

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**VALOR NUTRITIVO DE PLUMAS TRATADAS
POR DOS MÉTODOS PARA LA
ALIMENTACIÓN DE CERDOS EN CRECIMIENTO**

por

Ing. Agr. Andrea González Pérez

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título
**Magíster en Ciencias Agrarias
Orientación Ciencia Animal**

**Montevideo
URUGUAY
2009**

PAGINA DE APROBACION

Dra. Laura Astigarraga (Presidente)

Dr. Paulo Lovatto (Vocal)

Ing. Agr. (MSc) María de Jesús Marichal (Vocal)

Ing. Agr. (PhD) Virginia Beretta (Vocal)

Ing. Agr. (DEA) Roberto Bauza. (Director de tesis)

AUTORA: _____ FECHA: 30 de julio de 2009.
Ing. Agr. Andrea González Pérez

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Roberto Bauza, por el apoyo académico brindado durante toda la maestría y muy especialmente al compañero por su incondicional confianza en mí.

A los estudiantes de grado: Cecilia Bratschi, Andrés Hirigoyen, Lorena Scaglia, Dalel Silva por su colaboración durante el trabajo de campo.

Al Sr. Daniel Agüero, por acompañar las actividades de campo sin importar horarios o días festivos.

Al Microbiólogo Sr. Julio Sánchez, por su apoyo en la búsqueda de información nacional sobre el uso de las plumas.

A los responsables de la Avícola Frontini, quienes facilitaron el acceso a la materia prima para desarrollar este trabajo.

A las integrantes del Laboratorio de Nutrición Animal, a las funcionarias de Biblioteca y al equipo docente de Estadística de la Facultad de Agronomía.

Al los integrantes del Comité Académico de Postgrado, por facilitarme los recursos necesarios para darle continuidad y finalizar la Maestría.

A todos los que de una u otra manera hicieron posible que culminara esta etapa de formación.

DEDICATORIA

A la primera generación de estudiantes de la Maestría en Ciencias Agrarias de la Facultad de Agronomía, con quienes compartimos estos años de formación con mucho cariño, solidaridad y respeto por el aprendizaje del otro.

LISTA DE CUADROS

	<u>Página</u>
Cuadro 1. Composición química de las plumas de pollos parrilleros.....	5
Cuadro 2. Composición aminoacídica de las plumas de pollos parrilleros.....	6
Cuadro 3. Composición aminoacídica de las harinas de plumas.....	8
Cuadro 4. Composición aminoacídica promedio de las plumas tratadas con NaOH..	11
Cuadro 5. Composición química de los productos evaluados.....	23
Cuadro 6. Composición porcentual de ingredientes de la ración de referencia en el experimento.....	23
Cuadro 7. Composición química de las raciones ofrecidas en el experimento 1.....	23
Cuadro 8. Composición porcentual (base seca) de las dietas en experimento 2.....	28
Cuadro 9. Composición química de las dietas ofrecidas en el experimento 2.....	29
Cuadro 10. Digestibilidad aparente de la materia seca, proteína cruda, materia orgánica y de la energía (expresadas en %) de las diferentes dietas.....	33
Cuadro 11. Digestibilidad aparente del hidrolizado químico (HQ) y de la harina de plumas (HP).....	35
Cuadro 12. Efecto de la inclusión de hidrolizado químico de plumas y la suplementación con lisina sobre la digestibilidad aparente (%) de la materia seca y la proteína cruda en cerdos 2.....	39
Cuadro 13. Valor Biológico aparente (VBap), Valor Proteico Neto (VPN) y Balance de Nitrógeno (BN).....	40
Cuadro 13. Cantidades de excretas diarias/animal y su concentración en Nitrógeno...	41
Cuadro 14. Composición porcentual de la proteína ideal para cerdos en crecimiento y el balance de aminoácidos de la dieta de referencia (RR ₂) y del hidrolizado	42

LISTA DE FIGURAS

	<u>Página</u>
Figura 1. Jaulas metabólicas de la Estación de Pruebas de Porcinos de la Facultad de Agronomía.....	21
Figura 2. Hidrolizado químico de plumas	22
Figura 3. Harina de plumas.....	22
Figura 4. Digestibilidad de la MS y PC para la ración de referencia y las dietas conteniendo plumas hidrolizadas.....	34

TABLA DE CONTENIDOS

	<u>Página</u>
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
LISTA DE CUADROS.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VI
TABLA DE CONTENIDO.....	VII
RESUMEN.....	IX
SUMMARY.....	X
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
Las plumas.....	5
MÉTODOS DE HIDRÓLISIS.....	7
Métodos físicos.....	7
Métodos químicos.....	9
INDICADORES DE VALOR NUTRITIVO.....	11
Valor proteico de las plumas hidrolizadas.....	13
Valor energético de las plumas hidrolizadas.....	15
USOS EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL.....	16
Inclusión en dietas para cerdos.....	17
III. MATERIALES Y METODOS.....	20
Experimento 1. Digestibilidad aparente in vivo de los hidrolizados de plumas.....	20
Instalaciones.....	20
Animales.....	21
Alimentos evaluados.....	21
Diseño y manejo experimental.....	24
Análisis químicos.....	25
Estimación del contenido de energía.....	25

VARIABLES DETERMINADAS.....	26
Modelo y Análisis estadístico.....	27
Experimento 2. Prueba de digestibilidad y balance de nitrógeno de las dietas con hidrolizado de plumas.....	27
Dietas evaluadas.....	28
Diseño y manejo experimental.....	28
Análisis químico.....	30
VARIABLES DETERMINADAS EN EXPERIMENTO 2.....	30
Modelo y Análisis estadístico.....	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
Experimento 1. Digestibilidad aparente in vivo de los hidrolizados de plumas.....	32
Digestibilidad aparente de las dietas.....	32
Digestibilidad aparente de los hidrolizados.....	35
Experimento 2. Prueba de digestibilidad y balance de nitrógeno de las dietas con hidrolizado de plumas.....	38
Digestibilidad aparente de las dietas.....	38
Valor proteico del hidrolizado.....	39
V. CONCLUSIONES.....	44
VI. RECOMENDACIONES.....	45
VII. BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	46
VIII. ANEXOS.....	54

RESUMEN. Valor nutritivo de plumas tratadas por dos métodos para la alimentación de cerdos en crecimiento

Se realizó un ensayo para determinar el valor nutritivo de plumas hidrolizadas por dos métodos: 1) tratamiento químico con hidróxido de sodio (NaOH, HQ) 2) tratamiento físico usando vapor de agua a presión y secado al aire (HP). Se plantearon dos experimentos, el primero con el objetivo estimar la digestibilidad de los productos de la hidrólisis y el segundo para evaluar la calidad proteica de las dietas cuando se incluían plumas hidrolizadas como ingredientes de las mismas. Se utilizaron 9 cerdos, machos castrados, genéticamente homogéneos, de peso vivo promedio de $45,7 \pm 4,4$ kg. El diseño utilizado fue de cuadrado latino repetido, con tres repeticiones cada uno. Los tratamientos en el experimento 1 fueron: ración de referencia de acuerdo a las recomendaciones del NRC (RR₁); sustitución del 18% de la MS por MS del hidrolizado químico (RHQ); sustitución del 18% de la MS en la ración por harina de plumas (RHP). Las variables determinadas fueron Digestibilidad aparente (Dap) de la Materia Seca (MS), de la Materia Orgánica (MO), de la Proteína Cruda (PC) y de la Energía (E). Los tratamientos evaluados en el experimento 2 fueron: ración de referencia de acuerdo a las recomendaciones del NRC (RR₂); sustitución de 1/3 de Proteína Cruda Digestible (PCD) en la dieta por PCD proveniente del HQ (HQD); HQD suplementada con Lisina sintética (HQDL). Las variables determinadas fueron Dap de la MS y PC, Valor Biológico aparente (VBap), Valor Proteico Neto (VPN) y Balance de Nitrógeno (BN). Cada período experimental fue de 12 días, 7 de adaptación y 5 de control de consumo y recolección de heces y orina. En el experimento 1 las variables Dap de la MS y de la E, no presentaron diferencias entre RR₁ y RHQ ($P > 0,05$), pero RHQ fue inferior ($P < 0,05$) en las variables Dap de la MO y de la PC. RHP presentó los menores valores ($P < 0,05$) para todas las variables de digestibilidad en estudio. Los valores de Dap (%) de la PC del HQ y de la HP fueron $68,1 \pm 3,9$ y $25,2 \pm 3,4$ respectivamente. En el experimento 2 los valores de Dap MS para las tres dietas ofrecidas no presentaron diferencias entre sí ($P < 0,05$). La inclusión del HQ en la dieta disminuyó ($P < 0,05$) su VBap, obteniendo valores de $71,5 \pm 4,3$; $44,3 \pm 4,3$; $51,1 \pm 4,3$ para RR₂, HQD y HQDL, respectivamente. A partir de la información obtenida se concluye que el tratamiento químico de las plumas con NaOH permite hidrolizar la queratina de las plumas aumentando la digestibilidad de la PC. Su inclusión en las dietas para cerdos disminuye el valor biológico, evidenciando su desequilibrio en aminoácidos disponibles. Las plumas hidrolizadas por el método físico no presentaron valores aceptables de digestibilidad de la proteína, siendo necesario profundizar sobre aspectos metodológicos que conduzcan a mejorar los resultados.

SUMMARY. Nutritive value of feathers treated by two methods as food for growing pigs

The objective of the present study was to determine the nutritional value of feather hydrolyzed by two methods: 1) chemical treatment, with sodium hydroxide (NaOH, HQ) 2) a physical treatment, using steam injection by pressure and subsequent air drying (HP). Two experiments were carried out, in the first the target was to estimate the digestibility of the products results of hydrolysis and in the second to assess the protein quality of diets including hydrolysed feathers. It was used 9 pigs (genetically homogenous castrated males) in each, with animal average weight of $45,7 \pm 4,4$ kg. The experimental design was in both cases repeated Latin square, with three repetitions each. The treatments in experiment 1 were: ration of reference according to the recommendations (RR_1); substitution of the 18% of the DM by DM of the chemical hydrolyzate (RHQ); substitution of the 18% of the DM in the ration by feather meal (RHP). The variables determined were apparent digestibility (Dap) for dry matter (DM), organic matter (OM) of crude protein (CP) and energy (E). The evaluated treatments in experiment 2 were: ration of reference formulated according to the recommendations (RR^2); substitution of 1/3 of Digestible Crude Protein (DCP) in the diet by PD of chemical hydrolyzate of pens (HQD); diet HQD supplemented with synthetic Lysine (HQDL). The variables determined were the Dap DM, CP, the apparent biological value (VBap) Net protein value (NPV) and the nitrogen balance (BN). Every experimental period consisted of 12 days, 7 days of adaptation and 5 days of consumption control and faeces and urine collection. In experiment 1 the Dap averages of the DM and the E, did not present differences between RR_1 and RHQ ($P \geq 0,05$), but they were significantly inferior ($P < 0,05$) for Dap MO and CP. The RHP presented the lowest values for all the digestibility variables under study ($P < 0,05$). The Dap (%) of PC for HQ and HP was $68,1 \pm 3,9$ and $25,2 \pm 3,4$ respectively. In experiment 2, the values of DapDM for the three offered diets did not show differences ($P < 0,05$) from each other. The inclusion of HQ in the diet decreased ($P < 0,05$) their VBap, obtaining values of 71.5 ± 4.3 , 44.3 ± 4.3 , 51.1 ± 4.3 for RR_2 , HQD and HQDL respectively. It is concluded that the chemical treatment of the pens with NaOH allows to hydrolyzate the pens queratin, increasing the digestibility of their CP. However, their inclusion in diets for pigs reduces the biological value, evidencing its available amino acids imbalance. The treatment of pressure and temperature applied to the pens used was not sufficient to obtain a product with acceptable values of protein digestibility, being necessary to expand on methodological issues that lead to improve outcomes.

I. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda a nivel mundial de granos y oleaginosas para la producción de biocombustibles, ha generado como consecuencia un aumento en los precios de los insumos usados tradicionalmente en la alimentación animal. Con el propósito de mantener indicadores productivos y económicos, se viene planteando como estrategia la incorporación de nuevos alimentos en sustitución de éstos que permitan mantener la sustentabilidad en los sistemas de producción porcina (Lon Wo, 2007).

Uruguay tiene una amplia experiencia en el uso de subproductos agroindustriales en las dietas para cerdos, práctica utilizada con frecuencia, y existen diversos trabajos (Bauza y González, 2004; Bauza et al., 2005) que han demostrado que es posible mantener los parámetros de performance y calidad de carcasa en forma económica cuando su uso se realiza en las proporciones adecuadas. Por otra parte, el uso de subproductos en la alimentación disminuye el volumen de residuos contaminantes de suelos y aguas contribuyendo así en forma positiva a preservar la calidad del medio ambiente (Coello et al., 2003). Datos de la Encuesta Porcina 2006 (DIEA, 2007) revelan que el 71% de los animales reciben ración balaceada (se excluye padrillos y lechones al pie de la madre), pero solo el 27% se alimenta exclusivamente a ración, siendo en la mayoría de los casos combinada con algún tipo de subproducto.

En el año 2001 se realizó un estudio sobre los subproductos generados por la industria frigorífica con potencial uso en dietas para cerdos (Bauza, González, Silva, sin publicar), caracterizándolos nutricionalmente como alimentos de elevado contenido en proteína de calidad y buen aporte energético (Bauza y González, 2004). Interés particular presentaron los residuos provenientes de las plantas de faena de pollos parrilleros, debido al elevado volumen producido y por encontrarse en continuo crecimiento. En el año 2008, se registró una producción de carne aviar de 75,3 mil toneladas (Errea, 2007), casi un 50% más respecto a la producción del año 2007, explicada en parte por la entrada de una nueva empresa al sector. En el proceso de faena de pollos parrilleros los residuos no comestibles generados representan aproximadamente el 21% del total faenado y están compuestos por sangre, plumas, patas, cabezas y vísceras. La mayor parte de estos residuos se destinan a la

alimentación de cerdos, sin recibir un procesamiento previo a la salida del matadero (Mallo et al., 2005). Junto a estos residuos los productores deben llevarse las plumas, que no tienen ningún valor para la empresa. Las plumas, representan entre el 7 y 8% del volumen total de faena y están formadas principalmente por proteínas indigestibles para los animales. En Uruguay son utilizadas como fertilizantes o por lo general se disponen en terrenos o rellenos sanitarios (Velázquez, 1994; Coello et al., 2003; Mallo et al., 2005).

Diferente es el tratamiento que recibe este subproducto en la mayor parte del mundo, donde empresas industriales procesan las plumas, que luego son destinadas como concentrados proteicos para formar parte de las raciones destinadas a la alimentación animal. La necesidad del procesamiento previo, cumple por un lado una función sanitaria, pero además es una condición indispensable para obtener un producto disponible para ser utilizado nutricionalmente. La presencia de puentes disulfuro, característica estructural de la queratina de las plumas, indigestible a las enzimas de los animales, deben pasar por un proceso de hidrólisis para ser utilizadas (Shirley y Parson, 2000; Mortiz y Latshaw, 2001).

Sin embargo, como resultado de la diversidad de los procesos de hidrolizado y de la materia prima original, coexisten en el mercado un amplio rango de producto de diferente calidad, lo que ha conducido a la necesidad de establecer rangos de referencia para indicadores de calidad de la proteína, definiendo máximos y mínimos para la digestibilidad *in vitro* entre el 65 y 85% (Mortiz y Latshaw, 2001; de Blas et al., 2003). Por otra parte, al partir de una materia prima desbalanceada en su contenido de aminoácidos esenciales y que luego de su procesamiento esta característica se ve agravada, no se recomienda su uso como única fuente proteica en dietas de animales. Se ha logrado mejorar los resultados de performance animal cuando las inclusiones de harina de plumas en las dietas están acompañadas por ajustes en los niveles de lisina (Apple et al., 2003; Szu et al., 2004).

En Uruguay al momento de iniciar este trabajo, la única experiencia publicada referida al empleo de plumas ha sido realizada por la Empresa “AVICOLA MORO”, incorporándolas (22%) junto a vísceras (44%), cabezas (14%) y sangre (19%) para producir un producto al que llamaron “harina de pollo”. Este alimento era utilizado por la empresa para alimentar pollos parrilleros (Velázquez, 1994). El restante de plumas (49%) que no era

incorporado a la harina de pollo recibía un proceso de presecado y molienda, para ser utilizado en la alimentación de rumiantes.¹

Ante el creciente volumen de este subproducto, que acompaña el crecimiento de la industria avícola y las necesidades de encontrar alternativas alimentarias para los cerdos se mostró como interesante para ser evaluadas. Teniendo en cuenta su composición química (Harraps y Wood, 1964; Lehninger et al., 1995) era necesario realizar un procesamiento previo a su inclusión en las dietas. Con el objetivo de buscar formas de hidrólisis accesibles y de bajo costo para ser realizadas por los productores, se plantearon, diferentes combinaciones ácidos y bases, en distintas concentraciones y tiempos². Para la prueba con animales, se seleccionó el producto obtenido a partir del tratamiento por 36 horas con hidróxido de sodio (NaOH) 1 Molar (M) a temperatura ambiente (22°C).

Por otro lado, plumas del mismo origen fueron procesadas en una empresa elaboradora de harinas de origen animal, donde fueron sometidas durante 180 minutos a vapor de agua a presión. Los valores de temperaturas (100°C) y presión (3 atm) posibles de alcanzar en la maquinaria disponible estaban dentro del rango reportado por la bibliografía como el necesario para provocar la hidrólisis de la proteína (Latshaw et al., 1994; Mortiz y Latshaw, 2001).

¹ Com. pers. Lic. Julio Sanchez, 2004

² Datos sin publicar

Objetivo General

Determinar el valor nutritivo de plumas de pollos hidrolizadas por dos métodos para la alimentación de cerdos en crecimiento.

Objetivos Específicos

Estimar los valores de digestibilidad aparente *in vivo* de los productos hidrolizados.

Evaluar la calidad proteica de las dietas que incluyen las plumas hidrolizadas como ingredientes de las mismas.

Estimar los indicadores de calidad proteica cuando se suplementan las dietas que incluyen los hidrolizados, con lisina sintética.

Hipótesis

Los productos obtenidos a partir de la hidrólisis de plumas de pollo permitirán obtener valores de digestibilidad aceptables nutricionalmente de acuerdo a las exigencias establecidas para alimentos de origen animal destinados a la alimentación.

La sustitución parcial de la proteína digestible de la dieta de referencia por proteína digestible proveniente de los hidrolizados no modificaría significativamente los parámetros de calidad de las dietas.

La suplementación con lisina sintética en dietas que incluyen el hidrolizado de plumas en sustitución parcial del alimento proteico convencional mejorará la calidad proteica de la dieta.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

LAS PLUMAS

Las plumas son excreciones córneas de la piel de las aves, de estructura similar a las escamas de los peces y reptiles. Entre otras cumplen la función de protección frente al agua y el frío. Si bien están localizadas extracelularmente, se producen en el interior de las células epidérmicas de la piel, como ocurre también con los pelos, uñas, cuernos o pezuñas (Lehninger et al., 1995).

En el proceso de faena, luego del escaldado, las plumas contienen un elevado contenido de agua. La bibliografía difiere en cuanto a valores del contenido de materia seca (MS) que responden al tratamiento realizado previo a la entrada al laboratorio (Cuadro 1). Los valores presentados por Piccioni (1970) y Coello et al., (2003), surgen del análisis de plumas previamente molidas y esterilizadas a 135°C, mientras que la información presentada por González (2007) corresponde a plumas provenientes de mataderos sin proceso de secado previo. Los valores de extracto al éter (EE) varían con el contenido de piel y grasa subcutánea que llega junto a las plumas como consecuencia del proceso de faena.

Cuadro 1. Composición química de plumas de pollos parrilleros (en %)

Fracciones	Piccioni	Coello et al.	González
Materia Seca	94,9	93 ± 1,88	30
		Base seca (%)	
Proteína Cruda	83,1	89,25 ± 0,26	83
Extracto al Éter	0,98	2,16 ± 5,1 ⁻³	0,95
Cenizas	3,4	0,98 ± 0,11	3,3

La mayor proporción de su peso seco es proteína del tipo α - queratina (Harrap y Woods, 1964), proteína fibrosa, formada por largas cadenas polipeptídicas que se pliegan sobre sí misma, en forma de espiral, llamada α -hélice. En los vertebrados, las α -queratinas forman la mayor parte del peso seco del cabello, lana, plumas, uñas, garras, escamas, cuernos, pezuñas, caparazones de tortugas y parte de la capa externa de la piel. La presencia de puentes de hidrógeno, y principalmente puentes disulfuro entre las cisteínas determinan

la dureza característica que presentan algunos de éstos elementos, observándose en los más duros, hasta un 18% de residuos de cisteína formando éste tipo de enlace (Lehninger et al., 1995).

Las α -queratinas son ricas en aminoácidos hidrofóbicos, los que se encuentran orientados al exterior de la hélice, haciendo a la molécula completamente insoluble en agua, a pH 7 y a temperatura corporal (Lehninger et al., 1995). Hay discrepancia en cuanto a la composición de sus partes. Harrap y Woods (1964) consideran que las distintas partes morfológicas de las plumas de aves de corral (raquis, barbas, cálamo y médula) difieren en su composición aminoacídica, Arai et al., (1983) concluyeron que los componentes de la queratina son casi idénticos, con excepción del contenido de cistina y/o amidas. Para la queratina de las plumas de pollos se reportan valores del 8,8% de cistina (Moran et al., 1966). Se presentan como aminoácidos más abundantes en la proteína de las plumas: serina, prolina, leucina, valina, cistina, arginina, y glicina, bajos niveles para metionina, histidina, lisina y triptófano, y cantidades intermedias para fenilalanina, isoleucina y alanina (Arai et al., 1983; Papadopoulos et al., 1985; Williams et al., 1991). En el Cuadro 2 se presentan las concentraciones de aminoácidos esenciales y de cistina.

Cuadro 2. Composición aminoacídica de las plumas de pollos parrilleros

Aminoácidos	% de la PC
Arginina	4,5-6,4
Cistina	6,7-6,9
Leucina	7,0-7,4
Valina	7,4
Fenilalanina	3,6-4,3
Isoleucina	4,6-4,9
Treonina	4,6-4,7
Metionina	0,6
Histidina	0,6
Lisina	1,9
Triptofano	1-2,7

MÉTODOS DE HIDRÓLISIS

La fuerte estructura de la queratina, con enlaces indigestibles a las enzimas de los animales es el principal factor del bajo valor nutritivo de las mismas. Se han encontrado valores de digestibilidad usando HCl y pepsina, entre el 5 y el 26% (de Blas et al., 2003; Coello et al., 2003). Para mejorar este indicador es necesario liberar péptidos y aminoácidos, utilizando diferentes procesos de hidrólisis que rompan enlaces y por ende aumentan la solubilidad de la queratina (Moran et al., 1966; Mortiz y Latshaw, 2001).

A partir de la década del 50 del siglo pasado los primeros ensayos de hidrólisis, utilizaron ácidos y bases fuertes, obteniendo diferentes resultados según el tipo de agente utilizado, la concentración, el tiempo, y la aplicación o no de temperatura. Mayor fue el progreso de los métodos físicos, combinando presión, temperatura y tiempo, siendo actualmente la forma de producción más desarrollada en gran parte del mundo.

Contemporáneas y por consiguiente con menor desarrollo, son las experiencias de hidrólisis utilizando enzimas proteolíticas, metodología que busca dar respuesta al elevado costo energético y pérdida de valor nutritivo que presenta la producción de harinas por el método físico, si bien los productos resultantes tienen una menor concentración de proteína total (Bertsch y Coello, 2004; Alvarez et al., 2005).

Otra fuente de variación que se le suma a las diferentes formas de procesamiento, es la materia prima de partida, que también afecta las características del producto final por su contenido en materia seca y extracto al éter. Como consecuencia de estos factores existe en el mercado un amplio abanico de productos de diferente calidad (Williams et al., 1991; Latshaw et al., 1994).

Métodos Físicos

Se conoce como *harina de plumas* el producto obtenido a partir de diferentes combinaciones de presión, temperatura y tiempo, encontrándose en la bibliografía, valores que varían desde 1atm a 4atm de presión, temperaturas entre 75 a 160°C y tiempos de procesamiento de 15 minutos a 18 horas. Las diferentes combinaciones buscan además de mejorar el valor nutritivo de la proteína, definir un procesamiento económico del punto de

vista energético (Moran et al., 1966; Fonseca et al., 1991; Latshaw et al., 1994; Apple et al., 2003).

Algunos rangos de valores para los productos sometidos a diferentes niveles de presión y tiempos para las fracciones químicas son: Humedad: 2,7 a 7%; PC: 81,2 a 93,4 %; EE: 2,8 a 11%; Cenizas: 2,0 a 2,9; EM: 2,03 a 3,08 Mcal/kg MS (valores expresados en base seca) (Fonseca et al., 1991; Latshaw et al., 1994; Shirley y Parson, 2000; Mortiz y Latshaw, 2001; Apple et al., 2003). Sin embargo existen antecedentes (Nunes et al., 2005; Nascimento et al., 2005) que presentan valores de PC menores de 76% de PC, resultados por debajo de lo establecido por la Asociación Nacional de Fabricantes de Ración en Brasil (ANFAR, 1985) donde las exigencias son de un valor mínimo de 80% para PC atribuyendo las diferencias en composición química a la variación en las materias primas y procesos utilizados.

Si bien el contenido de PC se mantiene dentro de cierto rango, se ha comprobado que las altas temperaturas y presión de vapor, generan como consecuencia la alteración de los aminoácidos pudiendo quedar estos en formas no nutritivas indisponibles para ser usados por el metabolismo de los animales, como la lantionina (Cuadro 3) (Wang y Parson, 1997; Shirley y Parson, 2000; Mortiz y Latshaw, 2001).

Cuadro 3. Composición aminoacídica de la Harinas de Plumas (% de la PC)

Aminoácidos	1atm	4 atm
Arginina	6,4	6,2
Cistina	6,1	3,6
Leucina	7,7	7,5
Valina	6,9	6,8
Isoleucina	4,5	4,4
Treonina	4,6	4,4
Metionina	0,5	0,5
Lisina	1,9	1,8
Lantionina	0,7	2,4

Se han determinado disminuciones de hasta un 50% en la concentración de cistina, siendo éste el aminoácido más afectado. Por otra parte la formación de complejos poco nutritivos es otra de las consecuencias del proceso físico (Williams et al., 1991, Mortiz et al., 2001). Lisinoalanina y Lantionina son dos componentes que se forman como productos

del proceso, afectando negativamente la digestibilidad de la proteína (Baker et al., 1981; Shyrley y Parson, 2000). Algunos investigadores (van Heugten y van Kempem, 2002) sugieren que para mejorar el desequilibrio en aminoácidos se incluya sangre durante el proceso de elaboración de harina por método físico, para mejorar la calidad del producto final.

La aplicación de elevadas temperaturas durante el procesamiento responde también a la necesidad de eliminar posibles patógenos en los subproductos de origen animal. La Normas de la Unión Europea (Shirley y Parson, 2000) establecen valores mínimos de 2 atm, 133 °C durante 20 minutos con el propósito de reducir la infectividad del prion causante de la Encefalopatía espongiforme bovina (EEB), obteniendo por este medio un ingrediente más seguro para la alimentación animal.

En resumen, si bien el tratamiento físico de las plumas mejora la calidad del material inicial, numerosos investigadores coinciden que existen desventajas en el mismo debido a la degradación de aminoácidos sensibles al calor, la aparición de nuevas formas de baja digestibilidad y por el elevado costo en el uso de energía. Esas desventajas han impulsado a buscar otras opciones de procesamiento que resulten en productos más nutritivos y de menor costo de elaboración.

Métodos Químicos

Menos numerosas son las investigaciones encontradas que utilizaron el método químico para hidrolizar la queratina de las plumas. Los primeros trabajos sobre uso de agentes químicos tenían por objetivo la hidrólisis para estudios de la secuencia aminoacídica (Lehninger et al., 1995). Otra de las aplicaciones de ácidos y bases fuertes ha sido para preservar en el tiempo subproductos proteicos para ser utilizados posteriormente en la alimentación animal (Shafer et al., 2000).

Entre las bases y ácidos fuertes más utilizados se mencionan el NaOH, H₃PO₄, KOH y el ácido per fórmico (Steiner et al., 1983; Shafer et al., 2000; Barone y Schmidt, 2006). Ensayos de hidrólisis realizados usando NaOH y H₃PO₄ en concentraciones que variaban entre el 0 y 9% en tiempos de 0 a 16 hs, sobre plumas tratadas previamente con cocción a vapor, presentaron los mejores resultados de digestibilidad *in vitro* a mayores

concentraciones y tiempos de aplicación, siendo necesario mayores concentraciones y tiempos de procesos cuando se usaba H_3PO_4 respecto a NaOH (Steiner et al., 1983).

Un trabajo similar (Shafer et al., 2000) fue desarrollado para evaluar dos bases KOH (0,5 a 2,0 Molar) y NaOH (0,12 a 2,0 Molar), las que fueron aplicadas a residuos de mataderos de pollos evaluando los resultados a los 5 y 10 días después. Los resultados fueron positivos, al lograr por un lado la degradación de plumas y la solubilización de las carcasas de pollos, pero además por la inhibición del crecimiento microbiano y la producción de olores. Los mejores resultados se obtuvieron con soluciones de NaOH, 2 Molar.

El mismo hidróxido fue utilizado sobre plumas a concentraciones de 0,4 N durante 2 horas a 21 °C, permitiendo obtener valores de digestibilidad *in vitro* del 17,64%, superior al control (plumas sin tratar) que presentó valores de digestibilidad *in vitro* del 6%. Sin embargo mejores resultados se obtuvieron cuando luego del tratamiento con hidróxido de Na, las plumas fueron sometidas a un tratamiento en autoclave a 1 atm y 127 °C durante 90 minutos, logrando valores de digestibilidad del 76% (Kim y Patterson, 2000).

La aplicación de mayores concentraciones de NaOH, llegando a niveles de 1 Normal, durante 2 y 24 horas y elevando la temperatura a 37°C, mejora la digestibilidad *in vitro* de la PC a niveles del 70% en los tiempos más prolongados (Kim et al., 2002). Los procesos de hidrólisis más favorables de acuerdo al indicador digestibilidad *in vitro* de la PC responden a las mayores concentraciones y mayores tiempos de aplicación. Sin embargo, al igual que en el proceso físico se determinaron modificaciones estructurales de la proteína, lo que estarían afectando negativamente el valor nutritivo del producto final. La presencia de lisinoalanina y lantionina son los principales cambios que involucran a los aminoácidos lisina, alanina y cistina, reduciendo la digestibilidad y absorción de los mismos, además de la destrucción del triptófano (Cuadro 4) (de Groot y Slump, 1969; Steiner et al., 1983; de Blas et al., 2003).

Cuadro 4. Composición aminoacídica promedio de las plumas tratadas con NaOH

Aminoácidos	% de la PC
Arginina	5,8
Cistina	4,1
Leucina	8,1
Valina	8,7
Isoleucina	5,0
Treonina	4,7
Metionina	0,7
Lisina	1,0
Lantionina	0,7-2,4

Los trabajos revisados (Steiner et al., 1983; Kim y Patterson, 2000) de evaluación de tratamientos químicos, usan como indicador de procesos la digestibilidad *in vitro*. Algunos de los autores (Papadopoulos et al., 1985) recomiendan la necesidad de realizar pruebas con animales para caracterizar mejor los productos obtenidos.

Por otro lado los tratamientos con NaOH elevan el contenido de sales de sodio en el producto final incrementando las concentraciones de cenizas (Papadopoulos et al., 1985), y por tal motivo deben ser usados con precaución cuando se incluyen como ingredientes en dietas de animales. Productos con valores de 12,3% de Na, los que están muy por encima de lo recomendando, en dietas con el 5 y 10% de inclusión no presentaron signos post mortem, ni diferencias significativas en análisis histológico ni variaciones en la composición química de la sangre (Shafer et al., 2001). Otros autores encontraron diferencias en la eliminación de agua, estableciendo la existencia de una relación lineal positiva entre concentraciones de sodio en la dieta (mmol/l), secreción de agua (ml/min), y mayores valores de pH y contenido de Na en la orina. No se detectaron disturbios en la homeostasis ácido-base de los animales (Ehrlein et al., 1999; Cole et al., 2004).

INDICADORES DE VALOR NUTRITIVO

Para conocer el valor nutritivo de un alimento proteico, es necesario, además de determinar su concentración en proteína cruda ($N \times 6,25$), estimar su digestibilidad, su composición aminoacídica y la disponibilidad de los mismos para los animales.

Para estudiar el valor nutritivo de un alimento proteico usando animales, es necesario ofrecerlo en mezcla usando una dieta de referencia y definir un nivel de inclusión del alimento a evaluar en la misma. Trabajos de evaluación de alimentos proteicos realizados con aves en crecimiento recomiendan usar niveles máximos de inclusión del 20% en sustitución de la dieta de referencia considerando que valores superiores afectan el consumo y el desarrollo debido a las numerosas interacciones entre nutrientes de la dieta (Azevedo, 1997). El mismo nivel era definido como el óptimo, en pruebas de metabolismo con aves (Nascimento et al., 2005). Por otra parte, si se usan bajos niveles de inclusión en las dietas hay dificultades en la detección de diferencias entre los alimentos estudiados (Mortiz y Latshaw, 2001).

La digestibilidad de alimentos proteicos se determina por el método de la diferencia, y requiere conocer la digestibilidad de la dieta de referencia por un lado y asumir que la digestibilidad de la dieta mixta es igual a la suma de las proporciones aportadas a la dieta por cada ingrediente, multiplicadas por la digestibilidad de cada uno. Esta determinación supone que no hay interferencia entre alimentos o que no existen efectos asociativos (Mc Donald et al., 1995).

Teniendo en cuenta que los productos resultantes de la aplicación de diferentes procesamientos afectan la calidad de la proteína, se recomienda determinar la biodisponibilidad para los aminoácidos, especialmente los aminoácidos esenciales más limitantes para la síntesis proteica como lisina, metionina, triptófano y treonina (Pomar y Bailleul, 1999). La biodisponibilidad de la lisina se afecta negativamente con el tratamiento térmico y tiempo de procesamiento, que ocasionan la destrucción de los grupos ϵ -NH₂ susceptibles de reaccionar durante el sobrecalentamiento afectando la cantidad metabólicamente disponible de la lisina (Cabrera et al., 1997). También el tratamiento térmico causa la dislocación de los puentes azufrados de la cistina, dando origen a la dehidroalaina que se combina con la cisteína formando lantionina, o con el grupo ϵ -amino de la lisina, para formar la lisinoalanina.

Estas proteínas sobrecalentadas pueden ser degradadas por digestión enzimática *in vitro* sobreestimando el verdadero valor de la disponibilidad de aminoácidos, sin embargo resulta en una reducción de la tasa de hidrólisis de la proteína en el intestino delgado, (Baker et al., 1981; Laplace et al. 1986; Han y Parson, 1991; Williams et al., 1991).

Ensayos realizados para conocer el valor nutritivo de lisinoalanina y lantionina en ratas y pollos, comprobaron que la formación de lisinoalanina explicaba el decrecimiento en la disponibilidad de lisina, sin embargo la presencia de lantionina significa la pérdida de la mitad del valor nutricional de la cistina (Robbis et al., 1980).

Cuando se diseñan estudios sobre el efecto de suplementación de aminoácidos, se recomienda efectuar cambios de un aminoácido por vez, para evitar interacciones que dificultan la evaluación. Aumentos en la concentración de lisina en la dieta cuando éste aminoácido es limitante, aumenta linealmente la deposición de ese aminoácido hasta cierta edad, a partir de la cual no se observan más incrementos. Sin embargo el catabolismo de los aminoácidos no limitantes disminuye inicialmente con el aumento de la lisina dietética. Se han observado que las modificaciones en las relaciones entre aminoácidos de la dieta altera mucho más el catabolismo que el anabolismo (Skalan y Noy, 2004).

Valor proteico de las plumas hidrolizadas

Las primeras investigaciones realizadas utilizando productos de la hidrólisis de las plumas sugerían la existencia de un factor de crecimiento (Nitrógeno no específico) útil para el desarrollo de las aves (Sibbald et al., 1962; Piccioni, 1970). Luego las investigaciones se centraron en la riqueza proteica de este alimento, donde la inclusión de las harinas de plumas presentaba un interés económico al reducir los costos de las dietas.

Sin embargo solo el contenido proteico del alimento no aporta suficiente información para definir su nivel de inclusión en las dietas, ya que los diversos tratamientos pueden generar productos similares en concentración de proteína pero muy diferentes en cuanto a su valor nutritivo. Hasta fines del siglo pasado el principal indicador utilizado para determinar el valor nutricional de las harinas de plumas fueron los valores de solubilidad de la proteína utilizando una concentración de 0,2% de pepsina, de acuerdo a la metodología presentada por la Association of American Feed Control Officials, estableciendo valores superiores al 75% en harinas de plumas para ser consideradas de buena calidad.

Posteriormente se usaron soluciones más diluidas de pepsina (al 0,02%), considerando que permitía obtener una información más fiel para identificar las diferencias en calidad de las harinas. Estos niveles de pepsina se ratificaron, al compararlo con pruebas

realizadas directamente con pollos, donde se evaluaba la retención de nitrógeno (Bielorai et al., 1982). Actualmente los valores de digestibilidad *in vitro* de la proteína se utilizan para controlar la eficacia del proceso, recomendando valores comprendidos entre el 66 y 80% (de Blas et al., 2003).

Si bien los valores mayores de digestibilidad se logran a mayor presión, temperatura y tiempo, la intensidad del proceso afecta negativamente el valor biológico del producto (Shirley y Parson, 2000; Mortiz y Latshaw, 2001). Se recomiendan valores de digestibilidad *in vitro* entorno al 65 y 85%, considerando que valores inferiores al 65% pueden ser indicativos de un tratamiento térmico incompleto y valores superiores al 85% presencia de factores antinutritivos (Piccioni M., 1970; de Blas et al., 2003). La Asociación of American Feed Control Officials (1994, citado por Mortiz y Latshaw, 2001) fija un óptimo para la proteína digestible en pepsina del 75%.

Pruebas de digestibilidad *in vivo*, usando ratones, fueron realizadas obteniendo valores de 7,7% para las plumas sin hidrolizar y más del 80% para las plumas hidrolizadas por métodos físicos. (McCaslaid y Richardson, 1966, citados por Fonseca et al., 1991). Sin embargo para describir nutricionalmente la proteína de las plumas hidrolizadas, es necesario conocer el balance de aminoácidos y la disponibilidad de los mismos (Moran et al., 1966; Piccioni, 1970; Wang y Parsons, 1997). Sabiendo la relación desequilibrada entre aminoácidos del producto de partida y de los productos de la hidrólisis, con insuficiencia en los esenciales como lisina, metionina, histidina y triptófano, pero buenos valores de cistina, (Moran et al., 1966; Mac Alpine y Payne, 1977; Williams et al., 1991) estableciéndose una relación de 6 a 1 para cistina sobre metionina, ha sido uno de los elementos considerados para recomendar su uso como fuente de aminoácidos azufrados en las dietas de animales. Sin embargo solo un 52% de la cistina del hidrolizado está disponible para ser digerida y absorbida (Baker et al., 1981; Liu et al., 1989; Han y Parson, 1991; Barbour et al., 2002).

Confirman pues los trabajos que, como consecuencia de los procesos físicos de obtención, las harinas son muy variables en los valores de digestibilidad de los aminoácidos. Evaluaciones realizadas con pollos en crecimiento, demostraron que incrementos de presión decrecen los valores de digestibilidad disminuyendo un 55% para lisina y un 70% para cistina (Shirley et al., 2000). Resultados similares fueron obtenidos

por Mortiz y Latshaw (2001) quienes a partir de su experiencia proponen usar la concentración de cistina para monitorear la calidad de las harinas de plumas.

Ensayos de evaluación con pollos indicaron que se mejoraban los indicadores de valor proteico de las harinas de plumas cuando se suplementaba la ración con metionina, lisina, histidina y treonina, sin encontrar efectos positivos al suplementar con triptófano (Wessels, 1972). Investigaciones posteriores verificaron el valor promedio de absorción de aminoácidos de las harinas de plumas y encontraron que existen amplias diferencias en la absorción individual de los aminoácidos que van desde el 20% al 70%, siendo los valores menores para lisina e histidina (Bielorai et al., 1983). Información presentada en las Tablas de alimentos (NRC, 1998; FEDNA 2003) indican diferencias en los valores de digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos, con valores entre el 56 al 86 %, siendo siempre los menores valores para la lisina.

Hidrolizados de plumas con NaOH también generan productos con importante pérdida en la concentración de cistina, y reducción de digestibilidad de los aminoácidos (Kim y Paterson, 2000). Pocos son los trabajos de determinación del valor nutritivo de estos productos siendo evaluados por análisis la digestibilidad *in vitro*. No se encontraron trabajos de evaluación proteica que incluyeran plumas hidrolizadas por el método químico.

Valor energético de las plumas hidrolizadas

En trabajos con pollos en crecimiento de valoración energética de las harinas de plumas se determinaron valores de 2774 y 2758 Kcal/ kg de Energía Metabolizable aparente (EMa) y EMa corregida por balance de nitrógeno (EMac) con coeficientes de metabolicidad aparente y aparente corregido por balance de nitrógeno de 55,49 y 55,18 respectivamente (Nunes et al., 2005). Los bajos valores de aprovechamiento de la energía bruta de estos alimentos en forma de energía metabolizable se les atribuye al bajo contenido en extracto al éter y al diámetro geométrico medio de las partículas de los alimentos (DMP). La menor superficie de exposición a la acción de las enzimas digestivas y una mayor tasa de pasaje por el tracto gastrointestinal serían los factores causantes. En pollos, al ser muy corto el tiempo de pasaje del bolo alimenticio por el TGI de las aves, el menor tamaño de partícula puede contribuir a mejorar la digestión y la absorción de los nutrientes.

USOS EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

Desde mediados del siglo pasado, las plumas han sido estudiadas con el objetivo de ser utilizadas en la alimentación animal. Es así que luego de investigaciones realizadas para conocer su estructura se realizan estudios evaluando diferentes niveles de inclusión de plumas tratadas en la alimentación de pollos y cerdos, explotando los elevados niveles de proteína y en especial por su aporte en aminoácidos azufrados.

Las primeras investigaciones reportadas sobre inclusiones de harina de plumas, en dietas fueron realizadas en pollos en crecimiento. De esos ensayos surgen recomendaciones de máximos entorno al 4% (Moran et al., 1966; Mac Alpine y Payne, 1977), y la necesidad de usar ese subproducto acompañado con la suplementación de aminoácidos esenciales, principalmente lisina y metionina (Naber et al., 1961).

La mayor disponibilidad en el mercado de aminoácidos sintéticos, ha permitido manejar niveles mayores de inclusión, en torno al 10% de harina de plumas, sin impactar negativamente sobre los parámetros de performance (Han y Parsons, 1991). Dietas para aves conteniendo hasta el 40% de proteína proveniente de harinas de plumas, suplementadas con metionina, no presentan diferencias en el crecimiento respecto a una dieta control (Baker et al., 1981).

La inclusión de harina de plumas obtenidas por el proceso de fermentación con *Kocuria rosea* concluyeron que este producto puede ser usado como fuente de proteína alternativa en la alimentación de aves y, como consecuencia de los mejores niveles de aminoácidos disponibles, se puede disminuir los porcentajes de suplementación utilizados respecto a cuando se usa harina de plumas comercial, y por tanto reducir el costo de los sistemas de producción (Bertsch y Coello, 2004).

En la alimentación de rumiantes ha sido evaluada como fuente de proteína de sobrepaso (Steiner et al., 1983; Blasi et al., 1991). Pruebas de inclusión realizadas con novillos reportaron valores de degradabilidad para la MS y MO del 32% (Vergara et al., 2002). En las Tablas FEDNA (de Blas et al., 2003) se recomienda limitar la inclusión en vacas lecheras en inicio de producción a 0,2-0,3 kg/d, señalando que el desequilibrio en

aminoácidos puede dar lugar a déficit de metionina y lisina en animales de alta producción, si no es suplementada adecuadamente.

Otra alternativa de uso ha sido como ingrediente en las fórmulas de alimentos para peces. En esta especie se ha reemplazando el 20-25% de la proteína digestible de la dieta por proteína digestible de harinas de plumas obteniendo buenos resultados (Bureau et al., 2001). Cuando el producto utilizado es el obtenido a partir del proceso de fermentación con microorganismos, como *Kocuria rosea*, se han obtenido muy buenos resultados llegando a niveles de inclusión del 15% para trucha arco iris, 33% para camarones y 40% para salmones, siempre suplementados con aminoácidos especialmente L-lisina (Coello et al., 2003).

Inclusión en dietas para cerdos

La competencia en el uso de fuentes proteicas en la alimentación humana y animal ha sido una de las razones que condujo a los investigadores a realizar evaluaciones de las harinas de pluma como ingrediente en las raciones destinadas a cerdos en crecimiento y terminación. Las limitaciones que presenta este alimento se deben al desequilibrio en aminoácidos esenciales (Wilder et al., 1955; de Blas et al., 2003), consecuencia de los procesamientos industriales (Papadopoulos et al., 1985; Van Haugten y van Kempen, 2002). Sabiendo que el desbalance en aminoácidos puede disminuir el consumo, el crecimiento y la utilización de nutrientes, inclusiones elevadas de harina de plumas en las dietas, puede afectar negativamente dichos parámetros (Szu et al., 2004).

Se ha observado que el uso de las harinas como única fuente de proteína, en reemplazo de la harina de soja, deprime los indicadores de performance, aún en dietas ajustadas por los niveles de lisina (Piccioni, 1979; Chiba et al., 1995). Pero es posible realizar inclusiones hasta un 15% de harina de plumas, en dietas a base de maíz y harina de soja, cuando se ajustan los niveles de lisina sin impactos negativos, en parámetros de calidad de carcasa (rendimiento en caliente, espesor de grasa dorsal, área longissimus dorsi) obteniendo resultados similares a los animales que reciben la dieta control. Sin embargo, el aumento en el peso de las vísceras (corazón, hígado y riñones) en animales que recibían las dietas con

harinas de plumas estaría afectando parámetros de performance (velocidad de crecimiento, eficiencia de conversión) (Chiba et al., 1995).

Evaluaciones realizadas en cerdos durante el período de terminación, donde se suministraban niveles de inclusión de 0 a 12% de harina de plumas, obtuvieron decrecimientos lineales en la ganancia diaria y eficiencia (ganancia/consumo) y recomiendan no superar el 9% de inclusión de harina de plumas suplementada con lisina (Chiba et al., 1996). Posteriores trabajos determinan que si bien la parámetros de performance y de calidad de la carcasa no se alteran con inclusiones del 8% de harina de plumas, niveles mayores (10%) provocan efectos negativos en la ganancia y en la eficiencia (Van Heugten y van Kempen 2002). Posteriormente se estudió el efecto de los diferentes niveles de inclusión en los parámetros de calidad de carne de cerdo, concluyendo que para no afectar los indicadores de calidad de carne, no se debía superar el 6% de inclusión de harinas (Apple et al 2003).

Hasta ese momento los trabajos no tenían en cuenta la variabilidad en aminoácidos digestibles que podían presentar las harinas de plumas entre si, teniendo en cuenta que los procesos de elaboración afectan las composiciones. Para dar respuesta a esta limitante, se evalúan niveles de inclusión de 0%, 10% y 20% ajustados por niveles de lisina digestible, por lo tanto las dietas que contenían harina de plumas tenían mayores contenidos de proteína total. Los resultados comprueban reducciones en los parámetros de performance con inclusiones del 20%, afectando mas cuando es suministrado a animales en recría que en animales al finalizar el engorde (Szu et al., 2004)

Por otra parte, al ser las harinas de plumas pobres en lisina, pero de elevado contenido en leucina, arginina, valina, fenilalanina y cistina, un elevado porcentaje de este producto en las dietas, aumenta el grado de desequilibrio entre aminoácidos, y en consecuencia, se registró en esos animales un mayor peso de los órganos viscerales (hígado, riñones e intestino delgado) indicativo de una mayor actividad metabólica de los animales, efecto observado también por Noblet (1987) evaluando dietas de elevado contenido de proteína cruda.

El cerdo puede tolerar altas ingestiones de proteína con pocos efectos sobre su estado sanitario, excepto alguna diarrea moderada, sin embargo la alimentación con altos niveles

de proteína (exceso del 25%)-, normalmente reduce la ganancia de peso y la eficiencia de conversión y contribuye a la contaminación ambiental (NRC, 1998).

Los trabajos publicados de niveles de inclusión presentados hace referencia al uso de plumas hidrolizadas por métodos físicos, con o sin el agregado de sangre para mejorar el contenido de aminoácidos. No se encontraron publicaciones que reportaran ensayos de respuesta animal con el uso de plumas hidrolizadas con NaOH, por tanto se carece de antecedentes en esta temática.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados se realizaron 2 experimentos con cerdos en recría en la Sala de Digestibilidad de la Estación de Pruebas de Porcinos, de la Facultad de Agronomía (Montevideo). La sala contaba con ventilación natural y se registraba diariamente la temperatura.

EXPERIMENTO 1: Digestibilidad in vivo de hidrolizados de plumas

Se evaluó la digestibilidad de dos tipos de hidrolizados mediante una prueba convencional de recolección total de heces, durante los meses de febrero-marzo de 2006. Durante ese período se registraron valores promedios de temperatura máxima y mínima de $27,1 \pm 2,6^{\circ}\text{C}$ y $21,8 \pm 1,4^{\circ}\text{C}$.

Instalaciones

Se utilizaron 9 jaulas metabólicas ajustables al tamaño del animal a los efectos de minimizar los movimientos y evitar la pérdida de productos de excreción. Cada jaula estaba equipada con comedero 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. (Figura 1).



Figura 1. Jaulas metabólicas de la Estación de Pruebas de Porcinos de la Facultad de Agronomía

Animales

Se utilizaron 9 cerdos, todos machos castrados, genéticamente homogéneos (cruzamiento comercial a 4 vías: madres Large White x Landrace y padre híbrido comercial terminal) provenientes del mismo establecimiento. El peso vivo promedio de los animales fue de $49,5 \pm 5,7$ kg.

Alimentos evaluados

Se evaluaron dos tipos de hidrolizados de plumas, elaborados a partir de plumas frescas obtenidas en un matadero avícola. El material de partida presentó valores del 30% de MS, 83% de PC, 0,95% de EE y 3,3% de C, presentando una digestibilidad *in vitro* de la PC del 10%.

1. *Hidrolizado químico*: producto elaborado en la Facultad de Agronomía, sumergiendo las plumas en hidróxido de sodio (NaOH) 1 Molar, en una proporción de 4 partes de solución por 1 parte de plumas frescas, a temperatura ambiente (22 °C). A las 36 horas del proceso eran neutralizadas con ácido acético 1 Molar hasta pH 7 (Bauza et al., en prensa) (Figura 2, Cuadro 5).



Figura 2. Hidrolizado químico de plumas

2. *Harina de pluma*: producto fabricado en carácter experimental en una planta industrial, elaboradora de harinas de origen animal, usando como materia prima las plumas del mismo origen que las utilizadas en el proceso químico, las que fueron sometidas a vapor de agua (temperatura máxima 100 °C) a presión (máxima 3 atm), durante 3 horas. Posteriormente se realizó un secado al aire libre y molienda previo a su inclusión en la ración (Figura 3, Cuadro 5).



Figura 3. Harina de plumas

Cuadro 5. Composición química de los productos evaluados

Composición	Hidrolizado químico	Harina de plumas
Materia seca (%)	13,3 ± 2,1	92
	Base Seca (%)	
Cenizas	33,8	3,5
Proteína Cruda	36,5	82,9
Extracto al éter	2,3	10,3
Energía Bruta (Mcal/kg MS)	3,41	5,78

Los alimentos en evaluación fueron incluidos en dietas en sustitución del 18% de la dieta de referencia de acuerdo a recomendaciones bibliográficas (Nascimento et al.,2005; Mortiz y Latshaw, 2001)

Tratamiento 1 (RR₁): ración de referencia formulada para cerdos 20 a 50 kg de Peso vivo de acuerdo a las recomendaciones del NRC, 1998.

Tratamiento 2 (RHQ): sustitución del 18% de la materia seca (MS) en la ración del tratamiento 1 por una cantidad igual de MS del hidrolizado químico.

Tratamiento 3 (RHP): sustitución del 18% de la materia seca (MS) en la ración del tratamiento 1 por una cantidad igual de MS de harina de plumas.

En los cuadros 5 y 6 se presenta la composición de ingredientes de la dieta de referencia y la composición química de las tres raciones evaluadas.

Cuadro 6. Composición porcentual de ingredientes de la ración de referencia del E1

Ingredientes	Base Seca
Maíz	69
Harina de soja	27
Núcleo vitamínico mineral	4
Total	100

Cuadro 7. Composición química de las raciones ofrecidas en el E1

Composición	RR ₁	RHQ	RHP
Materia seca (%)	88,1	44,0	88,6
	Base seca (%)		
Cenizas	5,8	10,3	4,7
Proteína Cruda	18,0	23,7	31,1
Extracto al éter	3,4	2,3	4,3
Fibra Detergente Neutro	20,4	13,5	19,7
Energía Bruta (Mcal/kg MS)	4,34	4,18	4,63

RR₁: Ración de referencia;

RHQ: sustitución de 18% de la MS de RR₁ por MS de hidrolizado químico

RHP: sustitución de 18% de la MS de RR₁ por MS de harina de plumas

Diseño y manejo experimental

El diseño consistió en un cuadrado latino repetido, con tres repeticiones. Cada animal recibió cada una de las 3 dietas evaluadas en forma alternada.

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 y orina.

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 incorporaba 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 periodo experimental, partiendo de plumas frescas correspondientes al día de la elaboración.

La cantidad de ración ofrecida fue calculada en función al peso metabólico corporal ($PV^{0,75}$) para cubrir sus necesidades de mantenimiento y ganancia esperada (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, 1993).

El alimento fue distribuido en dos tomas diarias: a las 9 y a las 15 horas. Los animales tenían acceso libre al agua mediante bebedero chupete.

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 en molino Willey con tamiz de malla 1mm y enviadas para su análisis al Laboratorio.

Los animales fueron pesados al inicio y final de cada periodo experimental.

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 (UNIT 609-81).

Se determinó Materia seca (MS), Cenizas (C), Nitrógeno (N), Extracto al éter (EE), Fibra Detergente Neutro (FDN), de los ingredientes y de las raciones de acuerdo a la metodología descrita en AOAC (1995). La composición del núcleo vitamínico mineral fue la reportada por fábrica.

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, EE.

Se determinó MS, C, N y EE de la harina de plumas por única vez, al inicio del experimento.

Análisis de digestibilidad *in vitro* de las plumas hidrolizadas fueron determinadas de acuerdo al método AOAC (1995) modificado utilizando pepsina al 0,1% obteniendo valores del 70% para el hidrolizado químico y del 33% para las harinas de plumas. En las heces se determinó MS, N y Energía Bruta (EB).

Estimación del contenido de energía

La concentración energética de los ingredientes fue determinada en el laboratorio por medio de bomba calorimétrica y en las dietas experimentales se estimó a partir de su composición química, mediante las ecuaciones de predicción (NRC, 1998):

$$EB \text{ (kcal/kg MS)} = 4143 + (56 \times \% EE) + (15 \times \% PC) - (44 \times \% C)$$

$$ED \text{ (kcal/kg MS)} = 949 + (0,789 \times EB) - (43 \times \% C) - (41 \times \% FDN)$$

$$EM \text{ (kcal/kg MS)} = ED \times (1,012 - (0,0019 \times \% PC))$$

VARIABLES DETERMINADAS

Se calcularon las siguientes variables: Dap de la Materia seca (DMS), de la Proteína cruda (DPC), de la Materia Orgánica (DMO) y de la Energía (DE). Para el cálculo del valor de digestibilidad de cada fracción del alimento se usaron las siguientes ecuaciones:

Dap de "X" (%)=

$$\frac{\text{Cantidad consumida de "X" - Cantidad excretada de "X"}}{\text{Cantidad consumida de "X"}} \times 100$$

Siendo "X" el nutriente o fracción considerado.

A partir de los valores obtenidos de digestibilidad de las dietas experimentales se calcula la digestibilidad de los alimentos en estudio. 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 (Mc Donald et al., 1995)

Se utilizan las siguientes fórmulas de cálculo;

Digestibilidad del nutriente en la mezcla (AB) (%)=

Digestibilidad del nutriente en A x Proporción del nutriente en A +

Digestibilidad del nutriente en B x proporción del nutriente en B

La digestibilidad del nutriente en el alimento en estudio (B) (%)=

$$\frac{\text{Dig. del nutriente de AB - Dig. del nutriente en A x Prop.del nutriente en A}}{\text{Prop. del nutriente en B}}$$

Modelo y Análisis Estadístico

Para estudiar el efecto del tipo de alimento sobre las variables aleatorias Dap de los nutrientes, se ajustó un modelo general mixto, con la siguiente forma general:

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

siendo: y_{ijkl} variables de respuesta definidas en cada experimento

μ : media común de todas las observaciones

T_i : efecto del i-ésimo tratamiento

C_j : efecto del j-ésimo cuadrado

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

P_l : efecto del l-ésimo período

$(TP)_{il}$: interacción tratamiento período

βPVI_{ijkl} : covariable peso vivo inicial.

ε_{ijkl} : error experimental

No presentaron valores de Probabilidad significativos, por lo tanto fueron excluidos del modelo, el efecto del cuadrado (C_j) y la covariable peso vivo inicial (βPVI_{ijkl}).

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

Experimento 2: Prueba de digestibilidad y balance de dietas con hidrolizado de plumas

Se realizó una prueba de digestibilidad *in vivo* y balance proteico de diferentes dietas conteniendo hidrolizado químico de plumas. El experimento se desarrolló en las mismas

instalaciones que el experimento 1, 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 obtenida en el Experimento 1, se formularon dietas con la inclusión del hidrolizado químico en proporciones fijadas de acuerdo a sus valores de digestibilidad.

Tratamiento 1 (RR₂): ración de referencia formulada de acuerdo a las recomendaciones para la categoría de cerdos en estudio del NRC (1998). Se utilizó la misma combinación de ingredientes que en la ración de referencia del experimento 1.

Tratamiento 2 (HQD): sustitución de 1/3 de Proteína Digestible (PD) en la dieta del tratamiento 1 por PD proveniente de hidrolizado químico de plumas.

Tratamiento 3 (HQDL): dieta del tratamiento 2 suplementada con 0,25 % de Lisina sintética.

En los cuadros 8 y 9 se presenta la composición química de la ración de referencia y de las dos raciones que incluyen hidrolizado químico, sin y con lisina sintética.

Cuadro 8: Composición porcentual (base seca) de las dietas en E2

Ingredientes	RR ₂	HQD	HQDL
Maíz	69.0	58.0	58.0
Harina de soja	27.0	12	12
Núcleo vit. Mín.	4.0	3.0	3.0
Lisina sintética	-	-	0.25
Hidrolizado de plumas	-	23.0	23.0
Aceite	-	4.0	4.0

RR₂: Ración de referencia;

HQD: ración con hidrolizado químico

HQDL: ración con hidrolizado químico suplementado con lisina

Cuadro 9: Composición química de las dietas del E2^(*)

	RR ₂	HQD	HQDL
Materia seca (%)	86,8	38,3	38,3
	Base seca (%)		
Cenizas	5,9	11,7	11,7
Proteína Cruda	18,2	18,8	18,9
Proteína Cruda Digestible	15,3	14,5	14,6
Lisina	0,92	0,63	0,80
Extracto al éter	3,5	8,1	8,2
Fibra Detergente Neutro	13,1	8,7	8,7
Energía Digestible (Mcal/kg MS)	3,6	3,4	3,4

RR₂: Ración de referencia;

HQD: ración con hidrolizado químico

HQDL: ración con hidrolizado químico suplementado con lisina

(*) valores estimados por cálculo

La sustitución de un tercio de la proteína digestible de la dieta de referencia por proteína digestible del hidrolizado, significó una inclusión de 23 % de este producto en las dietas experimentales. Dado que el hidrolizado presenta valores menores de concentración de ED respecto a la dieta de referencia (1,21 y 3,6 Mcal/kg MS respectivamente) fue necesario realizar ajustes en la composición para lograr dietas isoenergéticas. Con ese objetivo se incorporó 4,4% de aceite vegetal en HQD y HQDL, por ser ésta una fuente concentrada de energía.

Se tuvo en cuenta las variaciones en la MS del hidrolizado químico para realizar los ajustes correspondientes manteniendo la composición en nutrientes de las dietas en cada período experimental.

Diseño y manejo experimental

El diseño y manejo experimental planteados en este experimento son iguales que los realizados en el experimento 1.

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, valor muy por debajo de su potencial de crecimiento, resultando en 1,8 veces las necesidades de mantenimiento. Esta reducción fue establecida a priori con el propósito de

reducir las variaciones de peso de los animales entre repeticiones, así como facilitarle al operario el manejo durante las pesadas de los animales al inicio y final de cada período de prueba.

La recolección de heces se realizó como fue descrito en el experimento 1, y la orina fue colectada en baldes plásticos conteniendo HCl ppa 6 N, en cantidad suficiente para mantener el pH en 3. Se midió diariamente el volumen descontando los ml de HCl 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 fue estimado a partir de las ecuaciones de predicción planteadas en el experimento 1. Para el aceite vegetal se tomó un valor energético de 900 kcal de ED cada 100 g.

En la orina se realizaron determinaciones de Nitrógeno.

Variables determinadas en E2

Se calcularon para las dietas en estudio las siguientes variables: DMS, DPC, Valor Biológico aparente (VBap), Valor Proteico Neto (VPN), Balance de Nitrógeno (BN). Se usaron las siguientes ecuaciones:

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

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

$$\text{BN (gramos/animal/día)} = \text{N consumido} - \text{N en heces} - \text{N en orina}$$

Modelo y Análisis estadístico

Para el estudio de las variables aleatorias Valor Biológico y Valor Proteico Neto fue ajustado el mismo modelo general mixto descrito para el experimento 1, usando para el análisis el PROC MIXED del paquete estadístico S.A.S. versión 9.1.3 (SAS Institute, Cary, NC, 2006). Las medias de los efectos significativos fueron separadas usando el test de Tukey cuando presentaron diferencias significativas al 5 %.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento 1. Digestibilidad aparente in vivo de los hidrolizados de plumas

Durante los períodos 1 y 2 debió ser excluido un animal que rechazó la totalidad del alimento ofrecido durante la etapa de adaptación. En ambos períodos ocurrió el suceso con el animal de menor peso vivo al inicio (40,5 y 44 kg). Se podría deducir, a partir de esta experiencia, que el período de adaptación utilizado debió ser mayor a 7 días. Los tiempos utilizados por diferentes investigadores respecto a períodos de adaptación es amplia, desde 3 a 21 días, dependiendo del tipo de dieta a evaluar y de los parámetros a relevar (Noblet et al., 1987; 1993; 1994). Este efecto negativo del hidrolizado sobre el consumo en animales de menor tamaño había sido observado por Apple et al. (2003) y Szu et al. (2004), en ensayos de comportamiento, quienes observaron que luego de un período de adaptación el efecto negativo era superado, encontrando que a un mayor peso vivo de los animales, eran mejor aceptados niveles de inclusión mas elevados. Se puede inferir a partir de esta experiencia que en pruebas de evaluación de este tipo de alimento es conveniente trabajar con animales en el período de terminación (mayores a 50 kg de PV). La alternativa de suministrar una menor proporción del alimento en estudio no es aconsejada, en la medida que se pierde sensibilidad para la detección de diferencias entre alimentos (Mortiz y Latshaw, 2001; Nascimento et al., 2005).

Digestibilidad aparente *in vivo* de las dietas

Para las variables Dap de la MS, PC, MO y E, no se observaron diferencias ($P \geq 0,05$) en los efectos de períodos e interacción tratamiento por período. El Cuadro 10 presenta los valores de las medias ajustadas obtenidas en cada tratamiento.

Los coeficientes de digestibilidad aparente de la RR_1 se encuentran comprendidos dentro de los rangos esperados, de acuerdo a sus ingredientes principales, maíz y harina de soja, y a la categoría de animales a la que se les suministraba la ración (Noblet et al., 1987; Knabe et al., 1989; NRC, 1998).

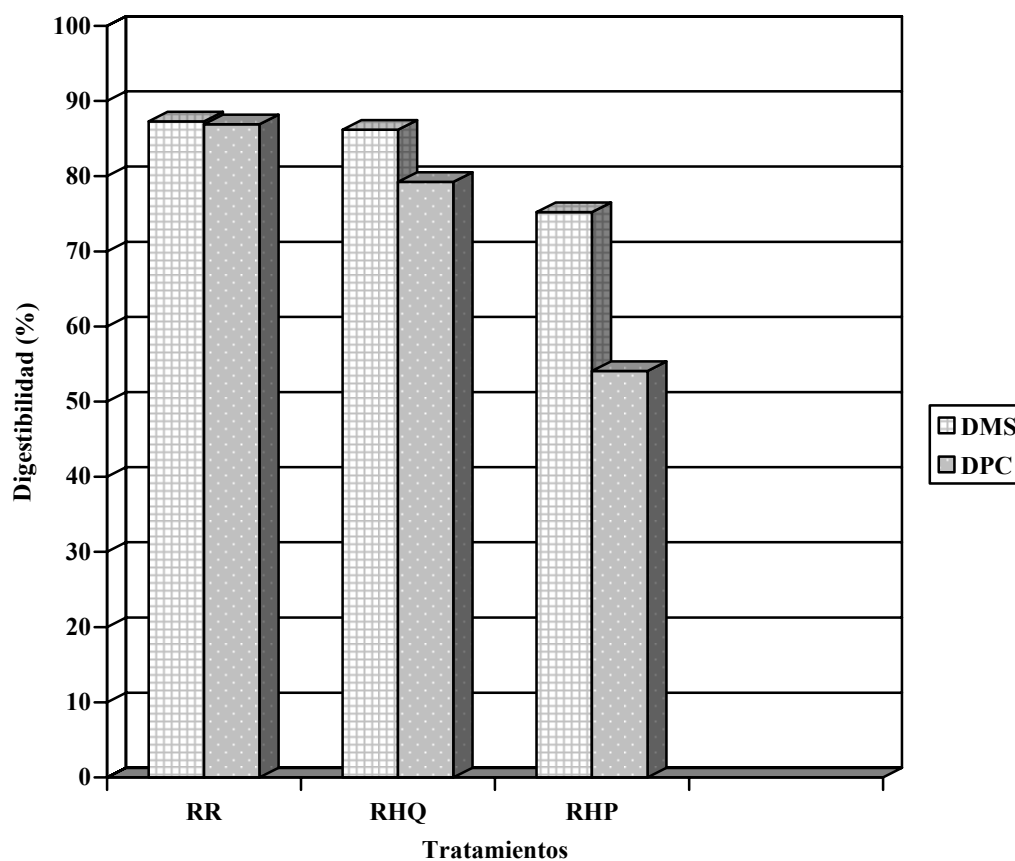
Cuadro 10: Digestibilidad aparente de la materia seca, materia orgánica, proteína cruda y energía (expresado en %) de las diferentes dietas.

Dietas	RR ₁	RHQ	RHP
Materia seca	87,3 ± 0,5 A	86,2 ± 0,6 A	75,2 ± 0,5 B
Materia organica	89,3 ± 0,5 A	86,9 ± 0,6 B	76,7 ± 0,5 C
Proteina cruda	86,9 ± 1,4 A	79,2 ± 1,6 B	54,1 ± 1,4 C
Energía	88,1 ± 0,9 A	84,6 ± 1,1 A	74,4 ± 0,9 B

RR₁: ración de referencia;
 RHQ: sustitución de MS de T1 por MS de hidrolizado químico
 RHP: sustitución de MS de T1 por MS de harina de plumas
 A,B: Medias de tratamiento con diferentes letras, difieren significativamente (Tukey P<0,05)

La sustitución de MS de la dieta de referencia por MS de HQ no generó cambios en los valores de Dap de la MS y la E, pero fueron menores (P<0,05) los valores de la Dap de la MO y la PC (Figura 3). La dilución de la dieta en RHQ pudo haber afectado el tiempo de retención del alimento, aumentando la velocidad de pasaje y afectando negativamente las digestibilidades (Nunes et al., 2005). Un 18% de sustitución de MS en la dieta de referencia, significó una reducción del 7,7% en la digestibilidad de la PC (Figura 4), que es explicado por el efecto de la inclusión del hidrolizado químico.

La dieta conteniendo harina de plumas (RHP) presentó los menores valores para todas las variables de digestibilidad en estudio (P<0,05), reduciendo fuertemente los valores de digestibilidad de la PC. Un 18% de sustitución de MS en la dieta de referencia por HP, significó una reducción del 32,8% en la digestibilidad de la PC de la dieta (Figura 4). Se han encontrado reducciones del 10% en indicadores de digestibilidad de la PC en dietas que incluyen harina de plumas, comparada a dietas conteniendo harina de soja (Knabe et al., 1989). Resultados similares fueron obtenidos en trabajos de evaluación de dietas con diferentes niveles de inclusión, donde se encontraron decrecimientos en la digestibilidad de la PC de las dietas (P<0,001), a elevados porcentajes de inclusión de harinas de plumas (van Heugten y van Kempen, 2002).



RR₁: Ración de referencia;
 RQH: sustitución de MS de T1 por MS de hidrolizado químico
 RHP: sustitución de MS de T1 por MS de harina de plumas

Figura 4. Digestibilidad de la MS y PC para la ración de referencia y las dietas conteniendo plumas hidrolizadas

El promedio de materia seca consumida durante la etapa experimental en función del peso metabólico fue de 1,43 kg/animal/día, cantidades expresadas en base tal cual ofrecido, representaron 1,68; 3,25 y 1,65 kg/animal/día para RR₁, RHQ y RHP respectivamente. En ninguno de los casos hubo rechazos de alimento, por lo que el consumo se ajustó a los niveles planificados. No se registraron temperaturas extremas que implicaran ajustes en la cantidad de alimento ofrecido.

Las cantidades promedios de heces para RR₁, RHQ y RHP fueron: 0,568; 0,954 y 1,246 kg/animal /día con valores de materia seca: 33,3; 27,9; 30,5 % respectivamente. El menor contenido de MS para RHQ, dificultaron la recolección para este tratamiento. Se

considera que estas características físicas de las excretas son consecuencia del menor contenido en MS de la dieta ingerida, y posiblemente a un mayor consumo de agua que se reflejaba en los volúmenes de orina excretada. Los mayores requerimientos de agua, son esperables como consecuencia de la elevada concentración en cenizas en el alimento, probablemente compuestas de alto contenido en sales de Na (Papadopoulos et al., 1985; Penz y Spillari, 1998; Ehrlein, et al., 1999). 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.

Digestibilidad aparente de los hidrolizados

Para las variables Dap de la MS, PC, MO y E, no se observaron diferencias ($P > 0,05$) en los efectos de períodos e interacción tratamiento por período. El Cuadro 10 presenta los valores de las medias ajustadas obtenidas en cada tratamiento.

Teniendo en cuenta que los resultados de análisis de digestibilidad *in vitro* de la PC (DIVPC) de las plumas sin tratar obtenidos, es del 10% (Bauza et al., en prensa), en ambos casos existió un efecto positivo de los tratamientos sobre la digestibilidad de la queratina. El efecto de ambos tratamientos sobre la digestibilidad de la materia prima de origen fue muy diferente (Cuadro 11).

Cuadro 11: Digestibilidad aparente del Hidrolizado químico (HQ) y Harina de plumas(HP)

Digestibilidad aparente	HQ	HP
Materia seca	79,1 ± 3,5 A	26,9 ± 3,0 B
Proteína cruda	68,1 ± 3,9 A	25,2 ± 3,4 B
Materia orgánica	68,1 ± 3,6 A	26,2 ± 3,2 B
Energía	74,4 ± 5,3	33,7 ± 4,7

A,B: Medias de tratamiento con diferentes letras, difieren significativamente (Tukey $P < 0,05$)

De acuerdo a las exigencias de algunos organismos internacionales controladores de calidad, como la AAOFCO (1994) y las Normas de Legislación Española, (FEDNA, 2003)

que establecen mínimos de DIVPC entre 75 y 85%, evaluamos que los procesos de hidrólisis estudiados no han sido satisfactorios en los dos productos obtenidos (Moritz y Latshhaw, 2001; de Blas et al., 2003).

Sin embargo, numerosos autores (Moran et al., 1966; Papadopoulos, et al., 1986; Williams et al., 1991; Latshaw et al., 1994) se han referido a la existencia de un amplio rango de digestibilidades encontradas en ensayos de evaluación de productos presentes en el mercado, considerando que las variaciones son consecuencia de las composiciones heterogéneas de la materia prima de partida y principalmente por las diferentes aplicaciones tecnológicas usadas como métodos de hidrólisis. Procesos por el método físico, reportan valores de DIVPC del 70% cuando las plumas eran procesadas aplicando 2 atm de presión durante 90 minutos, mejorando éste indicador al 80% cuando se prolongaba el tiempo a 240 minutos (Naber et al., 1956), valores de 80% con 2 atm de presión durante 106 minutos (Moritz y Latshaw et al., 2001), a 51% en condiciones de 1,8 atm, 130°C durante 90 minutos (Fonseca et al., 1991).

Digestibilidad aparente del hidrolizado de plumas (HQ)

Los valores de digestibilidad del HQ observados están cercanos a reportes bibliográficos de productos obtenidos en condiciones similares. Se encuentran resultados del 76% de DIVPC para plumas procesadas por el método químico, usando NaOH 1 M durante 24 horas a 37°C de temperatura (Kim y Patterson, 2000). Análisis de DIVPC de plumas procesadas en iguales condiciones a las evaluadas en este experimento presentaron valores del $71,7 \pm 2,5$ % (Bauza et al., en prensa)

Es importante establecer que los productos comerciales evaluados en la mayoría de las investigaciones reciben un secado previo, llegando al mercado con valores de MS entorno al 90%, a diferencia del producto utilizado en este ensayo, cuyos promedios de MS son de $13 \pm 2,1$ %. Por tanto los animales que recibieron las dietas RHQ consumieron en promedio 3,25 kg/día, en contraste con el ofrecido en RR₁ y RHP de 1,68 kg/día. Si bien el consumo de MS para los 3 tratamientos fue similar, ajustado por requerimientos de EM en función de su PV, la dilución de la dieta en RHQ pudo haber aumentado la velocidad de pasaje y afectado negativamente la digestibilidad (Nunes et al., 2005). Como consecuencia,

los animales sometidos a RHQ excretaban heces más líquidas (28% de MS) y se observó una mayor frecuencia de acceso al bebedero. El aumento en el consumo de agua puede estar explicado por la necesidad de los animales en eliminar excesos de Na y nitrógeno (Papadopoulos et al., 1985; Ehrlein et al., 1999).

La sustitución de la MS de la dieta de referencia por HQ con concentraciones de 36,5% de PC (base seca) incrementó la concentración de PC de la dieta, que pasa de 18% de PC (base seca) a 23,8%. Se le suma a este efecto, las mayores concentraciones de las cenizas, del 10,9%, del método de procesamiento aplicado. Por otra parte, se percibió un fuerte olor en la materia fecal, probablemente producido por el incremento proteico de la dieta que pudo haber generado aumentos en los niveles de fenoles e índoles provenientes de la degradación de las proteínas (Van Heugten y van Kempen, 2002).

Teniendo en cuenta que parte del nitrógeno presente en las heces es de origen microbiano, producto de la síntesis de aminoácidos como consecuencia de la fermentación microbiana, el valor de la digestibilidad de la proteína por el método de digestibilidad *in vivo* estaría subestimando el valor real lo que permitiría pensar que el efecto del procesamiento evaluado por esta metodología puede ser mejor que los determinados en este ensayo (Sauer et al., 1980).

En base a éstos resultados, se recomienda continuar evaluando el producto obtenido a través del procesamiento químico (HQ), considerando que sus valores de digestibilidad se encuentran dentro de los márgenes aceptables para productos comerciales establecidos por organismos controladores de calidad (Moritz y Latshhaw, 2001; de Blas et al., 2003).

Digestibilidad aparente de la harina de plumas (HP)

Los valores de DIVPC de éste producto obtenidas estuvieron por debajo de las recomendaciones de calidad establecidas en las Tablas FEDNA (de Blas et al., 2003), para los hidrolizados obtenidos por presión y temperatura. Las mismas recomiendan valores entre 66 y 80% DIVPC, para hidrolizados obtenidos a 2,9 atm, 133 °C por 20 minutos, pudiendo inferir que el proceso aplicado en este caso ha sido insuficiente.

Los datos de digestibilidad *in vitro* obtenidos en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía, fueron de 33%. Estos valores de DIVPC permitirían

en este caso considerar que la baja digestibilidad de la HP ha sido por déficit en el proceso y no como consecuencia de un procesamiento excesivo, ya que de ser así el análisis de DIVPC estaría determinado el N integrante de los aminoácidos no nutritivos como lantoina y lisinalanina que afectan el valor biológico del producto procesado (Laplace et al., 1986). Al tratarse de una prueba piloto, realizada en una planta no especializada en la elaboración de harinas de plumas, fue difícil controlar las condiciones a que se sometieron las plumas durante el proceso.

En resumen, se puede decir que si bien los tratamientos aplicados mejoran la digestibilidad de las plumas respecto al material original, es necesario continuar profundizando sobre aspectos metodológicos que incrementen los valores obtenidos y alcancen los mínimos establecidos por normas. Teniendo en cuenta que el producto elaborado mediante hidrólisis química presenta valores aceptables, se continúa su evaluación con el objetivo de estimar los parámetros que permitan conocer la calidad de la proteína.

Experimento 2. Prueba de digestibilidad y balance d nitrógeno de las dietas con hidrolizado de plumas

Digestibilidad aparente de las dietas

Para las variables Dap de la MS y PC, no se observaron diferencias ($P \geq 0,05$) en los efectos de períodos e interacción tratamiento por período. El Cuadro 12 presenta los valores de las medias ajustadas obtenidas en cada tratamiento. Los valores de DapMS para las tres dietas ofrecidas no presentaron diferencias entre sí ($P \geq 0,05$) siendo coincidentes con los resultados del E1.

Cuadro 12. Efecto de la inclusión de hidrolizado químico de plumas y la suplementación con lisina sobre la digestibilidad aparente (%) de la materia seca y la proteína cruda en cerdos

Digestibilidad aparente	RR ₂	HQD	HQDL
Materia seca	86,6 ± 0,7	85,5 ± 0,7	86,7 ± 0,7
Proteína cruda	84,5 ± 1,3 A	70,7 ± 1,3 C	75,1 ± 1,3 B

RR₂: Ración de referencia;

HQD: sustitución del 13% de la PCD de RR1 por PCD proveniente de hidrolizado químico

HQDL: ración con hidrolizado químico suplementado con lisina (0.25%)

A,B: Medias de tratamiento con diferentes letras, difieren significativamente (Tukey P<0,05)

Los valores de Dap PC para RR₂ y RR₁ fueron similares (84,5% y 86,9% respectivamente). El hecho que los ingredientes provinieran de diferentes partidas pudo ser la causa de esta variación, que está dentro de los márgenes lógicos. Los cálculos para proteína digestible en E2 fueron ajustados a los valores correspondientes obtenidos en este experimento.

Se encontraron diferencias no previsibles en los valores de DapPC entre HQD y HQDL (P<0,05), ya que se incorporó el mismo porcentaje de hidrolizado en ambas dietas. Las diferencias pueden responder a que el agregado de lisina en HQDL permitió una mejor utilización del nitrógeno endógeno mejorando el balance de aminoácidos y por tanto reduciendo las pérdidas de origen endógeno en heces (Dueé y Henry, 1986; Lahaye et al., 2004). Es decir, que las diferencias no estarían dadas por cambios en la digestibilidad verdadera del alimento, sino por un efecto sobre la digestibilidad aparente.

Valor proteico del hidrolizado

Para las variables VBap, VPN y BN no se observaron diferencias (P>0,05) en los efectos de períodos e interacción tratamiento por período. El Cuadro 13 presenta los valores de las medias ajustadas obtenidas en cada tratamiento. La inclusión del hidrolizado de plumas disminuyó (P<0,05) los valores de la dieta de referencia para las tres variables en estudio, no existiendo diferencias (P>0,05) entre si.

Cuadro 13. Valor Biológico aparente (%) y Valor Proteico Neto (%) y Balance de Nitrógeno (gramos/animal/día) de las dietas

	RR ₂	HQD	HQDL
Valor Biológico aparente	71,5 ± 4,3 A	44,3 ± 4,3 B	51,1 ± 4,3 B
Valor Proteico Neto	60,4 ± 3,5 A	31,4 ± 3,5 B	39,2 ± 3,5 B
Balance de Nitrógeno	17,1 ± 3,5 A	9,12 ± 3,5 B	11,9 ± 3,5 B

RR₂: Ración de referencia;

HQD: ración con hidrolizado químico

HQDL: ración con hidrolizado químico suplementado con lisina

A,B: Medias de tratamiento con diferentes letras, difieren significativamente (Tukey P<0,05)

Los valores obtenidos de eficiencia de retención de nitrógeno en RR₂ están dentro de los rangos citados por Torrallardona (2000) para cerdos entre 20 y 90 kg recibiendo dietas estándares. Estos indicadores dietarios en estudio, dependen de la composición en aminoácidos de la proteína y de la disponibilidad de los mismos a ser digeridos y absorbidos para ser utilizados por el metabolismo animal siendo condicionados también por el balance energético de la dieta que determina la deposición proteica (Pomar et al., 1994).

La disminución del VBap en HQD respecto a RR₂ se puede explicar por que la materia prima de partida es desequilibrada en aminoácidos esenciales (Arai et al, 1983; Papadopoulos et al., 1985; Williams et al., 1991), y a su vez recibía un tratamiento que si bien mejoraba sus valores de digestibilidad, podría tener efectos negativos sobre la disponibilidad de algunos aminoácidos al presentarse como lisinoalanina y lantionina. (Mac Alpine y Payne, 1977; Williams et al., 1991; Kim y Paterson, 2000).

El agregado de una fuente externa de lisina en el HQDL no mejoró (P>0,05) la calidad de la proteína de la dieta con respecto al HQD, aunque se hayan observado valores promedio algo superiores que pueden estar explicados porque el incremento en la dieta de lisina, principal aminoácido limitante de los cerdos, pudo disminuir el catabolismo de aminoácidos no limitantes, contribuyendo así a mejorar la eficiencia en el uso de las proteínas (Salan y Noy, 2004). Similares resultados fueron reportados por Wessels (1972); Baker et al., (1981) quienes a partir del agregado de aminoácidos sintéticos esenciales lograron mejorar los resultados de retención de nitrógeno en pruebas de metabolismo. Confirman por otra parte estos resultados Apple et al. (2003), Szu et al. (2004), quienes en

pruebas de performance mejoraron la ganancia diaria y eficiencia de conversión cuando aumentaron 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% respecto a dieta de referencia), este ajuste implicó diferencias en los volúmenes de las dietas ofrecidas: 1,12; 2,63 y 2,59 kg/animal/día para RR₂, HQD y HQDL respectivamente. Sustituir un alimento concentrado por un alimento voluminoso y de menor calidad, provocó el aumento en los volúmenes de las excretas para HQD y HQDL (Cuadro 14).

Cuadro 14: Cantidad de las excretas diarias/animal y su concentración en N

Trat	Heces			Orina	
	g /día	% MS	% N Base seca	ml/d	% N Base fresca
RR ₂	382	34,3	3,34	4520	0,210
HQD	547	27,1	5,82	12490	0,081
HQDL	410	32,5	5,83	11300	0,105

RR₂: Ración de referencia;

HQD: ración con hidrolizado químico

HQDL: ración con hidrolizado químico suplementado con lisina

La cantidad de heces y concentración de nitrógeno en las mismas, es consecuencia de la menor digestibilidad, como ya se ha analizado. Los mayores volúmenes de orina pueden estar asociados a la necesidad de eliminar metabolitos no utilizados por el animal, como puede ser en estas dietas los excesos de Na. Por otra parte la limitante de un aminoácido respecto a la proteína ideal, limita la síntesis proteica, generando que aminoácidos no utilizados sean catabolizados y el nitrógeno eliminado principalmente por la orina en forma de urea (Pomar et al., 1994). En este sentido, si se compara la relación ideal de los aminoácidos esenciales para cerdos en crecimiento (Cuadro 15) con estimaciones realizadas del patrón de aminoácidos presente en los productos de la hidrólisis (Papadopoulos et al., 1985) se observa un desbalance aminoácido para el hidrolizado corroborando la información presentada por numerosos autores (Mac Alpine y Payne, 1977; Williams et al., 1991).

Cuadro 15. Composición porcentual de la Proteína ideal para cerdos en crecimiento y el balance de aminoácidos de la dieta de referencia (RR₂) y HQD (*)

	Proteína ideal NRC, 1998	Relación de aa en RR ₂	Relación de aa en HQD
Lisina	100	100	100
Arginina	39	120	120
Histidina	32	51	56
Triptofano	18	22	21
Isoleucina	54	78	81
Leucina	95	176	205
Valina	67	89	97
Fenilalanina	58	93	99
Treonina	64	72	76
Metionina + Cistina	57	66	76

(*) datos calculados

La sustitución del tercio de proteína digestible de la dieta de referencia compuesta por maíz y harina de soja, por proteína digestible del hidrolizado, pudo desequilibrar la composición aminoacídica respecto a la proteína ideal requerida por los animales. En consecuencia, es de esperar un mayor proceso de desaminación, incrementando la actividad metabólica y por tanto los requerimientos energéticos para el mantenimiento animal. Por consiguiente la energía disponible para ganancia de peso disminuye, traduciéndose en una menor ganancia de peso en los animales.

Para lograr mantener los niveles adecuados de pH en la orina con el propósito de evitar la volatilización del nitrógeno, en los tratamientos HQD Y HQDL fue necesario agregar hasta 400 ml de HCl. Observaciones similares han sido reportadas por Cole y colaboradores (2004) quienes determinaron mayores volúmenes de orina y aumentos de pH en animales que recibían dietas conteniendo NaHCO₃. Estos autores no detectaron problemas fisiológicos en los animales.

Informes del peso de los riñones proveniente de animales sometidos a dietas similares a este trabajo, en una prueba de performance realizada en la Facultad de Agronomía, registraron valores significativamente mayores para los tratamientos que

incluyeron hidrolizado en sus dietas.³ También Szu et al. (2004) en ensayos con inclusiones de hidrolizados de plumas similares a este experimento observaron un mayor peso de órganos viscerales, atribuyéndolo a la mayor actividad metabólica de los animales.

Una dieta desbalanceada en aminoácidos, trae como consecuencia un desperdicio de nitrógeno y de energía, sumado a las consecuencias a nivel ambiental, al aumentar el contenido de nitrógeno en heces y orina.

En resumen, se comprueba una menor calidad de la proteína del hidrolizado químico de plumas, recomendando conocer por métodos analíticos la composición de aminoácidos del alimento para lograr formular dietas que se ajusten adecuadamente a los requerimientos de los animales.

³ Datos sin publicar

V. CONCLUSIONES

- El tratamiento con NaOH 1 Molar durante 36 horas, aplicado a plumas de aves es efectivo en la hidrólisis de la queratina, generando un producto con valores de digestibilidad de la proteína del 68%, valor comprendido dentro del rango aceptables por organismos controladores internacionales para el uso de alimentos en dietas de animales.
- El tratamiento aplicado a las plumas de aves utilizando presión y temperatura no fue suficiente para obtener un producto con valores de digestibilidad de la proteína dentro del rango establecido.
- La inclusión del hidrolizado químico en dietas para cerdos disminuye su valor biológico.
- La suplementación con 0,25% de lisina sintética en dietas conteniendo 23% de plumas hidrolizadas químicamente no mejora la calidad de la proteína de la dieta de referencia.

VI. RECOMENDACIONES

A la vista de los resultados obtenidos, se recomienda profundizar sobre aspectos metodológicos que permitan mejorar los procesos de hidrólisis. Pruebas con diferentes valores de presión, temperatura y tiempo deben ser realizadas para encontrar el óptimo económico que logre alcanzar los valores de digestibilidad deseados. Respecto al método químico empleado para hidrolizar las plumas evaluadas en este trabajo, si bien permitió alcanzar valores de digestibilidad establecidos en la bibliografía, sería interesante estudiar alternativas que permitan obtener un producto final con menor contenido de MS.

A futuro sería interesante, conformar un equipo multidisciplinario para desarrollar una línea de trabajo sobre la producción de hidrolizados a partir de microorganismos productores de enzimas queratinolíticas, experiencia que se viene llevando a cabo en algunos países Sudamericanos. Por otra parte, es recomendable implementar metodologías que permitan mejorar las estimaciones de la calidad proteica de los alimentos, desarrollando las técnicas que permitan determinar la biodisponibilidad ileal de los aminoácidos esenciales. De esta manera se podrán conocer con mayor precisión los indicadores del valor proteico y por ende realizar mejores ajustes de las dietas.

VII. BIBLIOGRAFÍA CITADA

1. ALVAREZ, R.; BERTSCH, A.; COELLO, N.. 2005. Comparación de la digestibilidad verdadera de la harina de plumas fermentadas por *Kocuria rosea* y la comercial en gallos adultos. Resumen. Tomado de Arch. Latinoam. Prod. Anim.. 13:147-160
2. Association of Official Analytical Chemists 1995. Official Methods of Analysis 16th ed. A.O.A.C. Washington, DC.
3. APPLE, J.C.; BOGER, C. B.; BROWN, D.C.; MAXWELL, C.V.; FRIESEN, K.G.; ROBERTS, W.J.; 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.
4. ARAI, K.M.; TAKAHASHI, R; YOKOTE, Y.; AKAHANE, K. 1983. Amino acid sequence of feather keratin from fowl. Biochem. J. 132: 501-507
5. BAKER, D.H.; BLITENTHAL, R.C.; BOEBEL, K.P.; CZARNECKI, G.L.; SOUTHERN, L. L.; WILLIS, G.M. 1981 Protein- amino acid evaluation of steam- processed feather meal. Poult. Sci. 60:1865-1872
6. BARBOUR, G.W.; WERLING, M.; YERSIN, A.G.; LILBURN, M.S. 2002. The effect of enzyme predigesting on the nutritional quality of prepressed turkey feather meal. Poult. Sci. 81:1032-1037.
7. BARONE, J.R; SCHMIDT, W.F. 2006. Effect of formic acid exposure on keratin fiber derived from poultry feather biomass. (Original no consultado) Abstract en Biores. Technol. 97: 233.
8. BAUZA, R.; GONZALEZ, A. 2004. Alimentos alternativos utilizados en Uruguay. En: 1er. Simposio de Producción Porcina. Memorias. Facultad de Veterinaria. Universidad de la República. Uruguay. 28p
9. BAUZA, R. 2005. Presentación En: Jornada-Taller sobre la Utilización de pasturas en la alimentación de cerdos. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Uruguay. pp.3-4

10. BAUZA, R.; BRATSCHI, C.; GONZÁLEZ, A.; HIRIGOYEN, A.; SCAGLIA, L.; 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:
11. BAUZA, R.; ARIAS, G.; BRATSCHI, C.; FURTADO, S.; GONZÁLEZ, A.; HIRIGOYEN, A.; SCAGLIA, L.; 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 AAPA. En prensa.
12. BERTSCH, A.; COELLO, N. 2004. A biotechnology process for treatment and recycling poultry feathers as feed ingredient. Biores. Technol. 96:1703-1708
13. BIELORAI, R.; IOSIF, B.; NEUMARK, H.; ALUMOT, E. 1982. Low nutritional value of feather –meal protein for chicks. J. Nutr. 112: 249-254.
14. BIELORAI, R.; HARDUF, Z.; IOSIF, B.; ALUMONT, E. 1983. Apparent Amino Acid Absorption from Feather Meal by Chicks. Br. J. Nutr. 49: 395-399.
15. BLASI, D.A; KLOPFENSTEIN, T.J.; DROUILLARD, J.S; SINDT, M.H. 1991. Hydrolysis time as a factor affecting the nutritive value of feather meal and feather meal- blood meal combinations for growing calves. J. Anim. Sci. 69: 1272-1278.
16. BUREAU, D.P. 2001. Utilización de harinas de origen animal en la nutrición de peces. En: <http://www.uoguelph.ca/fishnutrition>. 10 p. Consulta: octubre 2006
17. CABRERA, M.C.; CORREA, D.; OLIVERO, R.; MANFREDI, N.; BERTI, A.M.; DEL PUERTO, M. 1997. Biodisponibilidad de la lisina de la harina de sangre obtenida por dos procesos diferentes. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 13:
18. CHIBA, L.I.; IVEY, H.W.; CUMMINS, K.A.; 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
19. CHIBA, L.I.; IVEY, H.W.; CUMMINS, K.A.; GAMBLE, B.E. 1996. Hydrolyzed feather meal as a source of amino acids for finisher pigs. Anim. Feed Sci. Technol. 57:15-24
20. COELLO, N.; BERNAL, C.; BERTSCH, A.; ESTRADA, O.; MOCCO, Y.; 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 U.C.V. 18: 119-126.
21. COLE, J.T. ARGENIZO, R.A.; EISEMANN, 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
 22. DE BLAS, FC.; MATEOS, G. REBOLLAR, P. 2003. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos (2ed.) En: www.etsia.upm.es/fedna/. Consulta: agosto 2005.
 23. DE GROOT, A. P.; SLUMP, P. 1969. Effects of severe alkali treatment of proteins on amino acid composition and nutritive value. J. Nutr. 98: 45-56.
 24. DIEA. 2007. Encuesta porcina 2006. Caracterización de la Situación Productiva, Tecnológica, Comercial, y Social del sector Porcino. (FPTA 170). DIEA-INIA. Montevideo, Uruguay. 75 p.
 25. DUEÉ, P.H.; HENRY, Y. 1986. Alimentation azotée. En: Le Porc et son élevage. Bases scientifiques et techniques. Pérez, J.M; Mornet, P.; Réart, A. París. INRA. pp. 251-288
 26. EHRLEIN, H. HAAS-DEPPE, B.; 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
 27. ERREA, E.; ILLUNDAIN, M..2007. Carne aviar: situación y perspectivas. Anuario MGAP-OPYPA 2007. En: <http://www.mgap.gub.uy/opypa/ANUARIOS/Anuario07/htm/index.htm>. Consulta: marzo 2008
 28. FONSECA, J.B.; ABÉ, P.T.; SANTANA, R.; ROSTAGNO, H.S. 1991. Determinação dos valores de energia e de aminoácidos aparentemente metabolizáveis da farinha de penas. Rev. Bras. Zootec. 20: 291-297
 29. GONZÁLEZ, A.. 2007. El hidrolizado de las plumas, un proceso para valorizar un residuo contaminante. Encuentro de Nutrición y Producción en Animales Monogástricos (9º). Cursos pre-evento. Montevideo. UDELAR. pp 49- 53
 30. HAN, Y.; PARSONS, C.M. 1991. Protein and amino acid quality of feather meals. Poult. Sci. 70:812-822

31. HARRAP, B.S.; WOODS, E.F.. 1964. Soluble derivates of feather keratin. 2. Molecular weigh and conformation. *Biochem. J.* 92: 19-26
32. INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TÉCNICAS. UNIT. 1982. Productos para alimentación animal. Determinación de la proteína soluble en pepsina. Método de referencia. N° 0628-82. ICS 65.120. Montevideo, Uruguay. 5p
33. KIM, W.K.; PATTERSON, P.H.. 2000. Recycling dead hens by enzyme or sodium hydroxide pretreatment and fermentation. *Poult. Sci.* 79:879-885
34. KIM, W.K.; PATTERSON, P.H. 2000. Nutritional value of enzyme-or sodium hydroxide-treated feathers from dead hens. *Poult. Sci.* 79:528-534
35. KIM, W.K.; LORENZ, E.S.; PATTERSON, P.H. 2002. Effect of enzymatic and chemical treatments on feather solubility and digestibility. *Poult. Sci.* 81:95-98
36. KNABE, D.A.; LA RUE, D.C.; GREGG, E.J.; MARTINEZ, E.J.; TANKSLEY, T.D. 1989. Apparent digestibility of nitrogen and amino acid in protein feedsuffs by growing pigs. *J.Anim. Sci.* 67:441-458.
37. LAHAYE, L.; GANIER, P.; THIBAU LT, J-N.; 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
38. LAPLACE, J.P; COORING, T.; REART, A.; DEMARNE, Y. 1986. Digestion En: *Le Porc et son élevage. Bases scientifiques et techniques.* Pérez, J.M; Mornet, P.; Réart, A. INRA.65-120
39. LATSHAW, J.D.; MUSHARAF, N. RETURN, R. 1994. Processing of feather meal to maximize its nutritional value for poultry. *Anim. Feed Sci. Technol.* 47:179-188
40. LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M.. 1995. *Principios de Bioquímica.* 2da. Ed. Barcelona, Omega. 1087p
41. LON WO, E. 2007. Procesos tecnológicos para elevar el valor nutritivo de los alimentos. IX Encuentro de nutrición y producción en animales monogástricos. Cursos Pre-eventos. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. pp.41-53

42. MAC ALPINE, R.; PAYNE, C.G. 1977. Hydrolysed feather protein as a source of amino acid for broilers. *Poult. Sci.* 18:265-273.
43. MC DONALD, P.; EDWARDS, R.A.; GREENHALGH, J.F.D.; MORGAN, C.A. 1995. *Nutrición animal. Cap. 10. Valoración de los alimentos. (A) Digestibilidad.* Traducido por: Rabel Sanz Arias. Facultad de Veterinaria. Editorial Acribia. Madrid. España. pp 205-220.
44. MALLO, M.; LUCAS, R. DEL CAMPO, M.J. 2005. Diagnóstico nacional de residuos sólidos industriales y agroindustriales por sector productivo. Versión preliminar. En: http://www.mvotma.gub.uy/dinama/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=258&Itemid=158 Consulta: marzo 2006
45. MORAN, E.T.; SUMMERS, J.D.; SLINGER, S.J. 1966. Keratin as a source of protein for the growing chick. 1. Amino acid imbalance as the cause for inferior performance of feather meal and the implication of disulfide bonding in raw feathers as the reason for digestibility. *Poult. Sci.* 45: 1257-1266
46. MORITZ, J.S.; LATSHAW, J.D.. 2001. Indicadores of nutritional value of hidroyzed feather meal. *Poult. Sci.* 80: 79-86
47. NABER, E.C.; MORGAN, C. 1956. Feather meal and poultry meat scarp in chick starting rations. *Poult. Sci.* 35:888-895.
48. NABER, E.C.; TOUCHBURN, S.P.; BARNETT, B.D.; MORGAN C.L.. 1961. Effect of processing methods and amino acid supplementation on dietary utilization of feather meal protein by chicks. *Poult. Sci.* 40:1234-1245
49. NASCIMENTO, A.H.DO; GÓMES, P.C.; ROSTAGNO, H.S.; TEIXEIRA A., L.F.; LOPES D., J.; 2005. Valores de energía metabolizável de farinhas de penas e de vísceras determinados com diferentes níveis de inclusao e duas idades das aves. *R. Bras. Zootec.* 34: 877-881.
50. NATIONAL RESERARCH COUNCIL. (NRC). 1998. *Nutrient Requirements of Swine.* 10th.ed. National Academy Press, Washington D.C. 192p
51. NOBLET, J.; HENRY, Y.; DUBOIS, S. 1987. Effect of protein and lysine levels in the diet on body gain composition and energy utilization in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 65: 717-726.

52. NOBLET, J.; SHI, S.. 1993. Comapartive digestibility of energy and nutrients in growing pigs fed ad libitum and adults sows fed at maintenance. Liv. Prod. Sci. 34: 137-152.
53. NOBLET, J.; SHI, S. 1994. Effect of body weight on digestive utilization of energy and nutrients of ingredients and diets in pigs. Liv. Prod. Sci. 37: 323-338
54. NUNES, R. V. DE; POZZA, P. C.; GARCÍA V. N., C.; CAMPESTRINI, E.; KÜHL, R.; DA ROCHA, L. D.; PERRAZO C., F.G. 2005. Valores energéticos de subproductos de origen animal para aves. R. Bras. Zootec. 34: 1217-1224.
55. PAPADOPOULOS, M.C.; BOUSHY, A.R.; ROODBEEN, A.E. 1985. The effect of varying autoclaving conditions and added sodium hydroxide on amino acid content and nitrogen characteristics of feather meal. J. Sci. Food Agric. 36:1219-1226
56. PAPADOPOULOS, M.C.; BOUSHY, A.R.; KETELAARS, E.H. 1985. Effect of different processing conditions on amino acid digestibility of feather meal determined by chicken assay. Poult. Sci. 64:1729-1741
57. PAPADOPOULOS, M.C. 1986. The effect of enzymatic treatment on amino acid content and nitrogen characteristics of feather meal. Anim. Feed Sci. Technol. 16:151-156
58. PENZ, A.M.J; SPILLARI, V.E. 1998. Nutrição. Capítulo 3. En: Suinocultura intensiva. Produção, manejo, e saúde do rebanho. Editores: Sobestiansky, J; Wentz, I; Sesti, L. EMBRAPA. Serviço de Produção de Informação. Brasil. pp.45-60
59. PICCIONI, M.. 1970. Diccionario de alimentación animal. Acribia. Zaragoza. 824p.
60. POMAR, C.; BAILLEUL, P.J.D.. 1999. Determinación de las necesidades Especialización (15). Avances en Nutrición y Alimentación Animal. FEDNA. En: www.etsia.upm.es/fedna/publi.htm. Consulta: marzo 2007.
61. SHAFER, D.J.; CAREY, J.B.; BURGESS, R.P.; CONRAD, K.A.; PROCHASKA, J.F. 2000. Chemical preservation of whole broiler carcasses utilizing alkaline hydroxides. Poult. Sci. 79: 1517-1523.

62. SHAFER, D.J.; BURGUES, R.P.; CONRAD, K.A.; PROCHASKA, J.F.; CAREY, J.B. 2001. Characterization of alkaline hydroxide-preserved whole poultry as a dry byproduct meal. *Poult. Sci.* 80:1543-1548.
63. SHIRLEY, R.B.; PARSON, C.M. 2000. Effect of pressure processing on amino acid digestibility of meat and bone meal for poultry. *Poult. Sci.* 79:1775-1781
64. SIBBALD, I.R.; SLINGER, S.J.; PEPPER, W.F. 1962. The utilization of hydrolyzed feather meal by growing chicks. *Poult. Sci.* 41: 844-849
65. SZU, K.W.; BRUMM, M.C.; MILLER, P.S. 2004. Effect of feather meal on barrow performance. *J. Anim. Sci.* 82:2588-2595
66. STEINER, R.J.; KELLEMS, R.O.; 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: 495-502
67. VAN HEUGTEN, E.; 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
68. 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.
69. VERGARA. L., J.; ARAUJO. F., O.; LACHMAM, M.; TROCONIS, Y. 2002. Degradabilidad ruminal de la harina de plumas en novillos mestizos tropicales. *Revista Científica.* 22: 505-507
70. WANG, X.; PARSONS, C.M. 1997. Effect of processing systems on protein quality of feather meals and hog hair meals. *Poult. Sci.* 76: 491-496
71. WESSELS, J.P.H. 1972. A study of the protein quality of different feather meal. *Poult. Sci.* 51: 537-541
72. WILDER, O.H.; OSTBY, P.C.; GREGORY, B.R.. 1955. The use of chicken feather meal in feeds. *Poult. Sci.* 34: 518-524.

73. WILLIAMS, C.M.; LEE, C.G.; GARLICH, J.D.; SHIS, J.C.H. 1991. Evaluation of a bacterial feather fermentation product, feather-lysate, as a feed protein. *Poult. Sci.* 70:85-94

VIII. ANEXOS

ANEXO 1:

Composición química de los ingredientes de la ración de referencia

Composición química de los alimentos		
Composición	Maíz	Harina de soja
Materia seca (%)	86,2	88,1
	Base seca (%)	
Ceniza	1,4	6,0
Proteína Cruda	9,4	43,3
Fibra Detergente Neutra	10,9	20,6
Energía Bruta (Mcal/kg MS)	4,9	5,4

Composición en % del Núcleo Terminación SUPRA

Ingredientes	Base Fresca
Humedad máx.	10
Minerales totales	80
Calcio	16-21,5
Fósforo	6,5-8,5
Solubilidad de P en ácido cítrico	90
Sodio	6
Lisina	0,5
Cenizas insolubles	8
Vitaminas	

ANEXO 2

Cuadro 5: Composición porcentual de ingredientes secos en las dietas del E2 (en base seca)

Ingredientes	RR ₂	HQD	HQDL
Maíz	69,5	80,5	80,3
Harina de soja	26,5	15,5	15,5
Núcleo vitamínico mineral	4	4	4
Lisina sintética	-	-	0,25
Total ración seca	100	100	100

RR₂: Ración de referencia;

HQD: ración con hidrolizado químico

HQDL: ración con hidrolizado químico suplementado con lisina

ANEXO 3:

Secuencia de tratamientos para cada animal en el experimento 1

<u>Caravanas</u>	<u>Secuencia</u>
48	1-2-3
30	1-2-3
28	1-2-3
46	2-3-1
27	2-3-1
31	2-3-1
49	3-1-2
29	3-1-2
47	3-1-2

Secuencia de tratamientos para cada animal en el experimento 2

<u>Caravanas</u>	<u>Secuencia</u>
8	1-2-3
10	1-2-3
14	1-2-3
47	3-1-2
29	3-1-2
49	3-1-2
24	2-3-1
12	2-3-1
9	2-3-1

ANEXO 4:

Peso Vivo al inicio de cada prueba en el experimento 1

<u>Nº de Caravana</u>	<u>T1</u>	<u>T2</u>	<u>T3</u>
48	41.5	-	53.8
30	44	50	55.7
28	46.5	52.5	60
46	49.5	55.4	43.5
27	49	54.7	44
31	52	58.9	44.5
49	53.5	40.5	47.5
29	51	-	43
47	57.8	43.5	51

Peso Vivo al inicio de cada prueba en el experimento 1

Nº de Caravana	T1	T2	T3
8	38	41	44
10	40	44.5	44.5
14	38	40.5	44.5
47	44	44.5	49.5
29	38	39.5	45
49	38	39	43.5
24	38	41	45
12	40	42	46.5
9	38	41	43.5

ANEXO 5:

Los siguientes cuadros presentan los Análisis de Varianza para cada una de las variables determinadas en E1.

1. Digestibilidad de la Materia Seca (DMS)

Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	F
Tratamiento (T)	2	< 0,0001
Período (P)	2	0,0371
T x P	4	0,2248
Error	10	0,0151

Valores del experimento para la variable DMS

Media general	80,7
Coefficiente de variación	1,7

2. Digestibilidad Aparente de la Proteína Cruda (DPC)

Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	F
Tratamiento (T)	2	< 0,0001
Período (P)	2	0,5826
T x P	4	0,5666
Error	10	0,0111

Valores del experimento para la variable DPC

Media general (X..)	66,6
Coefficiente de variación	6,3

3. Digestibilidad de la Materia Orgánica (DMO)

Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	F
Tratamiento (T)	2	< 0,0001
Período (P)	2	0,0511
T x P	4	0,1583
Error	10	0,0132

Valores del experimento para la variable DMO

Media general	81,8
Coefficiente de variación	2,9

4. Digestibilidad de la Energía (DE)

Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	F
Tratamiento (T)	2	< 0,0001
Período (P)	2	0,1973
T x P	4	0,2368
Error	10	0,0107

Valores del experimento para la variable DE

Media general	79,5
Coefficiente de variación	5,6

ANEXO 6

Los siguientes cuadros presentan los Análisis de varianza para las Digestibilidades obtenidas por diferencia

1. Digestibilidad de la Materia Seca (DMS)

Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	F
Tratamiento (T)	1	0,0003
Período (P)	2	0,0864
T x P	2	0,1597
Error	4	0,0565

Valores del experimento para la variable DMS

Media general	52,9
Coefficiente de variación	16,6

2. Digestibilidad de la Proteína Cruda (DPC)

Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	F
Tratamiento (T)	1	0,0012
Período (P)	2	0,0722
T x P	2	0,0659
Error	4	0,0127

Valores del experimento para la variable DPC

Media general	46,7
Coefficiente de variación	21,9

3. Digestibilidad de la Materia Orgánica (DMO)

Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	P > F
Tratamiento (T)	1	0,0008
Período (P)	2	0,0391
T x P	2	0,0709
Error	4	0,0564

Valores del experimento para la variable DMO

Media general	47,2
Coefficiente de variación	21,6

4. Digestibilidad de la Energía (DE)

Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	P > F
Tratamiento (T)	1	0,0016
Período (P)	2	0,0707
T x P	2	0,1335
Error	4	0,0655

Valores del experimento para la variable DMS

Media general	54,0
Coefficiente de variación	16,6

ANEXO 7

Resultados del análisis estadístico para la ración de referencia en E1 y E2

1. Medias ajustadas y su valor de probabilidad

	RR ₁	RR ₂	P > F
DapMS	87,3 ± 3,5 A	86,6 ± 3,0 B	0,508
DapPC	86,9 ± 3,9 A	84,5 ± 3,4 B	0,185
VBap	67,5 ± 3,6 A	71,5 ± 3,2 B	0,341
VPN	59,7 ± 5,3 A	60,4 ± 4,7 A	0,588

ANEXO 8

Los siguientes cuadros presentan los Análisis de Varianza para cada una de las variables determinadas en el E2.

1. Digestibilidad de la Materia Seca (DMS)

Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	F
Tratamiento (T)	2	0,2037
Período (P)	2	0,0038
T x P	4	0,6121
Error	12	

Valores del experimento para la variable DMS

Media general	86,3
Coefficiente de variación	1,7

2. Digestibilidad Aparente de la Proteína Cruda (DPC)

Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	F
Tratamiento (T)	2	<< 0,0001
Período (P)	2	< 0,0001
T x P	4	0,0312
Error	12	

Valores del experimento para la variable DPC

Media general	76,8
Coefficiente de variación	3,5

3. Valor Biológico aparente (VB)

Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	F
Tratamiento (T)	2	0,0022
Período (P)	2	0,5773
T x P	4	0,0562

Error	12
-------	----

Valores del experimento para la variable VB

Media general	55,7
Coefficiente de variación	23,3

4. Valor Proteico Neto (VPN)

Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	F
Tratamiento (T)	2	0,0003
Período (P)	2	0,4995
T x P	4	0,0308
Error	12	

Valores del experimento para la variable VPN

Media general	43,7
Coefficiente de variación	24,3

5. Balance de Nitrógeno

Fuente de variación	Grados de libertad	F
Tratamiento (T)	2	0,0006
Período (P)	2	0,4976
T x P	4	0,0326
Error	12	

Valores del experimento para la variable VPN

Media general	63,5
Coefficiente de variación	24,7