Agradecimientos

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y al Instituto de Investigaciones de la Orinoquia co-

lombiana IOC por la Cofinanciación del proyecto. A la empresa comercial ITALCOL por el suministro de las materias primas analizadas en este estudio.

Bibliografía

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1995. Official Methods of Analysis 16th. AOAC 0066-961X, Arlington, Va.
- Bureau, D.P., Hua, K., 2006. Letter to the Editor of *Aquaculture*. *Aquaculture* 252, 103-105.
- Cho, C.Y., Bureau, D.P., 2001. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. *Aquaculture Research*, 32 (Suppl. 1), 349 - 360.
- Foster I., 1999. A note on the method of calculating digestibility coefficients of nutrients provided by single ingredients to feeds of aquatic animals. *Aquaculture Nutrition*; 5: 143-145.
- Furukawa, A. y Tsukahara, H., 1966. Método de digestão ácida para determinação do óxido crômico usado como substância indicadora nos estudos de digestibilidade dos alimentos para peixes. *Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries*, 32(6): 502-506.
- Hua, K., and Bureau, D.P., 2006. Modelling digestible phosphorus content of salmonid fish feeds. *Aquaculture* 254, 455-465.
- Köprücü, K., Özdemir, Y., 2005. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 250, 308 - 316.
- Lall S.P., 1991. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish. In: *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste* (ed. by C.B. Cowey & C.Y. Cho), 21 - 36. Proceedings of the 1st International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste, Guelph, Ontario, Canada. Fish Nutrition Research Laboratory, University of Guelph, Canada.
- Manríquez H., J. A. 1994. La digestibilidad como criterio de evaluación de alimentos - Su aplicación en peces y en la conservación del medio ambiente. En: *Control de Calidad de Insumos y Dietas Acuícolas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO Italia.
- National Research Council, NRC. 1993. Nutrients requirements of fish. National Research Council, Washington. D. C., USA. 115 pp.
- Nose, T., 1960. On the digestion of food protein by gold-fish (*Carasus auratus* L. and rainbow trout (*Salmo irideus* G.). *Bulletin of freshwater Fisheries Research Laboratory, Hino-City*, v 10, p 11-22.
- NTC 4981. (Norma Técnica Colombiana), 2001. Alimentos para animales. Determinación del contenido de fósforo. Método espectrofotométrico. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (ICONTEC). Bogotá, Colombia.
- Ogino C., Takeushi L., Takeda H., Watanabe T., 1979. Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 45, 1527 - 1532.
- Pimentel-Rodrigues A., Oliva-Teles, A., 2007. Phosphorus availability of inorganic phosphates and fish meals in European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles. *Aquaculture* 267, 300-307.
- Quintero, P., L. G., 2008. Exigências dietarias e disponibilidade de fontes de fósforo para Tilapia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Botucatu, Brasil.
- Rodehutsord, M., Gregus, Z., Pfeffer, E., 2000. Effect of phosphorus intake on faecal and non-faecal phosphorus excretion in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and the consequences for comparative phosphorus availability studies. *Aquaculture* 188, 383-398.
- Rueda, W. 2011 Efecto de la suplementación de fitasa sobre la digestibilidad de fósforo y proteína de materias primas de origen vegetal empleadas en la fabricación de raciones para tilapia roja, *Oreochromis sp.* Tesis de maestría. Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Villavicencio, 56 p.
- Sales, J., Britz, P.J., Viljoen, J., 2003. Dietary phosphorus leaching and apparent phosphorus digestibility from different inorganic phosphorus sources for South African abalone (*Haliotis midae* L.) *Aquaculture Nutrition* 9, 169 - 174.
- Shearer, K.D., 1995. The use of factorial modeling to determine the dietary requirements for essential elements in fish. *Aquaculture* 133, 57-72.
- Schneider, O., Amirkolaie, A., Vera-Cartas, J., Eding, E., Schrama, J., & Verreth, J., 2004. Digestibility, faeces recovery, and related carbon, nitrogen and phosphorus balances of five feed ingredients evaluated as fishmeal alternatives in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Research* 32, 1370 - 1379.
- Steffens, W., 1987. Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Editora Acribia. Zaragoza, 272p.
- Sugiura, S.H., Raboy V., Young K.A., Dong F.M., Hardy R.W., 1999. Availability of phosphorus and trace element in low-phytate varieties of barley and corn for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 170, 285-296.
- Sugiura S.H. & Hardy R.W., 2000. Environmentally-friendly feeds. In: *Encyclopedia of Aquaculture* (ed. by R.R. Stickney), 299 - 310. John Wiley & Sons, Inc, New York, USA.
- Tacon, A. G., 1990. Standard methods for the nutrition and feeding of farmed fish and shrimp. Vol. 3. Feeding methods. Argent Laboratories Press, Redmond, Washington, USA, 208 pp.
- Vásquez-Torres, W., Pereira Filho, M., Arias-Castellanos, J.A., 2002. Estudos para Composição de una Dieta Referência Semipurificada para Avaliação de Exigências Nutricionais em Juvenis de Pirapitinga, *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818). *R. Bras. Zootec.* 31, 283-292.
- Weerasinghe, V., Hardy, R.W. and Haard, N.F. 2001. An *in vitro* method to determine phosphorus digestibility of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) feed ingredients. *Aquaculture Nutrition*. 7 (1): 1- 9.