

## Valor nutritivo de plumas tratadas por dos métodos de hidrólisis para la alimentación de cerdos

González, Andrea<sup>1</sup>; Bauza, Roberto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Av. Garzón 780. CP 12900.

Correo electrónico: agonzalez@fagro.edu.uy

Recibido: 16/9/09 Aceptado: 27/9/10

### Resumen

Un total de 18 cerdos de 45 kg de peso promedio fueron utilizados en dos experimentos para evaluar dos productos de la hidrólisis de plumas: plumas tratadas con NaOH (HQ), y con presión de vapor (HP). Los tratamientos en el experimento 1 (E1) fueron: RR<sub>1</sub>: ración de referencia; RHQ: sustitución de 18% de la materia seca (MS) del RR<sub>1</sub> por HQ; RHP: sustitución de 18% de la MS del RR<sub>1</sub> por HP. En el experimento 2 (E2) los tratamientos fueron: RR<sub>2</sub>: ración de referencia; HQD: sustitución de 1/3 de Proteína Cruda (PC) por PC de HQ; HQDL: dieta HQD suplementada con lisina. Las variables estudiadas en E1 fueron Digestibilidad aparente (Dap) de MS, materia orgánica (MO), Proteína cruda (PC) y Energía (E) de los alimentos y en E2 fueron Dap de MS, PC, Valor Biológico aparente (VBap) y Valor Proteico Neto (VPN) de las dietas conteniendo HQ. La HP presentó los menores valores de todas las variables en estudio (P<0,05). Los valores de Dap de MO y PC para RHQ fueron inferiores (P<0,05) a los obtenidos para RR<sub>1</sub>. El VBap de las dietas disminuyó (P<0,05) obteniéndose valores (%) del 71; 44; 51; para RR<sub>2</sub>, HQD, HQDL. Se concluye que el tratamiento con presión de vapor y temperatura no ofreció un producto con valores de Dap aceptables, siendo adecuadas para las plumas tratadas con NaOH. La inclusión de HQ en dietas para cerdos disminuyó el VBap de la PC y la suplementación con lisina no fue suficiente para mejorar (P>0.05) la calidad de ese indicador.

Palabras clave: hidrolizados de plumas, digestibilidad aparente, valor proteico neto, valor biológico

### Summary

## Nutritional Value of Feathers Treated by Two Methods of Hydrolysis for Feeding Pigs

A total of 18 pigs of average weight 45 kg, were used in two experiments to evaluate two products of hydrolysis of feathers: feathers treated with NaOH (QH), and treated with vapour pressure (PH). In E1, treatments were: RR<sub>1</sub>: reference ration; RQH: replacement of 18% of dry matter (DM) of RR<sub>1</sub> by QH; RPH: replacement of 18% of DM of RR<sub>1</sub> by PH. In E2, treatments were: RR<sub>2</sub>: ration reference; DQH: replacement of 1/3 of crude protein (DCP) by CP of QH; DLQH: DQH diet supplemented with 0.25% lysine. The variables evaluated in E1 were apparent digestibility (Dap) of DM, organic matter (OM), crude protein (CP) and energy (E), and E2 were Dap of DM, CP, apparent biological value (VBap) and net protein value (NPV) of diets containing QH. The PH had smaller values for all variables studied (P < 0.05). The Dap of OM and CP for RQH were lower (P < 0.05) respect to RR<sub>1</sub>. The BVap of diet protein was: 71.5, 44.3, 51.1 for RR<sub>2</sub>, DQH, DLQH respectively. It is concluded that treatment with pressure and temperature did not provide an acceptable product. Feathers treated with NaOH obtained adequate values of digestibility. The inclusion of QH in diets for pigs reduced the BVof the CP and the contribution of lysine was not enough (P > 0.05) to improve this indicator.

Key words: hydrolyzed feather, apparent digestibility, net protein value, biological value

## Introducción

La creciente demanda de semillas de oleaginosas para la producción de biocombustibles ha generado un fuerte aumento de los precios de los insumos usados tradicionalmente en la alimentación de cerdos, promoviendo la incorporación de alimentos alternativos en las dietas. En la Facultad de Agronomía, Universidad de la República, se vienen desarrollando líneas de trabajo para su identificación y evaluación. Entre los subproductos de mataderos, las plumas son uno de los residuos interesantes por su elevado contenido en proteína y su creciente disponibilidad en volumen como consecuencia del crecimiento de la industria avícola.

Las plumas representan 7% del volumen total de la faena de pollos, y en Uruguay son utilizadas como fertilizante o enterradas en rellenos sanitarios (Velázquez, 1994). Sin embargo, en la mayor parte del mundo son procesadas por diferentes métodos para ser utilizadas en la alimentación animal en forma de harina (Apple *et al.*, 2003; Szu *et al.*, 2004).

La queratina, que representa más del 80% del peso seco de las plumas, se caracteriza por ser una proteína completamente insoluble a pH 7 y a temperatura ambiente, presentando puentes disulfuro entre las cisteínas, que le dan gran estabilidad a la molécula y la hacen indigestible a las enzimas producidas por los animales (Lehninger *et al.*, 1995). Los bajos valores de digestibilidad de la proteína cruda (5 a 26%) exigen necesariamente un tratamiento previo a su uso en la alimentación (de Blas *et al.*, 2003; Coello *et al.*, 2003).

Los métodos más frecuentemente utilizados para tratar las plumas son la temperatura (75 a 160° C) y presión (1 a 4 atm) por periodos que varían entre 15 minutos a 18 horas (Latshaw *et al.*, 1994). De este proceso se obtiene un producto denominado *harina de plumas* con valores de digestibilidad *in vitro* de la proteína entre 65 y 85% (Piccioni, M., 1970; de Blas *et al.*, 2003). La aplicación de ácidos y bases en diferentes concentraciones y tiempos ha sido otro de los métodos utilizados para mejorar la calidad de la proteína. Los valores mayores de digestibilidad se han encontrado con la aplicación de NaOH 1 M a 37 °C durante 24 horas (Kim y Patterson, 2000).

Como efecto de los tratamientos, se ha comprobado la alteración de algunos aminoácidos resultando no disponibles al metabolismo de los animales como consecuencia de las temperaturas y los pH extremos (Shirley y Parson, 2000). Se ha identificado la presencia de lisinoalanina (LAL) y lantionina como los principales cambios que involucran a los aminoácidos lisina, cistina y alanina, reduciendo la digestibilidad y absorción de los mismos (Steiner *et al.*, 1983).

La diversidad de procesamientos ha llevado a que haya en el mercado productos muy variables en digestibilidad y en calidad, sobre todo en contenido de lisina y disponibilidad de aminoácidos esenciales (Papadopoulos *et al.*, 1985). Los organismos de control establecen como necesarios valores de digestibilidad *in vitro* entre el 75 y 85% para que los productos sean comercializados (de Blas *et al.*, 2003; Moritz y Latshaw, 2001).

Trabajos con cerdos (Apple *et al.*, 2003; Szu *et al.*, 2004) recomiendan niveles máximos de inclusión de harina de plumas de 5% en dietas compuestas por maíz y harina de soja, sin que se vean afectados los parámetros productivos. Con niveles mayores de inclusión (hasta un 15% de harinas de plumas) se obtienen buenos resultados en los indicadores de performance, ganancia diaria y eficiencia de conversión, respecto a dietas control cuando son isolisínicas (Chiba *et al.*, 1995). No se encontraron antecedentes bibliográficos que valoraran el uso de productos obtenidos a través del tratamiento químico en la alimentación animal.

El objetivo de este trabajo fue determinar la digestibilidad aparente *in vivo* de los productos hidrolizados y evaluar la calidad proteica de las dietas que incluyeron plumas hidrolizadas en raciones convencionales para cerdos en crecimiento.

## Materiales y métodos

Se realizaron 2 experimentos en la Sala de Digestibilidad de la Estación de Pruebas de Porcinos, de la Facultad de Agronomía (Montevideo) durante los meses febrero-marzo de 2006 (experimento 1) y diciembre 2006-enero 2007 (experimento 2).

### Experimento 1

Se realizó una prueba de digestibilidad *in vivo* utilizando el método convencional de recolección total de heces. Se utilizaron 9 jaulas metabólicas ajustables al tamaño del animal. Cada jaula estaba equipada con comedero tipo batea y bebedero automático tipo chupete, poseyendo en la parte inferior de las jaulas dos recipientes colectores separados para recolección de heces y de orina.

#### Animales

Se utilizaron 9 cerdos, machos castrados, genéticamente homogéneos (cruzamiento comercial a cuatro vías: madres Large White x Landrace y padre híbrido comercial terminal) provenientes del mismo establecimiento. El peso vivo promedio de los animales fue  $49,5 \pm 5,7$  kg.

#### Alimentos evaluados

Los alimentos evaluados fueron: 1) producto de la hidrólisis química elaborado artesanalmente en la Facultad de Agronomía (Bauza *et al.*, 2009), sumergiendo las plumas provenientes de pollos parrilleros en hidróxido de sodio (NaOH) 1 Molar, en una proporción de cuatro partes de solución por una parte de plumas frescas, durante 36 horas, a temperatura ambiente (22 °C) y posterior neutralizado (pH 7) con ácido acético 1 Molar (Hidrolizado químico, HQ). 2) Producto de la hidrólisis física, prueba piloto realizada en una planta no especializada en la elaboración de harinas de plumas. Se trabajó con plumas del mismo origen que en el caso anterior, sometidas a vapor de agua a presión durante tres horas. La temperatura máxima posible de la máquina fue de 100 °C y la presión máxima de 3 atm. No fue posible controlar exactamente las condiciones a las que se sometieron las plumas. Posteriormente se realizó un secado al aire libre y molienda previo a su inclusión en la ración (Harina de plumas, HP) (Cuadro 1).

Los alimentos en evaluación fueron incluidos en dietas en sustitución del 18% de la dieta de referencia de acuerdo a las recomendaciones bibliográficas (Mortiz y Latshaw, 2001; Nascimento *et al.*, 2005) (Cuadro 2): Tratamiento 1 (RR<sub>1</sub>): ración de referencia formulada para cerdos de 20 a 50 kg de peso vivo, de acuerdo a las recomendaciones del NRC

**Cuadro 1.** Composición química de los productos evaluados.

Fracciones	Hidrolizado químico	Harina de plumas
MS (%)	13,3	92
C (%)	33,8	3,5
PC (%)	36,5	82,9
EE (%)	2,3	10,3
EB (Mcal/ kgMS)	3,4	5,7

**Cuadro 2.** Composición química de las raciones ofrecidas en el experimento 1.

Fracciones	Tratamientos		
	RR <sub>1</sub> *	RHQ	RHP
MS**, %	88,1	44	88,6
C, %	5,8	10,3	4,7
PC, %	18	23,7	31,1
EE, %	3,4	2,3	4,3
FDN, %	20,4	13,5	19,7
EB, Mcal/ kgMS	4,3	4,2	4,4

\*RR<sub>1</sub>: Ración de referencia del experimento 1 compuesta (base seca) por 69% de grano de maíz, 27% de harina de soja y 4% de núcleo vitamínico mineral.

RHQ: sustitución 18% de la MS de RR<sub>1</sub> por MS de Hidrolizado Químico.

RHP: sustitución de 18% de MS de RR<sub>1</sub> por MS de Harina de Plumav.

\*\*MS: materia seca, C: cenizas, PC: proteína cruda, EE: extracto al éter, FDN: fibra detergente neutro, EB: energía bruta.

1998; Tratamiento 2 (RHZ): sustitución de 18% de la MS de RR<sub>1</sub> por una cantidad igual de MS de hidrolizado químico; Tratamiento 3 (RHP): sustitución de 18% de la MS en la ración del tratamiento 1 por una cantidad igual de MS de harina de plumas.

#### Diseño y manejo experimental

El diseño experimental fue un cuadrado latino repetido por tres, cada animal recibió cada una de las tres dietas evaluadas en forma alternada.

La dieta experimental de referencia y la que contenía harina de plumas fueron elaboradas al comienzo del experimento. En el caso de las dietas conteniendo hidrolizado se definió una mezcla base con los alimentos concentrados, que se elaboró al comienzo de cada ensayo. A esta mezcla se incorpora-

ba la cantidad correspondiente de hidrolizado al momento de su suministro a los animales, a lo efectos de evitar problemas de alteración. El hidrolizado se elaboraba cada 12 días, al comienzo de cada período experimental, partiendo de plumas frescas correspondientes al día de la elaboración.

Cada período experimental fue de 12 días, 7 para la adaptación de los animales al alimento, a las instalaciones y al ambiente, y 5 días de control de consumo y recolección de heces. Los animales fueron pesados al inicio y final de cada período experimental, recibiendo la misma cantidad de ración en función al peso metabólico corporal ( $PV^{0.75}$ ) para cubrir las necesidades de mantenimiento y ganancia (ajustada a 380 gramos/día), siendo el total ofrecido de 2,4 veces los requerimientos de Energía Metabolizable para mantenimiento (106 Kcal EM/kg  $PV^{0.75}$ ) (Noblet y Shi, 1993). El alimento fue distribuido en dos tomas diarias: a las 9 y a las 15 horas. Las heces fueron recogidas una vez al día, colocadas en bolsas plásticas y conservadas en freezer a -10 °C. Al final de cada período de recolección las heces fueron homogenizadas, se tomaron muestras (0,5 kg), que fueron presecadas en estufa (60 °C durante 72 horas), molidas con tamiz de malla 1 mm y enviadas para su análisis al laboratorio.

#### Análisis químicos

Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía. Para los ingredientes maíz y harina de soja, se envió una muestra compuesta por varias submuestras obtenidas al azar por medio de un calador (Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. UNIT 609-81). Se determinó Materia Seca (MS), Cenizas (C), Nitrógeno (N), Extracto al Éter (EE), y Fibra Detergente Neutro (FDN) de los ingredientes y de las raciones de acuerdo a la metodología descrita en AOAC (1995). La MS del hidrolizado químico fue determinada cada 12 días, previo a su inclusión en las dietas, y se muestreó una vez para determinar C, N y EE. Para la Harina de plumas se determinó MS, C, N y EE por única vez al inicio del experimento. Los valores de energía para maíz y harina de soja fueron determinados en el laboratorio por medio de bomba calorimétrica, y en las dietas experimentales fueron

estimados por ecuaciones de predicción a partir de la composición química (NRC, 1998). En las heces se determinó en el laboratorio la MS, N y Energía Bruta (EB).

#### Variables determinadas

Se calcularon las siguientes variables: Digestibilidad aparente de la Materia Seca (DapMS), de la Proteína Cruda (DapPC), de la Materia Orgánica (DapMO), y de la Energía (DapE).

Para el cálculo del valor de digestibilidad de cada fracción del alimento (X) se usaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Digestibilidad aparente de X (\%)} = \frac{\text{Cantidad consumida de X} - \text{Cantidad excretada de X}}{\text{Cantidad consumida de X}} \times 100$$

Para la estimación de los valores de digestibilidad de las distintas fracciones de los alimentos en estudio, HQ y HP, se trabajó mediante el método de diferencia aplicando las siguientes fórmulas de cálculo (Mc Donald *et al.*, 1995) :

$$\begin{aligned} \text{Dig. ap. de X en RHQ (\%)} &= \\ &\text{Dig. de X en RR} \times \text{proporción de RR en RHQ} + \\ &\text{Dig. de X en HQ} \times \text{proporción de HQ en RHQ} \end{aligned}$$

$$\text{La Dig. de X en HQ (\%)} =$$

$$\frac{\text{Dig. ap. de X en RHQ} - \text{Dig. de X en RR} \times \text{proporción de RR en RHQ}}{\text{proporción de HQ en RHQ}}$$

Igual fórmula para el cálculo de digestibilidad de nutrientes de la HP.

#### Modelo y análisis estadístico

Para el estudio del efecto del tipo de alimento sobre las variables aleatorias Dap de los nutrientes, se ajustó un modelo general mixto, para una variable aleatoria (V.A.) con distribución Normal. La fórmula general del modelo fue:

$$y_{ijkl} = \mu + T_i + C_j + A_k(C_j) + P_l + (TP)_{il} + \beta PV_{ijkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

siendo:

$y_{ijkl}$  variables de respuesta definidas en cada experimento;

$\mu$  la media común de todas las observaciones;

$T_i$  el efecto del i-ésimo tratamiento;

$C_j$  el efecto del j-ésimo cuadrado;

$A_k(C_j)$  el efecto aleatorio del k-ésimo animal dentro de cada cuadrado;

$P_l$  el efecto del l-ésimo período;

$(TP)_{il}$  la interacción tratamiento período;

$\beta PVI_{ijkl}$  la covariable peso vivo inicial;

$\epsilon_{ijkl}$  error experimental.

El efecto del cuadrado ( $C_j$ ) y la covariable peso vivo inicial ( $\beta PVI_{ijkl}$ ) no presentaron valores de probabilidad significativos, por lo tanto fueron excluidos del modelo.

Se usó el procedimiento MIXED del paquete estadístico S.A.S. versión 9.1.3 (2006) Las medias de los efectos significativos fueron separadas usando test de Tukey cuando presentaron diferencias significativas al 5%.

#### Experimento 2

Se realizó una prueba de digestibilidad aparente *in vivo* y balance proteico de dietas conteniendo HQ. El experimento se desarrolló en las mismas instalaciones que E1, utilizando 9 cerdos, machos castrados de igual genética, con un peso vivo promedio de  $41,9 \pm 3,1$  kg.

#### Dietas evaluadas

A partir de la información de digestibilidad de la PC obtenida en E1 se formularon dietas con la inclusión del HQ en proporciones fijadas de acuerdo a sus valores de digestibilidad. Los tratamientos fueron (Cuadro3): Tratamiento 1 ( $RR_2$ ): ración de refe-

Cuadro 3. Composición porcentual (base seca) y composición química de las dietas del experimento 2.

	Tratamientos		
	$RR_2^{**}$	HQD	HQDL
Ingredientes, porcentaje de la MS			
Maíz	69	48,7	48,7
Harina de soja	26,9	19,3	19,3
Núcleo vit.mineral	4,1	4,1	4,1
Hidrolizado	-	23	23
Aceite	-	4,9	4,9
Lisina	-	-	0,25
Composición química, % base seca			
MS*	86,8	38,3	38,3
C	5,9	11,7	11,7
PC	18,2	18,8	18,9
Lisina	0,92	0,54	0,71
EE	3,5	8,1	8,7
FDN	13,1	8,7	8,7
Energía digestible, Mcal/kg MS	3,6	3,4	3,4

\*\* $RR_2$ : Ración de referencia del experimento 2.

HQD: ración con hidrolizado químico.

HQDL: ración con hidrolizado químico suplementado con lisina.

\*MS: materia seca, C. ceniza, PC: proteína cruda, EE: extracto al éter, FDN: fibra detergente neutro.

rencia formulada de acuerdo a las recomendaciones para la categoría de cerdos en estudio (NRC, 1998). Tratamiento 2 (HQD): sustitución de 1/3 de Proteína Digestible (PD) en la dieta RR<sub>2</sub> por PD proveniente de HQ. Tratamiento 3 (HQDL): dieta HQD suplementada con 0,25% (base seca) de lisina sintética. Para lograr dietas isoenergéticas, se incorporó 4,9% de aceite vegetal en HQD y HQDL, por ser ésta una fuente concentrada de energía.

#### *Diseño y manejo experimental*

El diseño y manejo experimental planteados en este experimento fueron iguales que los realizados en E1, agregando en este experimento la recolección de orina. La cantidad de ración ofrecida fue calculada en función al peso metabólico ( $PV^{0,75}$ ) para cubrir las necesidades de mantenimiento y una ganancia ajustada de 150 gramos/día, resultando 1,8 veces las necesidades de mantenimiento.

La recolección de heces se realizó como fue descrito en E1 y la orina excretada fue recogida en baldes plásticos conteniendo HCl ppa 6 Normal, en cantidad suficiente para mantener el ph en 3. Se midió diariamente el volumen excretado y se tomaron muestras del 5% del volumen total que fueron conservadas en freezer a -10° C y enviadas para análisis al Laboratorio.

#### *Análisis químicos*

La composición química de las dietas fue calculada a partir del análisis químico de los ingredientes y su proporción. Los valores de energía fueron estimados a partir de las ecuaciones de predicción (NRC, 1998). En el laboratorio se determinó MS y N en heces y N en orina.

#### *Variables determinadas*

Las variables determinadas fueron: DMS, Valor Biológico aparente (VBap), Valor Proteico Neto (VPN). Se usaron las siguientes ecuaciones:

$$VBap (\%) = \frac{N \text{ consumido} - N \text{ en heces} - N \text{ en orina}}{N \text{ consumido} - N \text{ en heces}} \times 100$$

$$VPN (\%) = \frac{N \text{ consumido} - N \text{ en heces} - N \text{ en orina}}{N \text{ consumido}} \times 100$$

#### *Modelo y análisis estadístico*

Para el estudio de las variables aleatoria VBap y VPN fue ajustado el mismo modelo y análisis estadístico descripto para E1.

## **Resultados y discusión**

### *Experimento 1*

Los coeficientes de digestibilidad aparente obtenidos para las variables MS, PC, MO y E de la RR<sub>1</sub> (Cuadro 4) se encuentran comprendidos dentro de los rangos deseables para esta categoría de animales (NRC, 1998). La sustitución de MS de la dieta de referencia por MS de HQ no generó cambios significativos en los valores de Dap de la MS y la E, pero fue significativa ( $P < 0,05$ ) la disminución en los valores de la Dap de la MO y la PC. La dieta RHP presentó los menores valores ( $P < 0,05$ ) para todas las variables de digestibilidad en estudio. Evaluaciones realizadas por Van Heugten y Van Kempen (2002) apoyan estos resultados, quienes observaron un decrecimiento en forma cuadrática en la digestibilidad de la PC de las dietas ( $P < 0,001$ ), a medida que se incrementaban los niveles de inclusión de las harinas de plumas.

Las cantidades promedio de heces para RR<sub>1</sub>, RHQ y RHP fueron respectivamente: 0,568; 0,954; 1,246 kg/animal/día presentando valores de materia seca: 33,3; 27,9; 30,5%. El mayor peso total de heces y el menor contenido de MS para los tratamientos con hidrolizados, podrían asociarse a un mayor consumo de agua observado en el número de veces que accedía el animal al bebedero. Los mayores requerimientos de agua pudieron responder a la elevada concentración en cenizas en el alimento, probablemente compuestas de alto contenido en sales de Na (Ehrlein *et al.*, 1999) consecuencia del tratamiento que recibieron las plumas que componían RHQ. Para RHP, la inclusión del alimento con elevada concentración de PC, generó un excedente de N en la dieta el que debió ser eliminado. Similares observaciones fueron reportadas por Bauza *et al.* (2007) en un ensayo realizado con cerdos en engorde alimentados con dietas que contenían hidrolizados de plumas. Un 18% de sustitución de MS en la dieta de referencia, significó una reducción del 32,8%

Cuadro 4. Digestibilidad aparente de la MS, MO, PC y E de las dietas del experimento 1 y del hidrolizado químico y de la harina de plumas (en %).

	Digestibilidad aparente, %			
	MS*	MO	PC	E
<b>Dietas Tratamientos</b>				
RR <sub>1</sub> **	87,3 a	89,3 a	86,9 a	88,1 a
RHQ	86,2 a	86,9 b	79,2 b	84,6 a
RHP	75,2 b	76,7 c	54,1 c	74,4 b
CME	0,53	0,53	1,46	0,96
<b>Alimentos</b>				
Hidrolizado químico de plumas	79,1 a	68,1 a	68,1 a	74,4 a
Harina de plumas	26,9 b	26,2 b	25,2 b	33,7 b
CME	3,25	3,65	3,40	5,00

\*MS:materia seca, MO: materia orgánica, PC: proteína cruda, E: energía.

\*\*RR<sub>2</sub>: ración de referencia en experimento 2.

RHQ: sustitución 18% de la MS de RR<sub>1</sub> por MS de Hidrolizado Químico.

RHP: sustitución de 18% de MS de RR<sub>1</sub> por MS de Harina de Plumás.

a,b,c : Medias de tratamiento con letras diferentes difieren significativamente (Tukey P<0,05).

en la digestibilidad de la PC de la dieta. La digestibilidad de la MS, MO, PC y de la energía de los hidrolizados se presenta en Cuadro 4.

Teniendo en cuenta que la digestibilidad *in vitro* de la PC (DIVPC) de las plumas sin tratar es inferior al 10% (Bauza *et al.*, 2009), podemos concluir que existió un efecto positivo de los dos tratamientos sobre la digestibilidad de la queratina. De acuerdo a las exigencias de algunos organismos internacionales controladores de calidad, como la Association of American Feed Control Officials (AAFCO, 1994) y las Normas de Legislación Española (de Blas *et al.*, 2003) que establecen un rango aceptable de DIVPC entre 65 y 85%, los procesos de hidrólisis estudiados fueron satisfactorios solo en uno de los productos evaluados (Moritz y Latshhaw, 2001; de Blas *et al.*, 2003).

#### *Digestibilidad aparente in vivo del hidrolizado de plumas (HQ)*

Los valores de digestibilidad de la PC de HQ obtenidos en este experimento están cercanos a reportes bibliográficos (Kim y Patterson, 2000) de productos obtenidos en condiciones similares y la digestibilidad de la PC se aproxima al valor de digestibilidad *in vitro* (70%) presentado por Bauza *et al.* (2009). Es

importante establecer que las plumas tratadas químicamente evaluadas en las investigaciones presentadas reciben un secado previo, presentando valores de MS entorno al 90%, a diferencia del HQ evaluadas en este trabajo, cuyo promedio de MS fue de 13%. En consecuencia los animales que recibieron las dietas RHQ, consumieron en promedio 3,25 kg/día, en contraste con el consumido en RR<sub>1</sub> y RHP de 1,68 kg/animal/día. Si bien el consumo de MS fue similar entre tratamientos, la dilución de la dieta en RHQ pudo haber afectado el tiempo de retención del alimento, aumentando la velocidad de pasaje y afectando negativamente la digestibilidad. Por otra parte, se percibió un olor diferente en la materia fecal de los animales que consumían las dietas conteniendo los hidrolizados, probablemente producido por el incremento proteico de la dieta lo que pudo haber generado aumentos en los niveles de fenoles e índoles provenientes de la degradación de las proteínas en el intestino grueso (Van Heugten y Van Kempen, 2002).

#### *Digestibilidad aparente in vivo de la harina de plumas*

La harina de plumas evaluada en este experimento no alcanzó los valores recomendados de digesti-

bilidad de la PC establecidas en tablas de alimentos (de Blas *et al.*, 2003) obteniéndose valores del 25% para la digestibilidad *in vivo* de la PC. Estos datos son coincidentes con los obtenidos *in vitro* (DIVPC: 33%) por Bauza *et al.* (2009). Sin embargo existen reportes de investigadores, quienes trabajando con presión y temperatura, reportan valores de DIVPC mayores al 65% (Latshaw *et al.*, 1994; Apple *et al.*, 2003). Es posible que las deficiencias en el proceso de elaboración hayan impedido obtener un producto adecuado para alimentación animal pero se hace difícil realizar una recomendación de ajuste del proceso industrial por no tener el registro exacto de las condiciones en las que fue obtenido el producto. Por otra parte, se puede pensar que la baja digestibilidad de la HP ha sido por déficit en el proceso y no como consecuencia de un procesamiento excesivo, teniendo en cuenta que cuando las proteínas están sobrecalentadas se originan nuevas formas como lantonina y lisina-alanina, que no son disponibles para los animales, sin embargo son degradadas por una digestión enzimática *in vitro*. La presencia de estos aminoácidos distanciaría los valores obtenidos de digestibilidad *in vitro* en comparación con los obtenidos por el método *in vivo* (Laplace *et al.*, 1986).

## Experimento 2

### Digestibilidad aparente *in vivo* de las dietas

Los valores de DapMS de las dietas ofrecidas no presentaron diferencias ( $P>0,05$ ) siendo coincidentes con los resultados del E1. No eran esperables diferencias para los valores de DapPC entre tratamientos, ya que se formuló de acuerdo a los valores de PD obtenidos en E1 (Cuadro 5), sin embargo la diferencia obtenida pudo responder a las interacciones entre alimentos, que no fueron tomadas en cuenta al usar el método de diferencia para obtener el valor de digestibilidad. Las diferencias entre HQD y HQDL pueden estar explicadas porque el agregado de lisina en HQDL permitió una mejor utilización metabólica del N y por tanto menores pérdidas de N metabólico fecal de origen endógeno (Dueé y Henry, 1986; Lahaye *et al.*, 2004).

### Balance proteico de las dietas

La inclusión del hidrolizado de plumas disminuyó ( $P<0,05$ ) los valores de VB y VPN de las dietas, no presentando diferencias significativas entre sí (Cuadro 5).

La obtención de valores de VBap menores en HQD respecto a RR<sub>2</sub> era esperable ya que partíamos de

Cuadro 5. Digestibilidad de la MS, y PC, Valor Biológico aparente y Valor Proteico Neto de las dietas del experimento 2 (en %).

Tratamientos	Digestibilidad aparente, %		VBap*	VPN
	MS**	PC	%	%
RR <sub>2</sub> ***	86,6 a	84,5 a	71,5 a	60,4 a
HQD	85,5 a	70,7 c	44,3 b	31,4 b
HQDL	86,7 a	75,1 b	51,1 b	39,2 b
CME	0,7	1,3	4,3	3,5

\* VBap: Valor Biológico aparente, VPN: valor proteico neto.

\*\* MS: materia seca, PC: proteína cruda.

\*\*\*RR<sub>2</sub>: ración de referencia en experimento 2.

RHQ: sustitución 18% de la MS de RR<sub>1</sub> por MS de Hidrolizado Químico.

RHP: sustitución de 18% de MS de RR<sub>1</sub> por MS de Harina de Plumaz.

a,b,c : Medias de tratamiento con letras diferentes difieren significativamente (Tukey  $P<0,05$ ).

una materia prima muy desequilibrada en aminoácidos esenciales y que además recibía un tratamiento que si bien podía mejorar sus valores de digestibilidad, también podía tener efectos adversos sobre la disponibilidad de algunos aminoácidos (Williams *et al.*, 1991; Kim y Paterson, 2000). En este experimento el agregado de una fuente sintética de lisina en el HQDL no modificó ( $P>0.05$ ) la calidad de la proteína de la dieta con respecto al HQD. Se observó una tendencia positiva en la utilización de las proteínas en HQDL, lo que pudo estar explicado por una disminución en el catabolismo de aminoácidos no limitantes (Sklan y Noy, 2004). Similares resultados fueron reportados por Baker *et al.* (1981) quienes en pruebas de metabolismo lograron mejorar los resultados de retención de nitrógeno a partir del agregado de aminoácidos sintéticos esenciales. Confirman por otra parte estos resultados Apple *et al.* (2003) y Szu *et al.* (2004) quienes en pruebas de performance mejoraron la ganancia diaria y eficiencia de conversión cuando aumentaban los valores de lisina digestible en dietas conteniendo harina de plumas. Si bien lograr dietas con similar contenido en proteína digestible significó un pequeño incremento en el consumo total de PC (casi 1 punto porcentual respecto a la dieta de referencia), la principal conse-

cuencia de este ajuste fueron las diferencias en el volumen de las dietas consumidas por los animales: 1,12; 2,63; 2,59 kg/animal/día para RR<sub>2</sub>, HQD y HQDL respectivamente. Sustituir un alimento concentrado (87% de MS) por un alimento voluminoso (13% de MS) y de menor calidad proteica, provocó el aumento en el de volumen de las excretas, registrándose valores de heces de 382, 547 y 410 g/día y 4520; 12490; 11300 ml/día de orina para RR<sub>2</sub>, HQD, HQDL respectivamente. Los mayores volúmenes de orina pudieron estar asociados a la necesidad de eliminar metabolitos (Na y N) no utilizados por el animal, a esto habría respondido los volúmenes de HCl (hasta 400 ml) que fue necesario utilizar para mantener el ph y evitar la volatilización del N de la orina de los animales cuando consumían HQD y HQDL. Observaciones similares han sido reportadas por Cole *et al.* (2004) quienes determinaron mayores volúmenes de orina y aumentos de ph en animales que recibían dietas conteniendo NaHCO<sub>3</sub> sin detectar problemas fisiológicos en los animales.

Comparando la relación ideal de los aminoácidos esenciales requeridos por cerdos en crecimiento (NRC, 1998) con estimaciones realizadas del patrón de aminoácidos presente en los productos de la hidrólisis se observó un gran diferencia (Cuadro 6).

Cuadro 6. Composición porcentual de la proteína ideal para cerdos en crecimiento y el balance de aminoácidos del hidrolizado químico de plumas\*).

Aminoácidos (%)	Proteína ideal *	Hidrolizado de plumas
Lisina	100	100
Arginina	39	270
Fenilalanina	58	193
Histidina	32	45
Isoleucina	54	186
Leucina	95	326
Metionina + cistina	57	228
Treonina	64	184
Triptofano	18	26
Valina	67	283

\* Valores estimados a partir de datos del NRC, 1998.

El déficit de un aminoácido, pudo limitar la síntesis proteica, generando que los aminoácidos no utilizados fueran catabolizados y el nitrógeno eliminado principalmente por la orina en forma de urea (Pomar y Bailleul, 1999). Informes del peso de los riñones proveniente de animales que consumieron dietas similares a las de este trabajo, durante una prueba de performance realizada en la Facultad de Agronomía, registraron valores mayores ( $P < 0,05$ ) en los tratamientos que incluyeron hidrolizado en sus dietas (Bauza *et al.*, 2007). También Szu *et al.* (2004) con inclusiones de hidrolizados de plumas similares a los de este experimento observaron un mayor peso de órganos viscerales, atribuyéndolo a la mayor actividad metabólica de los animales.

## Conclusiones

El tratamiento de presión y temperatura aplicado a las plumas de aves en este experimento no brindó las condiciones necesarias para obtener un producto con valores de digestibilidad de la proteína dentro del rango establecido por organismos internacionales controladores de alimentos para los animales.

El tratamiento con NaOH 1Molar durante 36 horas, aplicado a plumas de aves generó un producto con valores de digestibilidad de la proteína comprendido dentro del rango exigido por organismos internacionales que controlan el uso de alimentos para los animales.

La inclusión del hidrolizado químico en dietas para cerdos disminuye su valor biológico, aún en la dieta a la que se le agregó lisina sintética, posiblemente por no ser este el único aminoácido limitante.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración al Sr. Julio Sánchez por su orientación al inicio de este trabajo y al Sr. Daniel Agüero, a los estudiantes de grado Cecilia Bratschi, Andrés Hirigoyen, Lorena Scaglia, Dalel Silva, a responsables de la Avícola Frontini, quienes de una u otra manera han colaborado durante el trabajo de campo. A la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) - Sector Productivo - Modalidad II, por su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

## Bibliografía

- Association of American Feed Control Officials. AAFCO. 1994. En: [www.aaafco.org/Portals/0/powerpoint/so\\_you\\_want\\_a\\_new\\_feed\\_ingredient\\_handout.pdf](http://www.aaafco.org/Portals/0/powerpoint/so_you_want_a_new_feed_ingredient_handout.pdf) Consulta: agosto 2005
- Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official Methods of Analysis. 16<sup>th</sup> ed. A.O.A.C. Washington, DC. p.v.
- Apple, J.C., Boger, C.B., Brown, D.C., Maxwell, C.V., Friesen, K.G., Roberts, W.J. and Johnson, Z.B. 2003. Effect of feather meal on live animal performance and carcass quality and composition of growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 81: 172-181.
- Baker, D.H., Blitenthal, R.C., Boebel, K.P., Czarnecki, G.L., Southern, L. L. and Willis, G.M. 1981. Protein-amino acid evaluation of steam-processed feather meal. *Poult. Sci.* 60: 1865-1872.
- Bauza, R., Bratschi, C., González, A., Hirigoyen, A., Scaglia, L. and Sierra, F. 2007. Evaluación de la inclusión de dos tipos de hidrolizados de plumas en dietas de cerdos en engorde. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 15(Supl.1): 385.
- Bauza, R.; Arias, G.; Bratschi, C.; Furtado, S.; González, A.; Hirigoyen, A.; Scaglia, L. y Silva, D.; 2009. Efecto del tratamiento de plumas de pollo mediante diferentes agentes y tiempos de hidrólisis química sobre la solubilidad del N y la digestibilidad *in vitro* de la proteína. Congreso Argentino de Producción Animal. 29 (1):181-290.
- Chiba, L.I., Ivey, H.W., Cummins, K.A. and Gamble, B.E. 1995. Effects of hydrolyzed feather meal as a source of extra dietary nitrogen on growth performance and carcass traits of finisher pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 53: 1-6.
- Coello, N., Bernal, C., Bertsch, A., Estrada, O., Mocco, Y. and Hasegawa, M. 2003. Las plumas como residuo agroindustrial: su utilización biotecnológica para producir insumos de interés industrial. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.* 18: 119-126.
- Cole, J.T., Argenizo, R.A. and Eiseemann, J.H. 2004. Physiological responses in swine treated with water containing sodium bicarbonate as a prophylactic for gastric ulcers. *J. Anim. Sci.* 82: 2757-2763.
- De Blas, F.C., Mateos, G. y Rebolgar, P. 2003. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos (2ed.) En: FEDNA <http://www.etsia.upm.es/fedna/tablas.htm> Consulta: agosto 2005.
- Dueé, P.H. and Henry, Y. 1986. Alimentation azotée. En: *Le porc et son élevage. Bases scientifiques et techniques.* Pérez, J.M; Mornet, P.; Réart, A. Paris, INRA. pp. 251-288.
- Ehrlein, H., Haas-deppe, B. and Weber, E. 1999. The sodium concentration of enteral diets does not influence absorption of nutrients but induces intestinal secretion of water in miniature pigs. *J. Nutr.* 129: 410-418.
- Kim, W.K. and Patterson, P.H. 2000. Nutritional value of enzyme- or sodium hydroxide-treated feathers from dead hens. *Poult. Sci.* 79: 528-534.
- Lahaye, L., Ganier, P., Thibaut LT, J.-N. and Seve, B. 2004. Technological processes of feed manufacturing affect protein endogenous losses and amino acid availability for body protein deposition in pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 113: 141-156.
- Laplace, J.P., Cooring, T., Reart, A. and Demarne, Y. 1986. Digestion En: *Le porc et son élevage. Bases scientifiques et techniques.* Pérez, Mornet, and Réart. Paris, INRA. pp. 65-120
- Latshaw, J.D., Musharaf, N. and Return, R. 1994. Processing of feather meal to maximize its nutritional value for poultry. *Anim. Feed Sci. Technol.* 47: 179-188
- Lehninger, A. L., Nelson, D. L. and Cox, M. M. 1995. *Principios de Bioquímica.* 2da. Ed. Barcelona, Omega. 1087p.
- Moritz, J.S. and Latshaw, J.D. 2001. Indicators of nutritional value of hydrolyzed feather meal. *Poult. Sci.* 80: 79-86

- Nascimento, A.H., Gómes, P.C., Rostagno, H.S., Teixeira, L.F. e Lopes D., J.. 2005. Valores de energía metabolizable de farinhas de penas e de vísceras determinados com diferentes níveis de inclusão e duas idades das aves. R. Bras. Zootec. 34: 1516-3598.
- National Research Council. 1998. Nutrient Requirements of Swine. (NRC). 10<sup>th</sup> ed. National Academy Press, Washington D.C. 192p
- Noblet, J. and Shi, S. 1993. Comparative digestibility of energy and nutrients in growing pigs fed ad libitum and adults sows fed at maintenance. Liv. Prod. Sci. 34:137-152.
- Papadopoulos, M.C., Boushy, A.R. and Ketelaars, E.H. 1985. Effect of different processing conditions on amino acid digestibility of feather meal determined by chicken assay. Poultry Sci. 64: 1729-1741.
- Piccioni, M. 1970. Diccionario de alimentación animal. Acribia. Zaragoza. pp 824.
- Pomar, C. and Bailleul, P.J.D. 1999. Determinación de las necesidades nutricionales de los cerdos de engorde: límites de los métodos actuales. Curso de Especialización (15). Avances en Nutrición y Alimentación Animal. En: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal [www.etsia.upm.es/fedna/publi.htm](http://www.etsia.upm.es/fedna/publi.htm) Consulta: marzo, 2007.
- Shirley, R.B. and Parson, C.M. 2000. Effect of pressure processing on amino acid digestibility of meat and bone meal for poultry. Poultry Sci. 79:1775-1781.
- Sklan, D. and Noy, Y. 2004. Catabolism and deposition of amino acids in growing chicks: effect of dietary supply. Poultry Sci. 83: 952-961.
- Steiner, R.J., Kellems, R.O. and Church, D.C. 1983. Feather and hair for ruminants. IV. Effects of chemical treatments of feathers and processing time on digestibility. J. Anim. Sci. 57(2): 495-502.
- Szu, K.W., Brumm, M.C. and Miller, P.S. 2004. Effect of feather meal on barrow performance. J. Anim. Sci. 82:2588-2595.
- Van Heugten, E. and Van Kempen, T.A.T.G. 2002. Growth performance, carcass characteristics, nutrient digestibility and fecal odours compounds in growing-finishing pigs fed diets containing hydrolysed feather meal. J. Anim. Sci. 80: 171-178.
- Velázquez, C. 1994. Estudio de disponibilidad y uso actual de productos y subproductos de origen animal en el Uruguay. Primer Informe de Trabajo realizado en el marco de trabajo de la Beca de Iniciación en Investigación dentro del Programa Regular de Recursos Humanos. Área: temas agropecuarios. CONICYT. 27p.
- Williams, C.M., Lee, C.G., Garlich, J.D. and Shis, J.C.H. 1991. Evaluation of a Bacterial Feather Fermentation Product, Feather-Lysate, as a Feed Protein. Poultry Sci. 70: 85-94.