

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE ZOOTECNIA



**UTILIZACION DE LA HARINA DE PLUMAS EN LA ALIMENTACION
DE AVES**

Presentado por:

Freddy Adolfo Hilacondo Reyna

**TRABAJO MONOGRAFICO PARA OPTAR EL TITULO
DE INGENIERO ZOOTECNISTA**

LIMA – PERU

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA

UTILIZACION DE LA HARINA DE PLUMAS EN LA ALIMENTACION
DE AVES

Trabajo Monográfico para optar por el título de:
INGENIERO ZOOTECNISTA

Presentado por:

FREDDY ADOLFO HILACONDO REYNA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

M.Sc. Víctor Vergara Rubín

Presidente

M.Sc. Gloria Palacios Pinto

Miembro

Dra. Gladys Carrión Carrera

Miembro

Ph.D. Carlos Alfredo Gómez Bravo

Patrocinador

A Julia Rosa Reyna Mendoza, una mujer
extraordinaria y madre ejemplar.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por darme el apoyo y la educación que
hoy se reflejan en este trabajo.

A mi hermana, por quererme tanto.

Al Dr. Carlos Gómez, por los consejos y tratar
siempre que salga adelante.

A Melisa, Diana, Cristina, Silvia y Techy; sin ustedes.
esto no hubiese sido posible.

A Carlos, Jhon, Álvaro, Domingo, Fiorella, Berenice,
Sandra, Cynthia, Diana, Ada, Yabely y Yahir, amigos
de hoy y siempre que han influido mucho en mi vida.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

INDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS

INDICE DE FIGURAS

RESUMEN

	PAG.
I. INTRODUCCION	1
II. DESARROLLO DEL TEMA	2
2.1 Valor Nutricional de la harina de plumas	2
2.1.1 Harina de plumas	2
2.1.2 Proceso de preparación de la harina de plumas	3
2.1.3 Método convencional: Hidrólisis de la pluma	5
2.1.4 Método alternativo: Hidrólisis enzimática	9
2.2 Uso potencial de la harina de plumas	12
2.3 Energía Metabolizable de la harina de pluma	15
2.3.1 La Energía	15
a. Energía bruta	16
b. Energía metabolizable aparente	16
c. Energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno	16
d. Energía metabolizable verdadera	16
2.3.2 Determinación de la energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno de la harina de plumas convencional y de la harina de plumas con tratamiento enzimático	17

III.	CONCLUSIONES	24
IV.	RECOMENDACIONES	25
V.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	26

INDICE DE CUADROS

	PAG.
Composición nutricional de la harina de pluma hidrolizada, según varias referencias literarias	7
2 Composición de aminoácidos obtenidos con queratinasa dimerica del <i>Bacillus licheniformis</i> y comparación otros reportados	13
3 Producción potencial de harina de pluma en el país	15
4 Composición Nutricional de la Harina de pluma convencional y de la Harina de pluma con enzimas	19
5 Composición porcentual y nutricional calculado de las raciones utilizadas en el ensayo biológico	20
6 Determinación de la Energía Metabolizable Aparente Corregida por Nitrógeno de la Harina de Plumas convencional y de la Harina de Plumas con Hidrólisis Enzimática por el método de colección total.	22

INDICE DE FIGURAS

	PAG
1 Diagrama de flujo que muestra la producción de harina de plumas hidrolizada convencionalmente y harina de plumas hidrolizada con tratamiento enzimático	5
2 Comparación entre el proceso convencional y enzimático de la fabricación de harina de pluma.	10
3 Partición de la energía ingerida en el ave.	18

RESUMEN

El presente trabajo evalúa la posibilidad del uso de la harina de plumas en la alimentación de aves, a partir de su preparación tradicional y de una opción alternativa con uso de enzimas que podría mejorar la calidad de esta con su respectivo impacto en la performance animal.

Para un mejor desarrollo del tema, este se ha dividido en 3 partes. En la primera se hace una revisión general de la harina de pluma y de su valor nutricional, principalmente en proteína y energía, comparando los diferentes valores que muestra la literatura al respecto. La segunda abordó el uso de este insumo en la alimentación de aves, niveles de uso, y se obtuvo un valor de oferta potencial del insumo (2103 TM mensuales) de acuerdo a estadísticas actuales y considerando a la crianza de pollo la más difundida a nivel nacional. Finalmente se calculó la energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno (EMAn) para la harina de plumas convencional (HPC) y con enzimas (HPE), a partir de un ensayo biológico con pollos de la línea Ross por 4 semanas. Se obtuvieron valores de EMAn de 3.122 Mcal/Kg y 3.417 Mcal/Kg., para HPC y HPE respectivamente.

Palabras clave: Harina de pluma, harina de pluma convencional, harina de pluma con enzimas, energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno, enzimas queratinazas, alimentación de aves.

I. INTRODUCCION

En el Perú la crianza más difundida a nivel nacional es la de pollos. La alimentación para esta crianza depende en su mayoría de insumos importados, como lo son el maíz y la torta de soya, lo que la convierte en dependiente de precios internacionales. Teniendo en cuenta esta realidad, es importante el encontrar insumos nacionales que puedan reemplazar en algún porcentaje a los importados, y que permitan al productor tener más opciones ante una eventual escasez o alza de precios de estos y el presente trabajo pretende mostrar la posibilidad del uso de la harina de plumas en la alimentación pollos, a partir de el gran potencial que tiene el país de fabricarla, y como uso estratégico frente al gran consumo de insumos proteicos importados.

La harina de plumas es un insumo con un alto contenido proteico (80 -85 por ciento) cuyo principal limitante es la calidad de proteína. Esta es naturalmente muy indigestible por el tipo de estructura que presenta. El proceso de hidrólisis, al que convencionalmente está sometida (altas presiones y temperaturas) intenta mejorar su calidad, sin embargo, por la misma naturaleza del proceso, no es suficiente. Una alternativa para mejorar su calidad es incluir enzimas al proceso, de tal manera que no sea necesario llegar a tan altas temperaturas, y así no deteriorar la proteína. Sin embargo, para poder incluir este insumo en formulaciones de dietas típicas de pollos, debemos conocer los valores de proteína y digestibilidad de la misma, así como la energía metabolizable. Esta la podemos hallar por dos maneras, utilizando fórmulas de estimación, o mediante pruebas biológicas, siendo la segunda más trabajosa, pero más precisa.

OBJETIVOS

Definir el nivel nutricional de la harina de plumas y su potencial utilización como insumo proteico alternativo en la crianza de pollos.

Evaluar el uso de enzimas en el proceso de preparación de harina de plumas convencional y como esto influye sobre su contenido nutricional.

II. DESARROLLO DEL TEMA

2.1 VALOR NUTRICIONAL DE LA HARINA DE PLUMAS

2.1.1 HARINA DE PLUMAS

La harina de plumas es un insumo proteico (81 a 86 por ciento de proteína bruta) muy rico en α queratina. Esta proteína se caracteriza por su fuerte estructura secundaria y terciaria, con una elevada proporción de puentes disulfuro entre residuos de cistina. Su resistencia la debe a la riqueza en cisteína (8.8 por ciento de la proteína) la cual le confiere, después de la formación de puentes inter e intra-catenarios de tipo covalente (puentes disulfuro), una estructura terciaria en forma de hélices entrelazadas. Debido a su concentración en aminoácidos con grupos hidrofóbicos (fenilalanina, isoleucina, valina y alanina), su solubilidad en agua es muy baja (pertenece al grupo de la escleroproteína). Como consecuencia y pese a la ausencia de factores antinutritivos, la α -queratina en estado natural es muy poco digestible (menor al 5 por ciento). Se ha estimado que aproximadamente de 85 a 90 por ciento de la proteína de la pluma proviene de la queratina (Moran *et al.*, 1966 citado por Mendoza R). Sin embargo, cuando la pluma es adecuadamente hidrolizada, el material contiene aproximadamente 85 por ciento de proteína de la cual por cierto es digestible (Mendoza R., 2008, FEDNA, 2003), dependiendo de una mayor o menor ruptura de enlaces disulfuro (Bielorai et al., 1982).

La proteína hidrolizada de la pluma ha sido pobremente considerada en el pasado por los nutricionistas en todas partes del mundo. La variabilidad del producto respecto a su digestibilidad y la escasa presencia de aminoácidos esenciales justifican estas opiniones. Sin embargo el alto nivel de proteína cruda y el alto nivel de ciertos aminoácidos importantes pueden valorarse para determinadas especies (Woodgate, 2007).

Su uso es limitado en pollos, a pesar de tener un alto porcentaje de proteína cruda. Se han reportado bajas ganancias de peso cuando su uso es mayor a 9 por ciento en las raciones (Morris and Bollum, 1973). Una de las principales razones podría ser por el desbalance de aminoácidos esenciales que presenta, sin embargo, conocer su digestibilidad también es un factor importante a la hora de formular raciones. Según Bielorai et al. (1982), asumir valores altos como 85% de absorción de nitrógeno de la harina de pluma llevó a deprimir el crecimiento en pollos, en dietas balanceadas en aminoácidos en contraposición a lo que sucede al asumir una absorción de nitrógeno del 55 por ciento. Indican también que valores más reales de digestibilidad utilizando el método de digestibilidad in vitro (pepsina) se obtuvieron con concentraciones de 0.002 por ciento de pepsina.

2.1.2 PROCESO DE PREPARACIÓN DE LA HARINA DE PLUMA

Para que las plumas puedan ser usadas en alimentación animal, estas deben ser sometidas a un proceso de hidrólisis a fin de obtener aminoácidos libres o péptidos. Uno de los procedimientos utilizados consiste en someter las plumas a condiciones de elevada presión (3,2 atmósferas) y temperatura (146 °C) durante el periodo de tiempo necesario (alrededor de 30 minutos), obteniéndose finalmente una harina de plumas con un alto nivel de proteína bruta (De Blas *et al.*, 2003). Sin embargo, las condiciones de procesamiento que incorporan tratamientos a presión generalmente disminuyen el valor nutritivo de las harinas proteínicas resultantes (10 a 15 por ciento) con excepción de aquellos tejidos con alto contenido de queratina (Pearl, 2005; citado por Velásquez, 2008).

La elección adecuada de condiciones de tiempo de cocción y temperatura resulta en harina de plumas de mejor calidad (Moran, 1996 citado por Mendoza et al., 2000). Según Davis *et al* en 1961 y McCasland en 1965 citado por Mendoza R. en el 2000, la pluma cruda contiene solo 16 por ciento de proteína digestible (digestibilidad in Vitro por pepsina), pero al someter a la pluma a un cocimiento bajo presión en autoclave, el valor de proteína digestible se incrementaba a medida que se aumentaba la presión y el tiempo (30 lbs, 30 min = 64%, 60 lbs, 20 min. = 72%, 30 Lbs, 4 hrs = 83%). Sin embargo otros autores argumentan que la digestibilidad de las proteínas aumenta principalmente por la presión (Sullivan y Stephenson,

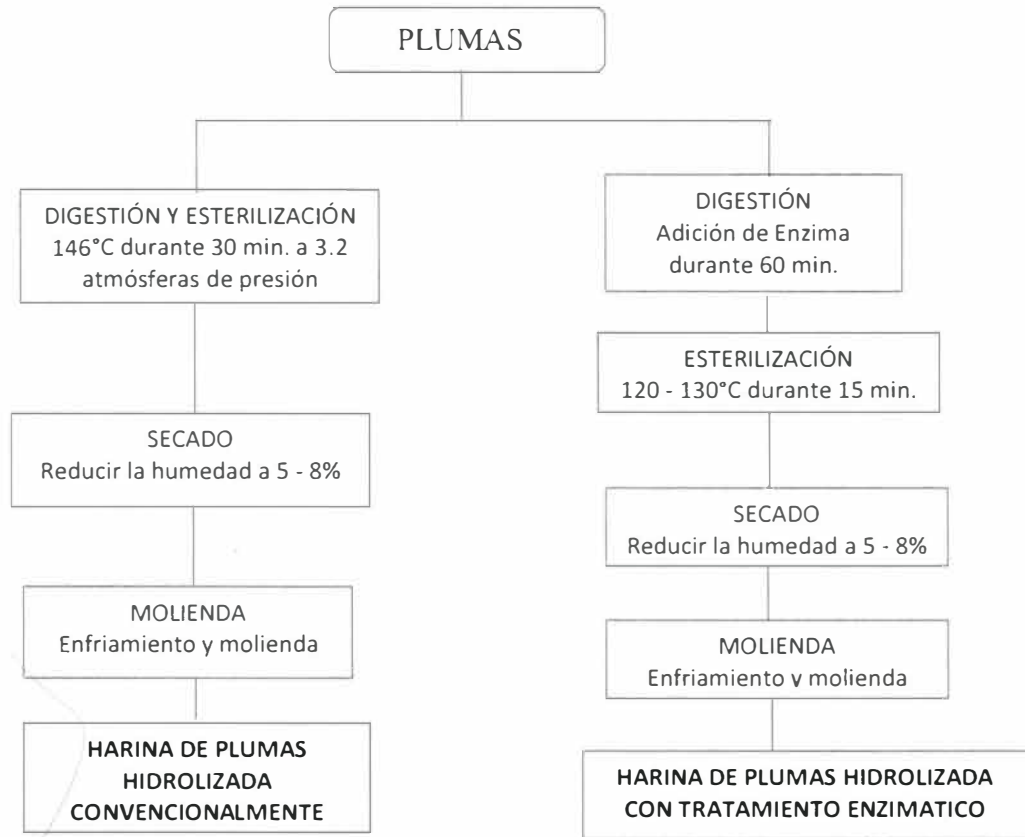
1957 citado por Mendoza et al., 2000) mientras que el tiempo y la adición de químicos afectan negativamente la digestibilidad de los aminoácidos de la pluma (Papadopulos *et al.*, 1985 citado por Mendoza et al., 2000).

Por muchos años, se vienen usando métodos térmicos con alta presión para la obtención de harina de plumas, obteniéndose finalmente una harina con un alto nivel de proteína bruta, pero en diversos estudios se ha podido comprobar que la harina de plumas producida bajo el método de hidrolizado convencional, presenta un pobre balance de aminoácidos, baja disponibilidad y elevada variabilidad. Debido a esto se desarrolló el método de hidrólisis mediante enzimas, que permitió mejorar las características nutricionales (energía metabolizable, proteína y aacs) del producto final, permitiendo ampliar el rango de uso por especies así como los niveles de inclusión en las dietas de monogástricos (Harvey, 1992).

Harvey (1992), afirma que en el método convencional de cocido al vapor y alta presión, se produce de manera inevitable una pérdida del valor nutricional y, en cambio al utilizar el método de hidrólisis parcial de las plumas con una mezcla enzimática se conserva prácticamente todo el potencial nutritivo de éstas. Barbour *et al.*, (2002), realizaron un estudio con una mixtura de enzimas (proteasas, lipasas) derivados del *Aspergillus niger*, concluyendo que la predigestión de plumas de pavos antes del tratamiento térmico mejoró la calidad nutricional de las plumas en ensayos de crecimientos en aves.

A continuación en la Figura 1, se muestran los dos tipos de procesos para la obtención de la harina de plumas, el método de hidrolizado convencional y el método de hidrolizado con tratamiento enzimático.

Figura 1: Diagrama de flujo que muestra la producción de harina de plumas hidrolizada convencionalmente y harina de plumas hidrolizada con tratamiento enzimático



FUENTE: Alltech, 1998

2.1.3 MÉTODO CONVENCIONAL: HIDRÓLISIS DE LA PLUMA

El método tradicional es el de hidrólisis por cocción con vapor. Por definición, el hidrolizado de pluma es el producto del tratamiento bajo presión de plumas limpias y enteras que provienen de aves sacrificadas. Las plumas son cocidas en hornos calentados por vapor que pasa entre las paredes de estos. Este procedimiento implica varias combinaciones de presión, temperatura y tiempo. Esta cocción bajo presión es actualmente la única tecnología útil a nivel industrial y tiene como función principal romper las cadenas proteicas en elementos más pequeños. Para ser eficaz este método supone que ciertos parámetros determinados, tales como temperatura, duración de la cocción y presión sean respetados, ya

que su variación influye sobre el valor nutricional del producto final. Además, según Bureau (2008) el secado del proceso también puede afectar negativamente la digestibilidad y calidad de la proteína, señalando que lo óptimo es hacer un secado con tubo de vapor, en vez de utilizar un secador de anillos o de discos.

Una limitación al uso de la harina de plumas hidrolizada en alimentación animal es su desequilibrio en aminoácidos esenciales. Tiene una concentración muy alta de valina y alta en treonina y arginina, pero es deficitaria en metionina, lisina, triptófano e histidina, como se puede observar en los distintos valores reportados en el Cuadro 1.

Se comprueba en el Cuadro 1, que las harinas de pluma son ricas en cistina, treonina, arginina y valina, pero deficiente en cuatro aminoácidos esenciales: lisina, metionina, histidina y triptofano. Por este motivo, cuando este subproducto se utiliza como parte de las dietas en alimentación de animales monogástricos se debe suplementar con esos aminoácidos esenciales (Fernández y Benito, 2008).

La harina de plumas tiene un escaso contenido de carbohidratos, pero su nivel de grasa es apreciable (Alrededor de 5.8 por ciento). Su concentración media de ceniza es de un 1.1 a 4 por ciento. El contenido de ceniza insoluble en HCl, indicativo de presencia de arena o tierra (no debería pasar de 3.4 por ciento).

Por otra parte, las condiciones de procesamiento varían con respecto al tipo particular de plumas (edad del ave y región corporal) y la especie. Debido a esta variabilidad la harina de Pluma tiene en general una composición poco fiable, por lo cual se limita su utilización subvaluando su potencial. (Gill, 1989 citado por Mendoza et al., 2000).

A pesar de los diferentes procedimientos físicos y químicos que se han desarrollado para hacer de la pluma un ingrediente útil en términos nutricionales, su aplicación industrial no siempre se ha concretado, ya sea por el valor del producto obtenido, o bien por los problemas tecnológicos y económicos que implican su transformación (Menassa, 1982 citado por Mendoza et al., 2000).

Cuadro 1. Composición nutricional de la harina de pluma hidrolizada

Nutriente	FEDNA 2003	NRC (Poultry) 1994*	NRC (Dairy Cattle) 2001*	Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos (2005)	Manual Allzime FD (Alltech) (2007)	Zagaceta – UNALM (2010)
	%	%	%	%	%	%
Materia Seca	93.0	93.0	93.3	90.71	94.1	94.7
Proteína Cruda	83.9	81	85.8	83.9	86.6	82.18
Fibra Cruda	1.0	1	0	0		0
Extracto Etéreo	6.0	7	4.29	4	7.6	2.96
Ceniza	2.2	--	3.27	--	2.3	5.01
Calcio	0.23	0.33	0.31	0.29	--	--
Fósforo	0.60	--	0.47	0.74	--	--
Lisina	1.97	2.28	2.39	2.40	1.82	2.4
Metionina	0.64	0.57	0.70	0.67	0.48	0.7
Metionina-Cistina	4.87	--	--	4.05	3.65	2.3
Treonina	4.41	3.81	4.41	3.86	3.77	4.2
Isoleucina	4.45	3.91	4.53	3.92	3.65	6.4
Valina	6.67	5.93	7.02	6.00	5.64	8.4
Triptofano	0.58	0.55	0.68	0.58	--	--
Cistina	--	4.34	4.75	--	3.18	--
Histidina	--	0.95	1.07	1.13	--	--
Arginina	--	5.57	6.47	5.57	5.51	10.4
Energía Metabolizable (Mcal/Kg.)	2.7	2.36	--	2.73	3.23	--

*Aminoácidos expresados como porcentaje de la Proteína Cruda
Elaboración Propia

La mayor digestibilidad de la pluma hidrolizada confirma que los productos resultantes del proceso son más susceptibles a la hidrólisis enzimática que la pluma cruda. Este aspecto también ha sido demostrado por otros autores (Davis et al., 1961; Draper, 1944, en McCasland, 1965 citado por Mendoza et al., 2000). La razón probable son cambios en la estructura de la queratina, principalmente el clivaje de los puentes disulfuro de la cys.

Las grandes variaciones en la digestibilidad proteica de los subproductos avícolas pueden deberse, en muchos casos, a la variabilidad en la calidad de los ingredientes, además del hecho de que los sistemas y condiciones de procesamiento varían igualmente entre los rastros e industrias de segunda transformación (Bureau, 1996 citado por Mendoza R.). De aquí que la disparidad en las características de las harinas de pluma provenientes del sector industrial se atribuyan no solo a factores relacionados con el procesamiento mismo (duración de la cocción, temperatura, presión), sino también a las condiciones de almacenamiento antes y después del tratamiento (Papadopulos et al, 1985 citado por Mendoza R., 2000).

A esto cabe añadir que no obstante registrarse un aumento en la digestibilidad en el caso de la hidrólisis de mayor tiempo y con temperaturas más elevadas, no necesariamente confiere beneficios ya que la hidrólisis actúa sobre todos los componentes del subproducto y se acompaña de la destrucción de ciertos aminoácidos lo que hace disminuir la eficiencia proteica (Lyons, 1992 citado por Mendoza R. 2000). Inversamente, una hidrólisis insuficiente se traduce en una digestibilidad muy baja (Menassa, 1982 citado por Mendoza R., 2000).

Según Barvour *et al.* (2002), la harina de plumas contiene un alto contenido de aminoácidos sulfurados en una relación de 6 a 1 de cisteína y metionina respectivamente (Liu *et al.*, 1989; Han y Parsons, 1991; NRC, 1994) del cual 52 por ciento de la cisteína está disponible para la digestión y absorción (Baker *et al.*, 1981). Bajo condiciones de exposiciones prolongadas a alta presión y temperatura durante un proceso comercial, cierta cantidad de cisteína se convierte en un aminoácido sulfurado atípico denominado lantionina (Baker *et al.*, 1981), se ha reportado que la lantionina es absorbida parcialmente por los pollos, además altos niveles de lantionina decrecen la disponibilidad de aminoácidos (Baker *et al.*, 1981; Han y Parson, 1991). Además la lantionina presente en la harina de plumas puede ser un indicador

razonable del daño en digestibilidad de aminoácidos por su relación inversamente proporcional (Papadopoulus, 1984).

2.1.4 MÉTODO ALTERNATIVO: HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA

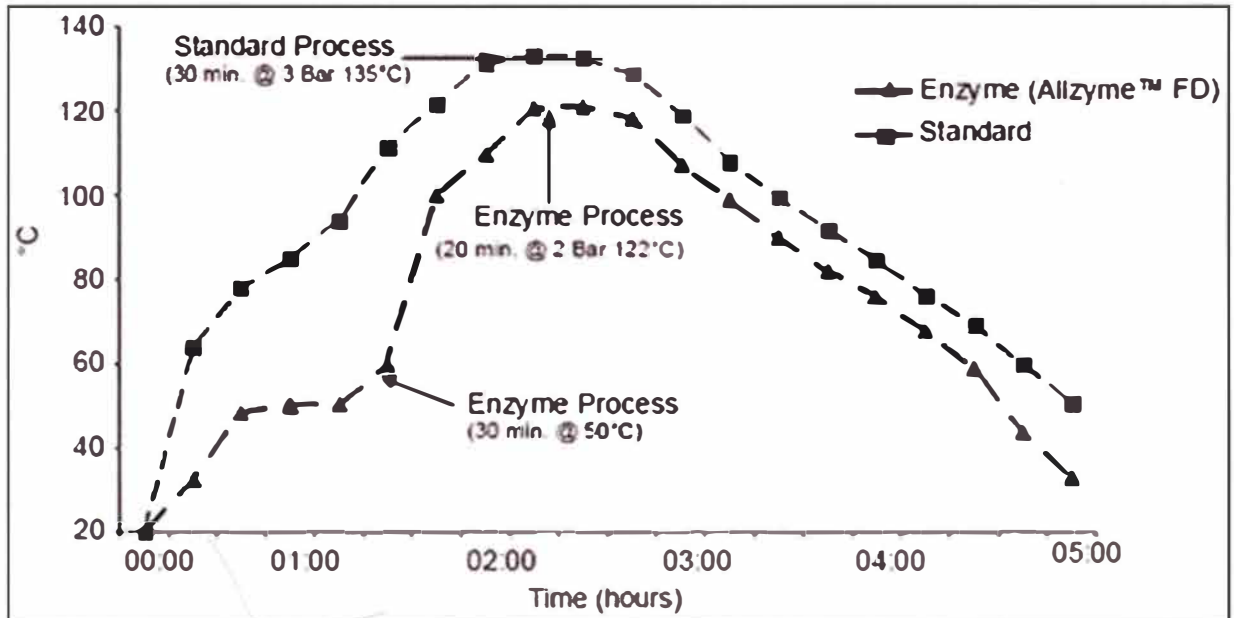
Aunque resulta fácil solubilizar totalmente la queratina de la pluma por medios exclusivamente químicos, se trata en general de tratamientos drásticos que provocan la pérdida de aminoácidos y una profunda desnaturalización proteica. Por otra parte, la adición de diferentes reactivos no aporta una mejoría notable dentro del proceso. En contraste con lo anterior, al utilizar el método de hidrólisis parcial de las plumas con una mezcla enzimática se conserva prácticamente todo el potencial nutritivo de estas. El producto final es un ingrediente proteico estable, esterilizado, con una digestibilidad de hasta el 90 por ciento y una humedad variable de 12 a 14 por ciento (Gill, 1989 citado por Mendoza R., 2000).

La originalidad de la hidrólisis enzimática reside en la asociación de factores físico-químicos y enzimáticos a niveles en los cuales los efectos desnaturalizantes sobre las proteínas queratínicas no son alcanzados.

La Figura 2 muestra una comparación entre el proceso convencional y el enzimático. En este se puede apreciar que el proceso enzimático requiere menos presión y temperatura que el convencional, además de un menor tiempo de exposición a altas temperaturas. Esto puede significar un mejor tratamiento a la proteína al verse expuesta a condiciones menos drásticas.

Para llevar a cabo la hidrólisis enzimática generalmente se emplean concentrados enzimáticos comerciales, los cuales contienen una mezcla de enzimas de amplio espectro, que incluyen: proteasas alcalinas diversas, amilasas, celulosa, lipasa, extracto de fermentación de *Bacillus subtilis*, gumasas y pectinasas obtenidas de la fermentación de *Rhizopus sp.* La mezcla es en general de alta potencia ya que solo se necesitan aproximadamente 25 Kg. para hidrolizar una tonelada de pluma húmeda (Nabil, 1993 citado por Mendoza R.).

Figura 2: Comparación entre el proceso convencional y enzimático



Woodgate, 2007

El proceso requiere de una secuencia de actividades esenciales basadas en la remoción inicial de agua para reducir la cantidad de material que se manejará, la necesidad de retener 50% de la humedad para una adecuada hidrólisis, y un paso de esterilización antes de terminar el producto para su estabilidad y manejo final (Harvey, 1992 citado por Mendoza R. 2000).

Es preciso señalar que las proteasas (o peptidasas – Nomenclatura bioquímica: EC 3.4) son todas aquellas enzimas que pueden hidrolizar enlaces peptídicos, de acuerdo a la IUBMB (Unión Internacional de Bioquímica y Biología Molecular por sus siglas en inglés); sin embargo las queratinasas (Nomenclatura bioquímica: EC 3.4.21/24/99.11) son tipos de proteasas de mecanismo catalítico desconocido, por lo general serina o metalo proteasas, capaces de degradar la estructura de conformación de la queratina (Gupta y Ramnani, 2006).

La predigestión enzimática (con una mixtura de proteasas y lipasas) mejoró la calidad nutricional de la harina de plumas de pavos cuando se comparó con harina de plumas no tratada. Además la harina de plumas tratada enzimáticamente fue similar a una harina de plumas comercial en un ensayo de crecimiento de pollos pero fue superior a la harina de

plumas comercial con respecto a la disponibilidad de aminoácidos cuando se evaluó en pruebas de alimentación de precisión con gallos (Barbour *et al.*, 2002).

Lee *et al.* (1991), reportaron el uso de enzimas queratinasas como un aditivo, las queratinasas fueron preparadas de *Bacillus licheniformes*, encontrando que la adición de queratinasas incrementó la digestibilidad total de los aminoácidos de la pluma cruda de 30 a 66 por ciento y el de harina de pluma comercial de 77 a 99 por ciento. En los posteriores 8 días del experimento la ganancia diaria de peso a las 3 semanas de edad fue 66 g, 50g, y 56 g por día, para los tratamientos con harina de soya, harina de plumas comercial, y usando queratinasas como aditivo, respectivamente. Concluyendo que para ambos experimentos la adición de queratinasas incrementa el valor nutricional de la harina de plumas.

Un análisis proximal puede no revelar mayores diferencias al comparar el proceso convencional y el enzimático. En realidad, gran parte del valor agregado por el procesamiento enzimático debe ser considerado utilizando otras evaluaciones tales como, digestibilidad *in vitro*, respuesta *in vivo* o *performance* animal que deben involucrar tanto el costo económico, consumo, mortalidad, conversión alimentaria y crecimiento (Woodgate, 2007).

Estas enzimas se utilizan ampliamente en la alimentación animal desde hace poco tiempo, sobre todo en animales monogástricos como cerdos y aves. Son proteínas de estructura dimensional sumamente complejas, actúan en condiciones muy concretas de temperatura, pH, humedad y únicamente sobre sustratos específicos (Quispe, 1999; Chaupis, 2003; citado por Saavedra, 2008). Dado que las enzimas son compuestos proteicos con una reducida estabilidad hidrotérmica en comparación con otros aditivos, en la preparación de alimentos balanceados para animales, se deben aplicar procedimientos cuidadosos (Alltech, 2004).

En el 2010, Agrahari y Wadhwa lograron aislar 3 bacterias con potencial queratinolítico, colectados de una muestra de suelo de la zona de Ghazipur en un vertedero de residuos de una planta de procesamiento de aves, en India. Estas bacterias fueron *Bacillus megaterium*, *Bacillus thuringensis* y *Bacillus pumilis*, las cuales demostraron tener alta

actividad queratinolítica, degradando en 120 horas por completo la pluma a harina, en condiciones de pH 7.5 y 30 50 °C.

Tiwary y Gupta (2012) utilizaron la queratinasa dimerica del *Bacillus licheniformis* para evaluar la rapidez de la degradación completa de pluma a harina, en condiciones de pH 8, 50 °C y 150 rpm, condiciones mucho menos exigentes que en la industria. Este proceso tardó 8 horas e incluyó un secado a 80 °C. En estas condiciones la harina de pluma obtenida contenía 87.5 por ciento de proteína cruda con todos los aminoácidos esenciales, y una digestibilidad in vitro de 73 por ciento, como se puede notar en el cuadro 2.

2.2 USO POTENCIAL DE LA HARINA DE PLUMAS

Bernal *et al.* (2003) recomienda niveles del 5 por ciento en aves de corral, pero suplementada con aminoácidos, especialmente L-lisina. La harina de plumas también es un buen ingrediente para la alimentación de pavos. Por ejemplo, en una dieta de crecimiento se puede usar del 2 al 4 por ciento (Ruíz, 1999).

Trabajos de Eissler y Firman (1996) concluyen que hasta el 6% de hidrolizado en dietas para pavos no se encuentran diferencias en eficiencia de conversión del alimento. Si el hidrolizado de plumas es la única fuente de proteína deben ser suplementadas con metionina, lisina y triptófano para obtener buenos resultados en ganancia de peso (Moran *et al.*, 1966; citado por Gonzáles, 2007).

En faisanes se observó que al reemplazar la harina de pescado por harina de plumas convencional, la ganancia de peso de los que consumieron harina de plumas fue 1.5 a 6 por ciento menor que el grupo control (Tucak y Klaic, 1997), en broilers la harina de plumas suplementada con metionina y lisina puede reemplazar completamente a la harina de pescado y en un 75por ciento a la soya (Abdella *et al.*, 1996). Vidal *et al.* (2000); citado por Bertsch *et al.* (2003) recomienda un uso limitado de harina de plumas hidrolizado convencionalmente entre 4 a 5 por ciento en las raciones de pollos de engorda, debido a que presentan deficiencias por su bajo contenido y digestibilidad de aminoácidos esenciales.

Cuadro 2: Composición de aminoácidos obtenidos con queratinasa dimerica del *Bacillus licheniformis* y comparación otros reportados

Amino acid	mg/g of feather (present work)	Steam hydrolyzed mg/g feather (Eggum, 1970)	acid hydrolyzed mg/g feather (Eggum, 1970)	mg amino acid/g CP (present work)	mg amino acid/g CP (Grazziotin et al., 2006)
Aspartic acid	51	-	-	55.85	57.8
Glutamic acid	56.1	-	-	61.45	92.2
Serine	73.8	-	-	80.85	108.3
Histidine	65.9	7.2	6.3	72.15	9.3
Glycine	51.05	-	-	55.9	59.6
Threonine	50.9	4.84	4.87	55.75	36.6
Alanine	46.3	-	-	50.7	54.2
Arginine	32.85	2.08	2.3	35.95	84.3
Tyrosine	37.85	2.8	3.11	41.45	32.9
Valine	33.15	7.25	7.73	36.3	85.6
Methionine	31.6	.72	0.76	34.6	17.0
Phenyl alanine	69.95	4.61	4.85	76.6	54.2
Isoleucine	51.85	4.82	5.55	56.8	62.8
Leucine	17.15	8.25	8.27	18.75	66.9
Lysine	14.85	2.08	2.23	16.25	24.1

Tiwary y Gupta, 2012

Según trabajos por Khajarem y Khajarem (1999), reportaron que pollos alimentado con dietas con altos niveles de harina de pluma hidrolizada con tratamiento enzimático (queratinasa); usando niveles de harina de 6 por ciento en inicio y 8 por ciento en acabado tuvieron mejor ganancia de peso, conversión alimenticia y calidad de carcasa, cuando se compararon con aves alimentadas con los mismos niveles de harina de plumas hidrolizada convencionalmente en dietas de inicio y acabado.

En un estudio realizado por Mamani (2009) reportó que codornices alimentadas con dietas con niveles de 4 y 8 por ciento de la harina de plumas hidrolizada con tratamiento enzimático, generó una mejor conversión alimenticia en comparación con las dietas con harina de plumas hidrolizadas convencionalmente. Cabe resaltar que en nuestro país, el uso de harina de plumas hidrolizadas con tratamiento enzimático, no está difundido.

En el Perú, la disponibilidad de plumas es alta, ya que el consumo per cápita del peruano es aproximadamente de 30 kilos de pollo al año. Solo entre los años 2010 y 2011 se comercializaron en Lima Metropolitana 515192 y 518877 toneladas de pollo respectivamente, 5.8 por ciento en promedio más que el 2009. El Censo Agropecuario del 2012 señala un incremento del 68.6 por ciento respecto al último censo de 1994, con una población de 121 394 062 aves de corral de las cuales el 75.8 por ciento son pollos de engorde (INEI 2013). En el mes de Julio del 2013 el volumen comercializado llegó a 126563 toneladas de pollo (INEI 2013), lo que permite aproximadamente 7594 TM de plumas mensual disponible para la elaboración de harina de pluma, , tanto en plumas obtenidas tras beneficio en camal y en mercados.

Experiencias en elaboración de este insumo en la empresa de procesamiento de harina de plumas Agroindustrias Los Ferroles el año 2009, determinaron un rendimiento de 27.77 por ciento, teniendo como referencia que por cada 60 TM de pluma con 75 por ciento de humedad (18 TM de pluma seca) se obtiene 5 TM de harina de plumas. Con todos los datos recogidos, se elabora el Cuadro 3, en el cual se puede observar un estimado de la producción potencial de harina de pluma en el país.

Cuadro 3: Potencial producción de Harina de Pluma

Volumen de pollo comercializado (animales en pie)	Pluma disponible para fabricación de Harina de Plumas		Producción potencial de Harina de Plumas
	TM/mes	%	TM/mes
126,563	6	7,594	2,103

Elaboración propia

Finalmente, Zagaceta (2010) en su ensayo sobre niveles de uso de la harina de plumas con o sin tratamiento enzimático, establece que el uso de estos insumos hasta un 3% no afecta la performance productiva en pollos en engorde.

2.3 ENERGÍA METABOLIZABLE DE LA HARINA DE PLUMAS

2.3.1 LA ENERGÍA

La energía no es un nutriente, si no la propiedad de producir energía que tiene los nutrientes al ser oxidados durante su metabolismo. (NRC 1994). En general se cree que los valores de energía metabolizable son propiedades de la dieta, sin embargo, es una característica de los animales en relación a la dieta (McNab, 2000, citado por Nunes et al., 2005).

La energía es uno de los factores más importantes en la formulación de raciones, debido a que interviene directamente en el rendimiento de los pollos de engorde siendo considerado también uno de los elementos más caros en las raciones de esta especie. Así para mayor precisión en la formulación de raciones se vuelve muy necesario estimar el valor correcto de energía metabolizable de los alimentos (Nascimento et al., 2002).

Durante las primeras épocas de la investigación nutricional en avicultura se produjo un debate sobre el sistema preferido para describir el contenido de energía disponible en los ingredientes. Las determinaciones de energía digestible no fueron favorecidas debido a los problemas prácticos para separar los componentes intestinal y urinario de la excreta, así que la

mayoría del debate se centró en los méritos relativos entre los sistemas de energía neta y energía metabolizable (Pirgozliev y Rose, 1999, citados por Verastegui, 2007).

a. Energía bruta (EB).-

También conocida como calor de combustión. Es la energía liberada como calor, cuando una sustancia es completamente oxidada a dióxido de carbono y agua. (NRC 1994).

b. Energía metabolizable aparente (EMA).-

Es la energía bruta del alimento consumido, menos la energía bruta contenida en las heces, orina y productos gaseosos de la digestión. En aves los productos gaseosos de la digestión son usualmente despreciables, por tanto la energía metabolizable representa la energía bruta del alimento consumido menos la energía bruta de las excretas (NRC 1994).

c. Energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno (EMAn).-

La EMA no permite generar comparaciones entre aves de diferentes niveles productivos o distintas retenciones proteicas, por esta razón se utiliza una corrección de estos métodos para la retención nitrogenada, permitiendo así comparar diferentes animales y mejorando la precisión de estas medidas. Para esto se debe hacer una determinación del balance nitrogenado analizando el contenido de éste en el alimento y en las heces fecales (Correa et al., 2009).

d. Energía metabolizable verdadera (EMV).-

En aves, es la energía bruta del alimento consumido, menos la energía bruta de las excretas del alimento origen. (NRC1994). La EMV toma en cuenta las pérdidas de carácter endógeno que no proceden directamente del alimento ingerido. Esto se refiere a secreciones digestivas, descamaciones intestinales, cuerpos bacterianos, constituyentes nitrogenados procedentes del catabolismo de proteínas, etc (Francesch, 2001). Por esta razón, esta medida no subestima el valor energético de los alimentos cuando hay baja ingesta de alimentos (como es el caso de la

EMA), ya que en los excrementos hay un alto contenido de origen endógeno, por lo que adquiere mayor importancia (Lessire, 2004). Sin embargo, cuando las aves en los ensayos para evaluación de EMA son alimentadas Ad libitum, el valor de EMAn obtenido se aproxima al valor de energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno (EMVn) de la mayoría de ingredientes (NRC 1994).

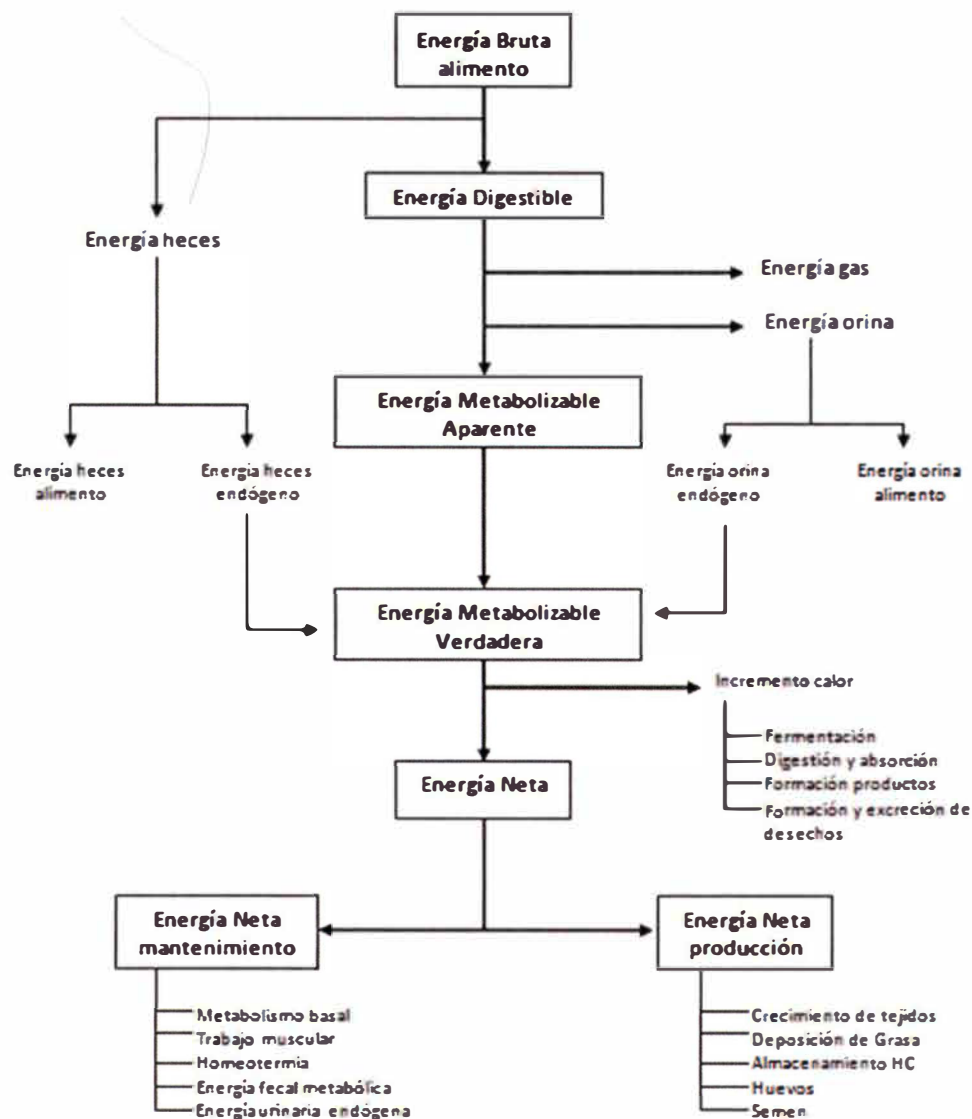
La Figura 2 grafica esquemáticamente la partición de las diferentes fracciones de la energía ingerida por el ave, detalladas líneas arriba.

2.3.2 DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA METABOLIZABLE APARENTE CORREGIDA POR NITRÓGENO (EMAN) DE LA HARINA DE PLUMAS CONVENCIONAL (HPC) Y DE LA HARINA DE PLUMAS CON TRATAMIENTO ENZIMÁTICO (HPE)

Este ensayo se realizó en las instalaciones del laboratorio de Evaluación Biológica del Departamento Académico de Nutrición de la Facultad de Zootecnia de la UNALM. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA), y la preparación del alimento en la planta de alimentos balanceados perteneciente al Programa de Investigación y Proyección Social de Alimentos. Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina

El producto que se evaluó fue harina de plumas preparada con y sin uso de enzimas. El procesamiento de fabricación de harina de pluma hidrolizada consistió en mantener las plumas en un cooker y elevar la presión interna de este a 40 psi por 30 minutos, llegando hasta 120°C. Mientras, en la fabricación de harina de plumas con hidrólisis enzimática se mantienen las plumas en el cooker por un periodo de prehidrólisis enzimática. Es en este periodo que se agregan las enzimas (Allzyme FD® - Alltech) a una temperatura de 50°C a 60 °C., durante 1 hora aproximadamente. Finalmente se eleva la presión interna a 30 psi por 20 minutos a 120°C. El Cuadro 4 muestra el contenido nutricional de las harinas usadas.

Figura 3. Partición de la energía ingerida en el ave



Sibbald, 1982

Cuadro 4: Composición Nutricional de la Harina de pluma convencional (HPC) y de la Harina de pluma con enzimas (HPE)

	Harina de pluma convencional (HPC)*	Harina de pluma con enzimas (HPE)*
Humedad (%)	5,30	4,44
Proteína cruda (%)	82,18	81,76
Extracto etéreo (%)	2,96	5,42
Fibra cruda (%)	-.-	-.-
Ceniza (%)	5,01	3,49

* Base fresca

Fuente: Laboratorio de Evaluación Nutricional del Alimentos (LENA – UNALM – 2010).

Se utilizaron 90 pollos de la línea Ross de 1 día de nacidos para los diferentes tratamientos y sus respectivas repeticiones. Los animales fueron criados en baterías de 5 pisos para pollos de inicio y crecimiento. Cada tratamiento tuvo 3 repeticiones, y cada repetición constó de 10 animales.

Se utilizaron 3 dietas:

- Dieta referencial.
- T1: Dieta utilizando 30 por ciento de Harina de Pluma (Sin enzimas).
- T2: Dieta utilizando 30 por ciento de Harina de Pluma (Con enzimas).

Estos varían en la composición, solo en glucosa por harina de plumas con o sin enzimas, según corresponda. La composición de la ración se muestra en el Cuadro 5, a continuación:

Cuadro 5: Composición porcentual y nutricional calculado de las raciones

	Dieta Referencial	T1: HPC	T2: HPE
Glucosa (%)	50,00	20,00	20,00
Harina de Plumas sin Enzimas (%)	0,0	30,00	0,0
Harina de Plumas con Enzimas (%)	0,0	0,0	30,00
Torta de Soya (%)	37,69	37,69	37,69
Harina de Pescado (%)	5,00	5,00	5,0
Aceite de Pescado (%)	2,89	2,89	2,89
Carbonato de Calcio (%)	1,23	1,23	1,23
Harinilla de Trigo (%)	1,40	1,40	1,40
Fosfato Dicálcico (%)	1,00	1,00	1,00
Sal (%)	0,32	0,32	0,32
DL Metionina (%)	0,27	0,27	0,27
Premezcla Vitamínico Mineral (%)	0,10	0,10	0,10
Cloruro de Colina (%)	0,10	0,10	0,10
Total (%)	100,00	100,00	100,00
EM (Mcal./Kg.)	2,95	2,85	2.90
Proteína Cruda	21,58	46,08	46,00
Lisina	1,33	2,02	1,72
Metionina	0,61	0,81	0,84
Metionina-Cistina	0,91	1,59	1,59
Fósforo Disponible	0,40	0,61	0,61
Calcio	0,80	0,87	0,87

El periodo de evaluación fue de 28 días, divididos en 3 intervalos de 14 días el primero y 7 cada uno de los restantes. El primero de Crecimiento, durante el cual todos los pollos fueron alimentados con la dieta de referencia. El segundo fue de adaptación, es decir, se les suministró a los animales las dietas experimentales. El tercer intervalo fue de evaluación, y dentro de este, los 3 últimos días de experimento (día 26 a día 28) se realizó la colección de excretas, empleando para ello bolsas plásticas evitando la contaminación con cualquier otro residuo. Durante toda la evaluación el alimento y el agua fueron ofrecidos ad libitum.

Luego de finalizar la evaluación, las excretas se homogenizaron con una batidora (cada repetición por separado) para luego secarlas a estufa a 60-70° C. Después del secado, permanecieron a temperatura ambiente por 2 horas para establecer un equilibrio de humedad y luego pasaron por molino. Finalmente, las muestras fueron guardadas en frascos herméticamente cerrados y enumerados para su posterior Análisis Proximal y de Energía Bruta.

Para el cálculo de la EMAn se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{EM/g insumo} = 3,64 - \frac{\text{EM/g dieta referencial} - \text{EM/g dieta experimental}}{\text{Proporción del insumo sustituto}}$$

Referencia: Verastegui 2007

Donde:

3,64 Kcal/g = EM por gramo de glucosa.

EM/g dieta Kcal/g = EB/g dieta – E excreta/g dieta – 8,22 (g N retenido/g dieta)

EB/g dieta Kcal/g = Determinada en el calorímetro.

E excreta/g dieta Kcal/g = EB excreta x (g excreta/g dieta)

8,22 Kcal/g = Energía expresada en Kcal de tres moléculas de ácido úrico que se forman por cada gramo de nitrógeno retenido.

Como podemos apreciar en el Cuadro 6, en este ensayo se obtuvo un valor de 3.122 Mcal. de EMAn por Kg. en tal como ofrecido (con 94.7 por ciento de MS) para la HPC y 3.417 Mcal de EMAn por Kg. en tal como ofrecido (con 95.56 por ciento de MS) para la HPE. Esta última tiene una EMAn mayor aproximadamente en 9.4 por ciento, lo cual podría deberse al mayor contenido de grasa que presenta la HPE frente a la HPC (5,41 por ciento contra 2,96 por ciento).

Cuadro 6: Determinación de la Energía Metabolizable Aparente Corregida por Nitrógeno (EMAn) de la Harina de Plumas convencional (HPC) y de la Harina de Plumas con Hidrólisis Enzimática (HPE)

	Referencia			HPC			HPE		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
EB Dieta		3,98			4,35			4,47	
EB Excreta	1,06	0,91	0,92	1,09	1,16	1,12	1,08	1,12	1,15
Excreta (g MS/día)	21,15	24,03	22,42	42,72	38,42	42,35	47,05	39,85	46,51
Consumo (g MS/día)	104,26	117,79	103,60	123,36	102,82	114,85	131,16	109,64	121,93
Excreta/Consumo	0,20	0,20	0,22	0,35	0,37	0,37	0,36	0,36	0,38
N/g dieta		0,03			0,07			0,07	
N/g excretas	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
g N Excretado/g alimento	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
g N retenido	0,02	0,03	0,02	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
g N Retenido/d dieta x 8.22	0,20	0,21	0,20	0,47	0,46	0,47	0,50	0,50	0,50
E. excr./g dieta	0,21	0,19	0,20	0,38	0,43	0,41	0,39	0,41	0,44
Energía Metabolizable	3,77	3,80	3,78	3,97	3,92	3,94	4,08	4,06	4,03
EMAn	3,56	3,59	3,58	3,50	3,45	3,47	3,58	3,56	3,54
Promedio EMAn		3,58			3,48			3,56	
EMAn/g dieta Ref. - EMAn/g dieta Exp. (EMAn Ref./EMAn Exp.)/30*100				0,08	0,13	0,11	0,00	0,02	0,04
				0,25	0,42	0,36	0,00	0,05	0,14
EM de la Harina de Plumas (Mcal/Kg)				3,39	3,22	3,28	3,64	3,59	3,50
Promedio al 100% en MS (Mcal/Kg)					3,30			3,58	
Humedad (%)					94,70			95,56	
Promedio en Base Fresca (Mcal/Kg)					3,12			3,42	

Estos valores son diferentes a los encontrados en la literatura, de acuerdo a FED A (2003) y al NRC (1994), sin embargo son similares a los encontrados por Alltech (2007). Esto puede deberse al proceso de elaboración que tuvieron las harinas con que se reportan estos valores de energía. Hay que tener en cuenta que en los últimos años la industria (tecnología y equipos) ha mejorado, permitiendo procesos menos agresivos y más cortos. Esto explicaría por qué el valor más actual reportado en el presente trabajo es el más similar a los hallados. Está también la posibilidad que los resultados de estas publicaciones sean basados en literatura encontrada en tablas anteriores, o en fórmulas de predicción, sin embargo, la explicación más adecuada parece ser la primera.

III. CONCLUSIONES

- La harina de plumas es un insumo con alto contenido proteico, pero baja digestibilidad y concentración de aminoácidos esenciales.
- Existen actualmente métodos interesantes para mejorar la calidad proteica de la Harina de plumas, como el uso de enzimas (proteasas, lipasas, queratinasas), las cuales de acuerdo a últimas investigaciones, pueden mantener un alto contenido de proteína con un elevado nivel de aminoácidos esenciales. Sin embargo, estos procesos son todavía a nivel de laboratorio, y el tiempo que requieren (120 horas según Agrahari y Wadhwa en el 2010 y 8 horas según Tiwary y Gupta en el 2012) no lo hacen del todo aplicable a escala comercial. Otro punto que no se ha tocado en el presente trabajo es la aceptación que este insumo viene teniendo a nivel mundial en alimento para especies acuáticas, lo que podría beneficiar en mayor grado el interés por desarrollar tecnologías de mejora.
- Por lo que representa la producción de aves en nuestro país, el desarrollo de tecnologías para mejorar este insumo estaría justificada, sobretodo ya que nos permitiría depender menos de los precios internacionales para esta crianza.
- Los valores de Energía Metabolizable Aparente para la Harina de Plumias procesada sin enzimas y con enzimas de acuerdo a lo descrito en el presente trabajo son: 3.122 Mcal/Kg. y 3.417 Mcal/Kg. respectivamente, elevando la Energía Metabolizable de esta en un 9.4 por ciento aproximadamente con uso de enzimas.

IV. RECOMENDACIONES

- Evaluar la inclusión de estos insumos en otras especies, tanto aves (ponedoras, pavos, patos, codornices) como especies acuáticas (Truchas, tilapias, camarones, etc). En estas últimas hay evidencia que puede reemplazar en algún porcentaje a la harina de pescado, que es de alto costo.
- Iniciar investigaciones sobre bacterias con capacidad queratinolítica, con las cuales se pueda iniciar el trabajo para lograr un “pool” de las que tengan mejor respuesta. A partir de aquí, se podrán desarrollar nuevos productos que mejoren el uso de este tipo de residuos, de una manera amigable con el ambiente.
- Hacer el análisis de costo/beneficio del uso de enzimas en el proceso de mejora de la calidad de la proteína de la Harina de Plumas.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGRAHARI, S.; N. Wadhwa. 2010. Degradation of Chicken feather a poultry Waste Product by keratinolytic Bacteria Isolated from Dumping Site at Ghazipur Poultry Processing Plant. International Journal of Poultry Science 9 (5): 482-489.

BARBOUR, G.; M. Werling, A. G. Yersin and M. S. Lilburn. 2002. The Effect of Enzyme Predigestion on the Nutritional Quality of Prepressed Turkey Feather Meal. Poultry Science 81:1032–1037.

BERNAL C, Vidal L, Valdivieso E, Coello N (2003) Keratinolytic activity of *Kocuria rosea*. World J Microbiol Biotechnol 19:255–261.

BIELORAI, R.; B. IOSIF, H. NEUMARK AND EUGENIA ALUMOT. 1982. Low Nutritional Value of Feather-Meal Protein for Chicks. Journal of nutrition 112: 249 – 254.

BUREAU, D. 2008. Producing high quality protein concentrates economically. International Aquafeed, Vol 11, 18-19.

CALDERÓN, M. 2000. Efecto de tres tiempos de hidrolizado sobre el contenido de proteína y digestibilidad de la harina de pluma y sangre. Proyecto Especial del Programa Ingeniero Agrónomo. Zamorano – Honduras. 15 p.

COELLO, N; VIDAL, L; BRETANA, A. 2000. Aislamiento de una cepa de *Kocuria rosea* degradadora de plumas de aves de corral. Revista Científica, FCV-LUZ/Vol. X, N° 2, 107 – 113.

FEDNA (Fundacion Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal). Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para formulación de piensos compuestos. Segunda Edición. Madrid 2003.

FERNÁNDEZ N.J.L. Y BENITO, J.2008 (en línea). Revaloración de subproductos en el sector de producción de huevos. Informe realizado por Asociación Española de productores de huevo (ASEPRHU). Documento pdf.

FRANCESCH, M. 2001. Sistemas para la valoración energética de los alimentos en aves. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 9(1): 35-42.

GONZÁLEZ, A. 2007. El hidrolizado de las plumas, un proceso para valorizar un residuo contaminante. IX Encuentro de Nutrición y Producción en Animales Monogástricos. Montevideo, Uruguay. Pág. 49-53.

GUPTA, R AND P. Ramnani. 2006. Microbial keratinases and their prospective applications: an overview. Applied Microbiology and Biotechnology 2006, Volume 70, Issue 1, pp 21-33.

INTERNATIONAL UNION OF BIOCHEMISTRY AND MOLECULAR BIOLOGY (IUBMB). 2014. Biochemical Nomenclature – Enzyme Database – EC 3.4 Acting on peptide bonds (peptidases).

LESSIRE, M. 2004. Valores Nutritivos para las aves. En: Tablas de composición y de valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de interés ganadero: Cerdos, Aves, bovinos, caprinos, conejos, caballos y peces. Mundi-Prensa Libros. Madrid, España. pp 37-42.

HARVEY, J.D. (1992) Changing waste protein from a waste disposal problem to a valuable feed protein source: A role for enzymes in processing offal, feathers and dead birds. Biotechnology in the feed industry. En: Proceedings of Alltech's Eight Annual Symposium. Lyons T.P. editions, pp 109-119. Ontario, Canadá.

MENDOZA, A. R., De DIOS A., CRUZ E. Y DEL ÁNGEL A. (1995) Análisis de la transformación de la pluma cruda como fuente de proteína para *Penaeus vannamei*. 46º Congreso Anual del P.F.T., 5-8 de febrero de 1995. Mazatlan, México.

MENDOZA, R; AGUILERA, C. Y MONTEMAYOR, J.2000. Utilización de Subproductos Avícolas en las Dietas para Organismos Acuáticos. Universidad Autónoma de Nuevo León, Apartado F-96, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, CP 66450, México. Documento pdf

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1994. Nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. Edic. National Academy Press, Washington, D.C., U.S.A.

NASCIMENTO, A. H., GOMEZ, P. C., T. ALBINO, L. F., ROSTAGNO, H. S., ALMEIDA T., R. Chemical Composition and metabolizable Energy Values of feathers meal and poultry by-product meal determined by different methodologies for chickens. Revista Brasileira de Zootecnia. 31 (3):1409-1417.2002.

NUNES, R. V. 2005. Valores Energéticos de origen Animal para Aves. Revista Brasileira de Zootecnia, v.34, n.4, p.1217-1224

ORMEÑO, F. O. 1993. Producción de Harina de Plumaz Hidrolizada. Tesis para optar el título de Ing. Zootecnista. UNALM. Lima – Perú.

RUÍZ, B. 1999. El reciclaje de subproductos avícolas y su efecto ambiental. XVI Congreso Latinoamericano de Avicultura. Asociación Peruana de Avicultura.

TIWARY E, GUPTA R. 2012. Rapid Conversion of Chicken Feather to Feather Meal Using Dimeric Keratinase from Bacillus licheniformis ER-15. Journal of Bioprocessing and Biotechniques 2:123.

VELÁSQUEZ, R. C. 2008. Evaluación de una mezcla de harina de subproductos de camal avícola y equino en dietas de inicio y crecimiento para pollos de carne. Tesis para optar el título de Ing. Zootecnista. UNALM. Lima – Perú.

VERASTEGUI, Q. M., 2007. Determinación de la Energía Metabolizable Aparente Corregida por Nitrógeno (EMAn) para aves, de la Harina de Subproducto de Aves. Tesis para optar por el título de Ing. Zootecnista. UNALM. Lima – Perú.

WOODGATE, S.L., 2007. Creating alternative protein sources for aquafeeds using applied enzyme technologies. Publicación en portal web <http://www.engormix.com>.

ZAGACETA, S., 2013. Evaluación de la inclusión de tres niveles de harina de plumas hidrolizada con y sin tratamiento enzimático en dietas de pollos de carne. Tesis para optar el título de Ing. Zootecnista. UNALM. Lima – Perú.