Digestibilidad de Aminoácidos en Materias Primas

A. LEMME[1]*, V. RAVINDRAN[2], W.L. BRYDEN[3] y L. HACKENHAAR[4]

[1] Feed Additives, Evonik Degussa AG, Rodenbacher Chaussee 4, 63457 Hanau, Alemania; [2] Institute for Food, Nutrition and Human Health, Massey University, Palmerston North, Nueva Zelanda; [3] School of Animal Studies, University of Queensland, Gatton QLD 4343, Australia; [4] Evonik Degussa Brasil, Al. Campinas 631, São Paulo/SP, Brasil

Para formular con más precisión el alimento balanceado y prever el desempeño zootécnico de los animales, es importante que tanto las recomendaciones como las formulaciones de alimento balanceado se basen en los contenidos de aminoácidos digestibles más que en los contenidos de aminoácidos totales.

La mayoría de los datos publicados sobre la digestibilidad de aminoácidos en los ingredientes del alimento balanceado para pollos se basan en la digestibilidad de la excreta. La digestibilidad ileal es una alternativa y un enfoque preferencial para estimar la disponibilidad de aminoácidos en los ingredientes del alimento.

En este artículo se describen y evalúan ambas metodologías. Además, se discuten las diferencias entre sistemas de aminoácidos digestibles aparentes y estandarizados (en los que se hacen correcciones para pérdidas endógenas basales).

Se propone un sistema de digestibilidad estandarizada como un medio para superar las limitaciones de las estimaciones de digestibilidad aparente. En este contexto se discuten diferentes metodologías para la determinación de pérdidas de aminoácidos endógenos basales. A pesar de que cada metodología sufre algunas limitaciones y que los datos publicados sobre pérdidas endógenas a nivel ileal en aves en crecimiento son limitados, datos promedio de experimentos repetidos usando el método de 'caseína hidrolizada enzimáticamente' son considerados la mejor medida de las pérdidas basales. Se presentan valores de digestibilidad de aminoácidos ileales estandarizados de 17 ingredientes comúnmente usados en la nutrición de pollos de engorde, incluyendo granos (cebada, maíz, sorgo, triticale, trigo), subproductos de granos (harinillas de trigo, subproductos de arroz), fuentes de proteína vegetal (harina de soya, harina de canola, harina de gluten de maíz, harina de algodón, lupinas, arvejas/frijoles, harina de girasol) y subproductos animales (harina de plumas, harina de pescado, de carne y harina de hueso).

Este conjunto amplio de digestibilidad de aminoácidos ileales de los ingredientes del alimento en la nutrición de pollos de engorde, puede servir como base para establecer un sistema de alimentación de pollos de engorde y también para futuras investigaciones.

Palabras clave: pollos de engorde; aminoácidos; digestibilidad ileal; pérdidas endógenas basales; ingredientes del alimento balanceado

Introducción

La meta de la nutrición de pollos de engorde engloba dos elementos: satisfacer las exigencias nutritivas del ave para una meta productiva específica y por otra parte manejar los ingredientes del alimento en alimentos compuestos de una manera sostenible y económica. Desde una perspectiva ecológica, la necesidad de mejorar la utilización de la proteína dietética y minimizar la deposición de nitrógeno en el estiércol constituye metas globales cada vez más importantes. Prestarle cuidadosa atención a la digestibilidad de nutrientes en las materias primas durante la formulación del alimento puede representar un gran aporte para el logro de estos objetivos.

Una proporción de los aminoácidos dietéticos se excreta sin haber sido digerida e ingredientes individuales del alimento difieren mucho en ese sentido. Por consiguiente, cuánto más altos sean los niveles de inclusión de los ingredientes del alimento balanceado con baja digestibilidad de aminoácidos, en las dietas formuladas sobre la base de aminoácidos totales, menos confiable será la predicción del desempeño zootécnico (Esteve-Garcia *et al.*, 1993; Fernandez *et al.*, 1995; Pertillä *et al.*, 2001a). En esta situación, generalmente se aplican márgenes de seguridad costosos para los requerimientos de aminoácidos de manera a evitar potenciales reducciones de rendimiento.

El conocimiento de los coeficientes de digestibilidad (CD) para aminoácidos individuales en los ingredientes del alimento y la exigencia de aminoácidos digestibles para una meta de producción definida (como por ejemplo, la maximización del crecimiento, rendimiento de carne de pechuga y/o rentabilidad, o la minimización de la tasa de conversión y/o costos del alimento por kg de ganancia de carne de pechuga) permite la formulación de dietas más cercanas a las exigencias del ave.

Dietas basadas en aminoácidos digestibles permitirán el uso de fuentes de proteína con bajo CD (coeficiente de digestibilidad), porque este tipo de formulaciones mejorará la precisión de dietas más baratas y reducirá la deposición de nitrógeno en las instalaciones productivas. Finalmente, dietas formuladas sobre una base de aminoácidos digestibles ofrecen beneficios económicos (Rostagno *et al.*, 1995).

A pesar de que las ventajas del sistema de aminoácidos digestibles son ya reconocidas, la formulación de la dieta tomando como base el contenido de aminoácidos totales es aún ampliamente practicada (Bryden *et al.*, 2000). Un motivo para ello es que los ingredientes del alimento que generalmente se usan en muchas partes del mundo (por ejemplo harina de maíz, harina de soya) presentan alta digestibilidad de aminoácidos y los beneficios de cambiar a un sistema de aminoácidos digestibles serían relativamente pequeños. Sin embargo, en el futuro, por razones económicas obligarán a que la industria avícola aumente el uso de una gama de suplementos proteicos alternativos más baratos, con bajo CD, en las formulaciones de alimentos balanceados. Intentos anteriores para substituir estas fuentes proteicas de baja calidad han resultado en un desempeño zootécnico inferior al esperado, en gran medida porque en las substituciones no se han considerado las diferencias en la digestibilidad de aminoácidos. En este contexto, las formulaciones de alimentos balanceados basadas en aminoácidos digestibles ofrecen el potencial más grande.

Un gran volumen de datos publicados sobre la digestibilidad de aminoácidos de los ingredientes de alimentos para aves está ahora disponible, pero ha habido una confusión considerable en la terminología usada, debido a diferencias en la metodología para determinar el CD (Ravindran y Bryden, 1999). Los diferentes enfoques para evaluar la digestibilidad de los aminoácidos se revisan brevemente a continuación, con énfasis en la digestibilidad ileal. La necesidad de corregir las estimativas de digestibilidad para pérdidas de aminoácidos endógenos se destacará, a continuación de una discusión sobre la medición de pérdidas inevitables. Finalmente, se presentará el concepto de valores de digestibilidad ileal "estandarizada" corregido, para recuperaciones de aminoácidos endógenos basales, junto con una tabla de "Digestibilidad ileal estandarizada de aminoácidos de ingredientes del alimento balanceado" comúnmente utilizados en dietas de pollos de engorde.

¿Qué es digestibilidad?

Se puede definir digestibilidad como la fracción de un nutriente ingerido que el ave absorbe, por ejemplo, que no es excretado en las heces. Se puede, por lo tanto, calcular la digestibilidad midiendo la entrada de aminoácidos dietéticos (AAdieta) y la deposición de aminoácidos en la excreta (AAexcreta) como se muestra a continuación:

Digestibilidad (%) = ((AAdieta– AAexcreta)/AAdieta) x 100

El término "digestibilidad" es a menudo usado como sinónimo de "disponibilidad", pero estos son términos totalmente diferentes. Se ha demostrado que la lisina en harinas de oleaginosas excesivamente procesadas puede dar lugar a la formación de varios complejos que parecerían ser digeridos, pero que no están disponibles para los pollitos, como estimado por el método de proporcionalidad de la pendiente (Parsons *et al.*, 1992). La disponibilidad de un aminoácido unido a la proteína se puede definir como un aminoácido que está en una forma adecuada para la digestión, absorción y utilización. La disponibilidad solamente se puede estimar mediante ensayos de crecimiento animal (método de proporcionalidad de la pendiente). Estos ensayos, sin embargo, son caros, toman mucho tiempo y ofrecen una estimativa de la disponibilidad solamente una aminoácido por ensayo (Ravindran y Bryden, 1999).

El ensayo de digestibilidad se ha vuelto la técnica preferida para la estimación de la disponibilidad de aminoácidos, ya que la digestibilidad es tal vez el determinante único más grande de disponibilidad de aminoácidos. Los ensayos de digestibilidad se pueden dividir en dos grandes categorías: excreta e ileal. La digestibilidad de la excreta implica la toma de excreta de aves intactas o cecotomizadas. Para medir la digestibilidad ileal, se toman muestras

de digesta del íleo distal. Este último método es técnicamente más complejo, pero elimina algunos factores que confunden.

Limitaciones de la digestibilidad de excreta determinada a través de la alimentación de precisión.

La determinación de la digestibilidad de excreta fue usada más comúnmente durante los primeros años de investigación sobre digestibilidad. Más específicamente, se generó un gran volumen de datos publicados sobre la digestibilidad de aminoácidos en la excreta usando el ensayo de alimentación de precisión desarrollado por Sibbald (1979) que tuvo amplia aceptación durante los años 80 y 90 en América del Norte y Europa. En este ensayo, gallos adultos fueron alimentados por 24-48 horas y sometidos a alimentación forzada con una cantidad definida del alimento de prueba administrados directamente en el buche.

Las excretas fueron recolectadas por períodos lo suficientemente largos, bajo la suposición que los componentes no digeridos han sido excretados. Una gran ventaja de este ensayo es que hace posible que se examinen muchos ingredientes del alimento balanceado en un período de tiempo relativamente corto con pocas aves, ya que los gallitos pueden usarse para varios ensayos.

Las mediciones de digestibilidad de las excretas a partir del ensayo de alimentación de precisión, sin embargo, presentan dos inconvenientes. El primero, es que las excretas contiene aminoácidos tanto de las heces como de la orina. Sería, por consiguiente, más exacto referirse a esta medición como 'metabolizabilidad' más que digestibilidad. Generalmente se asevera que la excreción renal de aminoácidos es insignificante (O'Dell *etal.*, 1960; Bragg *et al.*, 1969; Terpstra, 1978), pero hay evidencias que sugieren que no siempre esto es así (McNab, 1995). En segundo lugar, el ensayo de alimentación de precisión ignora los efectos de los microorganismos del intestino posterior sobre la digestión de proteína o la utilización de proteína y el aporte de las proteínas microbianas el perfil y a la concentración de aminoácidos en las heces. Esta fuente de error puede ser superada en gran manera a través de los gallitos cecotomizados (Parsons, 1986).

El bienestar de las aves queda perjudicado por el ensayo de alimentación de precisión y aves en ayuno no representan comportamiento alimenticio "normal". Por otra parte, el alimento balanceados administrado a la fuerza consiste totalmente en el ingrediente examinado y esto puede ejercer una influencia significativa sobre el proceso digestivo. Cambios en la secreción de enzimas digestivas y otros cambios psicológicos inducidos por el ayuno constituyen preocupaciones relevantes.

Una gran preocupación para la industria avícola radica en la aplicación de los valores de digestibilidad generados en gallitos adultos, que son aves fisiológicamente maduras comparados a aves en crecimiento.

Datos publicados sobre los efectos de la edad sobre la digestibilidad de aminoácidos son limitados y contradictorios (Doeschate *et al.*, 1993; Perttilä *et al.*, 2001b; Huang *et al.*, 2000), pero los resultados indican claramente que la digestibilidad ileal aparente de aminoácidos de los alimentos balanceados para gallitos adultos y para aves en crecimiento son diferentes.

¿Es la digestibilidad Ileal una alternativa para aves en crecimiento?

Las críticas al ensayo de alimentación de precisión se pueden superar mediante la determinación de la digestibilidad ileal o prececal (Ravindran y Bryden, 1999). En este método, la digesta se recupera de la parte distal del íleo y se la analiza. Como resultado, se eliminan los aminoácidos de la orina como fuente de error, así como los efectos de modificaciones causadas por la fermentación microbiana del intestino posterior. Varios investigadores han relatado diferencias contradictorias entre excretas y CD (ten Doeschate *et al.*, 1993; Karakas *et al.*, 2001; Perttilä *et al.*, 2001b; Ravindran *et al.*, 1999) realizando una investigación sistemática de las materias primas necesarias.

La digesta Ileal puede retirarse a través de una cánula intestinal o luego de practicar eutanasia. Con el primer método, es posible usar el ave para varias pruebas, pero la obtención de cantidades suficientes de digesta es trabajosa y la inserción de la fístula exige considerable habilidad quirúrgica. Por otra parte, esta metodología puede empelarse solamente en aves maduras. Con el método de sacrificio las aves son faenadas de manera humana, el intestina delgado es inmediatamente expuesto quirúrgicamente y se separa el íleo. El íleo se define como la porción del intestino delgado que se extiende el divertículo vitelino (antes denominado

divertículo de Meckel; McLelland, 1979) hasta un punto a pocos centímetros de la junción íleocecal.

Las digestas son entonces recuperadas con suavidad de la mitad inferior del íleo mediante el lavado con agua destilado. A menudo se reúnen las digestas de varias aves para así obtener suficientes cantidades para análisis. Se deberían hacer por lo menos cuatro repeticiones por ingrediente, lo que en última instancia implica la utilización de un gran número de aves.

Es obvio que la recolección de digesta cuantitativa no es posible a través del abordaje ileal.Substancias marcadoras no digestibles que no afectan la digestibilidad de los nutrientes y que tienen una elevada tasa de recuperación del casi 100% deben agregarse el resto de la dieta de prueba. Óxido de cromo, óxido de titanio y ceniza insoluble en ácido (por ejemplo, Diamol, Celite) son ampliamente usadas como marcadores dietéticos, a pesar que los resultados pueden diferir ligeramente dependiendo del marcador (Scott y Boldaji, 1997). Para el cálculo de CD, se comparan las concentraciones de aminoácidos en la dieta y en la digesta con las conscentraciones de marcador correspondiente (Idieta, Iexcreta) usando la siguiente fórmula:

CD (%) = 100 - ((Idieta x AAexcreta) / (Iexcreta x AAdieta) x 100)

El uso de marcadores elimina la necesidad de registrar el consumo de alimento y se puede ofrecer alimento balanceado *ad libitum*. Con alimentación a voluntad – dependiendo de los ingredientes que se examinarán – se debe formular una dieta adecuada de prueba porque si se alimenta solamente con el ingrediente de prueba esto podría llevar a una deficiencia dietética, desequilibrios o rechazo de alimento. Por otra parte, la composición de la dieta de prueba estimula procesos digestivos “normales”. Esto tiene un efecto directo sobre las secreciones endógenas que consiste de enzimas digestivas, mucoproteínas (mucina) y células descamadas.

El ingrediente del alimento que está bajo prueba generalmente representa la única fuente de aminoácido en la dieta de prueba. La dieta también se fortifica con minerales y vitaminas. Se agrega energía en forma de carbohidratos (almidón purificado, dextrosa) y grasas. El cálculo del CD supone que la digestibilidad de aminoácidos en la dieta es representativa del ingrediente del alimento. Esta suposición, sin embargo puede crear un pequeño error porque la dieta en sí estimula algunas excreciones de aminoácidos endógenos. Este error aumenta con la disminución del contenido de aminoácidos de la dieta de prueba.

El método mencionado antes se conoce como “el método directo” de determinación de digestibilidad. Una variación de este método es “el método de diferencia” que implica la formulación tanto de una dieta basa como de una dieta de prueba. La dieta basal contiene el (los) ingrediente(s), que suministra el único nutriente del ensayo. La dieta de prueba abarca una mezcla (generalmente 50:50) de la basar y el ingrediente de prueba. La digestibilidad en el ingrediente de prueba puede determinarse usando la diferencia en digestibilidad entre las dos dietas del ensayo y el nivel de aporte del nutriente en las dietas. Se supone que no existe interacción entre la dieta basal y el ingrediente de prueba.

La necesidad de corregir las pérdidas de aminoácidos endógenos

No todos los aminoácidos encontrados en las excretas o en la digesta provienen de la dieta, ya que algunos tienen origen endógeno. Esto lleva a dos cuestionamientos fundamentales: si corregir o no para aminoácidos endógenos y si la respuesta es sí, cómo deberían determinarse las pérdidas endógenas.

Las excretas y los ensayos ileales descriptos anteriormente determinan valores ‘aparentes’ y no responden por pérdidas de aminoácidos endógenos, que pueden ejercer un efecto variable sobre el CD. Como se muestra en la Figura 1, este efecto es más pronunciado cuando el consumo de proteína/aminoácido es bajo.

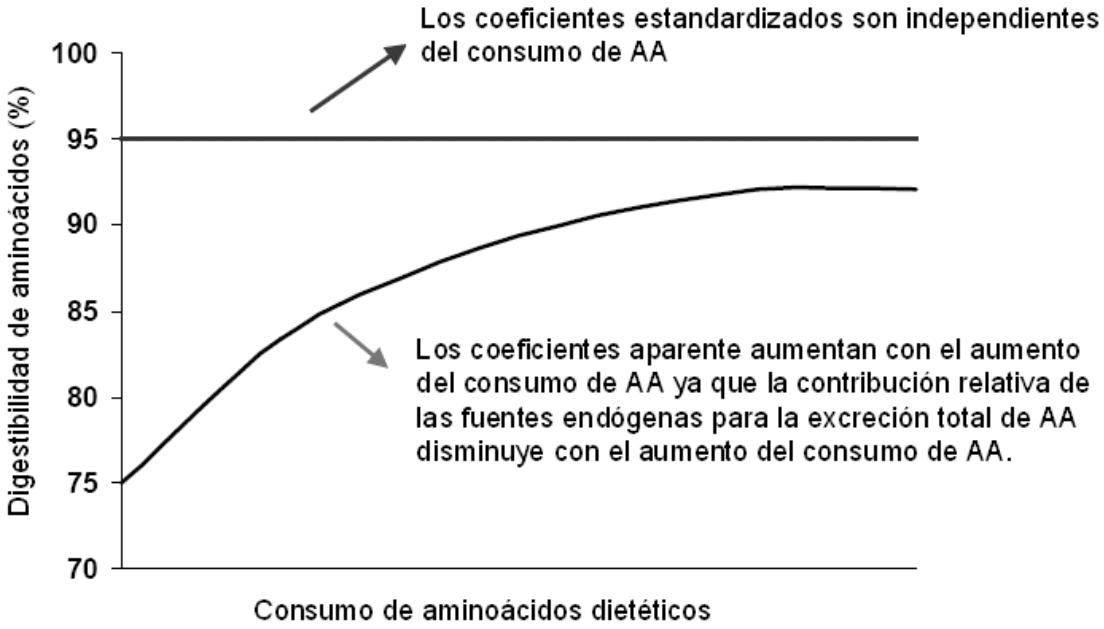

Figura 1. Relación de las digestibilidades aparente y estandardizada de AA con el consumo de AA dietéticos

La significancia relativa de las pérdidas de aminoácidos endógenos frente a los niveles de aminoácidos en las excretas o en la digesta disminuye en la medida en que se incrementa el consumo de aminoácidos dietéticos. Por consiguiente, los Coeficientes de Digestibilidad de las materias primas con bajos niveles de aminoácidos, como cereales y leguminosas son los más afectados. La potencial magnitud de este efecto se ilustra en el ejemplo a continuación que proviene de un conjunto de datos que se presentan en el apéndice (*Tabla 4*). En este ejemplo, los valores de CD aparente se transforman en valores de CD "estandarizado" a través de la corrección para recuperaciones de aminoácidos endógenos "basales".

La diferencia entre el CD aparente (89%) y el estandarizado DC (90%) es de alrededor de 1 punto porcentual para lisina en la harina de soya (47% CP). En el caso del trigo (13% CP), sin embargo, la diferencia llega a 7 puntos porcentuales (79% vs. 86%).

Aparte de estar influido por los consumos de aminoácidos dietéticos, se supone que los valores de digestibilidad aparente de ingredientes individuales son aditivos cuando se combinan en las formulaciones de dietas.

A pesar de que algunos estudios han demostrado la capacidad de la "aditividad" de los valores de digestibilidad aparente (Angkanaporn *et al.*, 1996; Bryden y Li, 2003), se hacen necesarias más investigaciones sobre este tópico, ya que pueden existir efectos asociativos cuando se usan altos niveles de ingredientes poco digestibles

Las limitaciones de los valores de digestibilidad ileal aparente se pueden superar a través de correcciones para pérdidas endógenas basales. El desafió, no obstante radica en acordar sobre qué representa pérdidas endógenas basales y cómo éstas deben determinarse.

Medición de pérdidas endógenas de aminoácidos basales

Las pérdidas de aminoácidos endógenos a nivel ileal pueden dividirse en basales (o no específicas) y con una fracción específica. Las pérdidas basales están relacionadas con el consumo de materia seca y son independientes de las materias primas o de la composición de la dieta. En contraste con esto, las pérdidas específicas sufren la influencia de la composición de las materias primas, como ocurre frente a la presencia de factores antinutricionales que pueden simular secreciones endógenas.

Las mediciones de pérdidas endógenas de aminoácidos en aves han sido revisadas por Ravindran y Bryden (1999). Datos de métodos clásicos de medición de pérdidas endógenas (por ej. dieta libre de proteínas, alimentación con proteínas altamente digestibles como caseína, gluten de trigo o el método de regresión) pueden considerarse representativos de pérdidas 'basales' ocurriendo independientemente de los ingredientes del alimento balanceado o de la composición de la dieta. Pérdidas 'específicas de los ingredientes del

alimento' no se han medido mediante los métodos clásicos. No obstante, ellas representan una característica específica del ingrediente del alimento y deberían ser tenidas en cuenta para la evaluación del alimento balanceado. La determinación de pérdidas específicas se ha vuelto posible con el progreso reciente en la dilución de isótopos y las técnicas de homoarginina, pero no nos referiremos a eso en este artículo.

Un método en el que las pérdidas específicas son automáticamente incluidas en la determinación de CD es el "método de regresión", que implica alimentar con dietas que contengan niveles crecientes del ingrediente de prueba. En la regresión de la absorción de aminoácidos (in g) por parte de las aves (aparente) en relación con el consumo de aminoácidos (en g), la pendiente de la línea de regresión corresponde a una digestibilidad que incluye pérdidas específicas. Como se muestra en la *Figura 2*, la pendiente de la línea se determina tanto por la cantidad de aminoácidos no digeridos y por las pérdidas específicas, pero no a través de las pérdidas basales.

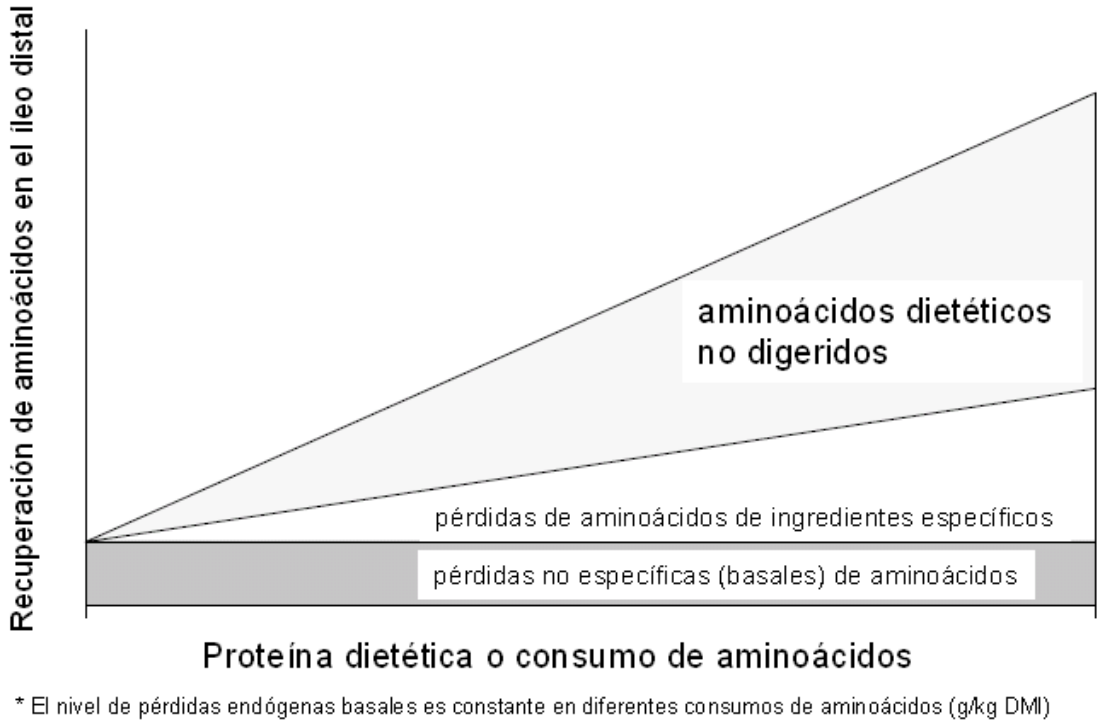

Figura 2. Varias fracciones que componen los aminoácidos recuperados en el íleo distal.

Pérdidas basales inevitables se pueden estimar mediante extrapolación de la línea de regresión a un consumo de aminoácidos de cero. Esta extrapolación está sujeta a grandes errores de estimación, sin embargo, especialmente si hay una brecha entre el punto de datos más bajo y cero (teórico) del consumo (Ravindran y Bryden, 1999). Una desventaja mucho más grande de este método es la complejidad técnica que implica estimar solamente un CD, especialmente cuando se trata de determinar el CD ileal. Este probablemente sea el motivo debido a que el método de regresión no ha ganado gran aceptación a pesar de que ha sido empleado para determinar el CD ileal en algunos ingredientes del alimento balanceado (Short *et. al.*, 1999, Rodehutscord *et al.*, 2004).

Están disponibles datos de otros varios métodos usados para determinar las pérdidas de aminoácidos endógenos. Los métodos incluyen la alimentación con dietas sin proteína, la alimentación de dietas con caseína altamente digestible o la alimentación con gluten de trigo y el ayuno. El método de ayuno, en el que las aves ayunan por períodos extensos y luego sus excreciones supuestamente son de origen endógeno no es adecuado por dos motivos. En primer lugar, este método crea un estado fisiológico anormal y en segundo lugar, las pérdidas no se pueden calcular en relación al consumo de materia seca. El consumo de materia seca ha sido reconocido como un determinante principal de las pérdidas endógenas basales (Butts *et al.*, 1993).

El método dietético sin proteínas se basa en la suposición que la dieta de prueba permite que tengan lugar procesos digestivos normales y que los aminoácidos excretados son solamente de origen endógeno. Sin embargo, este método es criticado ya que no estimula la secreción de enzimas proteolíticas (Ravindran y Bryden, 1999). Esta imprecisión llevó a la incorporación de fuentes proteicas altamente digestibles, como gluten de trigo o caseína enzimáticamente hidrolizada o guanidinizada en las dietas de prueba. Se asume que estas proteínas son 100% digestibles y que los aminoácidos excretados, consecuentemente, representan las pérdidas basales. Los estudios de Cremers *et al.* (2001), por otra parte, indican la existencia de una relación de dosis respuesta. Estos hallazgos sugieren que o las substancias de prueba no son 100% digestibles o que la pérdidas basales son afectadas por el contenido dietético de proteína o que las proteínas (o péptidos) en sí dan lugar a pérdidas específicas de diferentes cantidades.

En el método de la caseína guanidinizada, la lisina en la caseína se convierte en homoarginina. Al analizar los niveles de lisina y homoarginina en las muestras de digesta, se calculan las pérdidas de lisina endógena. Las conclusiones entonces se basan en el comportamiento de la lisina y de la homoarginina en relación a otros aminoácidos, lo que representa un inconveniente de este método (Ravindran y Bryden, 1999). La alimentación con caseína enzimáticamente hidrolizada (CEH) debería por lo menos retirar la incertidumbre en relación al 100% de digestibilidad. Como resultado del pretratamiento enzimático, este producto de caseína consiste totalmente de aminoácidos libres o de péptidos muy pequeños (< 5.000 Dalton). Supuestamente la proteína endógena es mucho más grande (> 10.000 Dalton) y la separación de la fracción < 5.000 Dalton proporciona una medida de las pérdidas endógenas. Algunos estudios han mostrado, sin embargo, que las excreciones endógenas pueden contener ciertas cantidades de moléculas de proteína de pequeña estructura, y esto podría llevar a un error de estimación (Ravindran y Bryden, 1999).

Como se puede ver en la *Tabla 1*, hay diferencias marcadas entre los varios métodos para determinar pérdidas endógenas tanto en lo que respecta a excreciones como también en el ranking de los diferentes aminoácidos. Vale también subrayar que la variación dentro de cada método también es relativamente grande, lo que pude atribuirse a las diferencias en la metodología experimental. Variables como la elección de un marcador, la edad de las aves, el régimen de alimentación, etc. pueden todos influir en la estimación de las pérdidas endógenas.

A pesar de que cada método sufre limitaciones y los datos publicados sobre pérdidas endógenas a nivel ileal en aves en crecimiento son limitados y es caro para determinar datos promediados de experimentos repetidos usando, el método CEH (*Tabla 2*) son considerados las mejores medidas para pérdidas basales ya que la mayoría de los inconvenientes descriptos para los otros métodos han sido superados en éste. Como se muestra en la *Tabla 2*, las pérdidas endógenas ileales más bajas fueron relatadas para metionina y las más altas para treonina, con pérdidas para los demás aminoácidos que se encajan en estos dos extremos. Este ranking está alineado con los datos suministrados por otros métodos usados para determinar las pérdidas endógenas (Cremers, 2003). Las pérdidas de treonina relativamente altas también son consistentes con los hallazgos en la nutrición de cerdos (Jansman *et al.*, 2002). Se supone que las secreciones de la mucosa, como la mucina contribuyen a las elevadas pérdidas de treonina ya que el contenido de treonina de la mucina es relativamente alto (alrededor del 15%).

Hay que subrayar que tanto el sistema de 'digestibilidad estandarizada' como el de la 'la digestibilidad verdadera convencional' implican correcciones para pérdidas endógenas, pero existen diferencias claras entre los dos conceptos que no deberían confundirse entre sí. En el ensayo de 'digestibilidad verdadera convencional' la digestibilidad aparente y las pérdidas endógenas se determinan en el mismo ensayo en el que se mide la pérdida endógena luego de inanición. Por consiguiente las ventajas obvias del sistema propuesto es que la digestibilidad aparente y las pérdidas endógenas no pueden determinarse en el mismo experimento y que los valores endógenos se miden en aves normales fisiológicamente. Valores de digestibilidad ileal estandarizada para aves puede calcularse para valores de digestibilidad aparente publicados en la literatura usando una estimativa de la cantidad de proteína endógena basal y de las recuperaciones de aminoácidos en la digesta ileal (*Tabla 2*).

Compilación de valores de digestibilidad ileal estandarizada para los principales ingredientes del alimento balanceado.

La mayoría de los datos del CD usados en esta compilación se basan en ensayos, análisis y cálculos realizados por Degussa AG y la Universidad de Sydney, NSW, Australia (Ravindran *et al.*, 1998). Cuando disponibles y considerados aceptables se han incluido datos de la literatura en la Tabla 3. En este contexto aceptable en la literatura quiso decir que materiales y métodos fueron descriptos completamente (incluyendo experimento animal y toma de muestras, composición de la dieta, perfil aminoacídico de los ingredientes y dietas experimentales, metodología química de análisis de aminoácidos) y en línea con la metodología explicada anteriormente se ofrecen cifras sobre digestibilidad aparente. De experimentos en los que interacciones entre ciertos factores nutricionales, ambientales y otros fueron investigados solamente se consideraron los tratamientos control. Se han compilado en la *Tabla 3* estimativas de la digestibilidad estandarizada para un total de 17 ingredientes del alimento balanceado.

En casos en los que la digestibilidad de aminoácidos de la dieta se asumió como siendo la digestibilidad de aminoácidos de la materia prima, los Coeficientes de digestibilidad fueron pre corregidos primero. Esto se hizo asumiendo que la fracción transportadora no proteica de la dieta de prueba será la responsable por la proporción de pérdidas endógenas. Se supuso que estas pérdidas son inversamente proporcionales a la tasa de inclusión de la materia prima de prueba. El factor de pre corrección usado fue la media de la pérdida endógena presentada en la *Tabla 2*. Se incluyeron directamente datos de la literatura en los que la digestibilidad fue determinada por un método diferente que no exige esta corrección. Luego se calcularon las medias pesadas con el número de observaciones por método sirviendo como base para el pesaje.

En el próximo paso, el CD aparente (CsD) fue estandarizado para interacciones entre el contenido de aminoácidos para las materias primas (de AminoDat 2.0®) y pérdidas endógenas (*Tabla 2*). El cálculo de valores estandarizados (CsD) es el siguiente:

CsD (%) = CDa (%) + (pérdidas de aminoácidos endógenos basales, como consumo de MS g/kg DM) / (contenido de AA de la materia prima, como g/kg MS) x 100))

Los CsD son independientes del método a través del que el CDa fue determinado. Por otra parte, estos valores son aditivos cuando se usan en formulaciones prácticas de alimentos. Los contnidos de aminoácidos digestibles ileales estandarizados en los ingredientes del alimento (*Tabla 3*) pueden calcularse usando los CsD y el contenido bruto de aminoácidos.

Digestibilidad ileal estandarizada de aminoácidos digestibles (g/kg) = aminoácidos brutos AA (g/kg) x (CsD (%) / 100)

En la *Tabla 3* se presenta la digestibilidad ileal estandarizada de aminoácidos de varios ingredientes importantes en la nutrición de pollos de engorde. El número de experimentos o de observaciones variaron entre los ingredientes del alimento. Del mismo modo una gran base de datos está disponible para harina de canola (68 observaciones), harina de soya (37), y harinas de carne y hueso (30) mientras que cifras para ingredientes como harina de gluten de trigo, frijoles y harina de plumas se basan solamente en un único ensayo u observación.

En relación con granos o subproductos de granos, los coeficientes de digestibilidad tuvieron un rango entre el 69% (Cebada – Trp) y el 95% (Maíz – Ile, His) y entre el 50% (subproductos de arroz – Trp) y el 83% (harinillas de trigo – Met), mientras que los para fuentes de proteína vegetal están entre el 65% (harina de algodón- Lys, arvejas/frijoles – Cys) y el 93% (harina de soya – Arg, harina de algodón – Arg). La digestibilidad aminoacídica de subproductos animales varía del 46% (harina de plumas – Trp) y el 86% (harina de pescado – Lys, Met). Los coeficientes de digestibilidad para harinas de carne y huesos son más bajos que aquellos encontrados para harina de pescado pero más altos que los de harina de plumas. Sin embargo, ha sido bien establecido que la digestibilidad de aminoácidos de subproductos de origen animal depende de las condiciones de procesamiento como temperatura y contenido de cenizas (Skurray, 1974).

Como esperado el efecto más obvio de los valores de digestibilidad estandarizada frente a la aparente fue observado para los granos. La diferencia entre aminoácidos ileales aparentes y estandarizados osciló entre 0 y 17 puntos porcentuales para granos de cereales pero solamente entre 0 y 7 puntos porcentuales para fuentes de proteína vegetal y subproductos animales.

Entre los ingredientes del alimento, la digestibilidad de la treonina fue la más afectada por la estandarización, esto puede estar directamente relacionado al alto nivel para las pérdidas de treonina endógena. Por ejemplo, la digestibilidad de treonina ileal estandarizada del maíz, trigo, soya y harina de carne y huesos fue de 17, 14, 3 y 3 puntos porcentuales más alta, respectivamente que la digestibilidad de treonina ileal aparente. Los respectivos valores para metionina fueron de 4, 3, 1 y 1 punto porcentual.

Formulación de alimento balanceado usando valores de aminoácidos digestibles ileales estandarizados con el concepto de Proteína ideal

En la elaboración de alimento moderno, las formulaciones se basan en los aminoácidos más que en la proteína, ya que se reconoce que las aves tienen exigencias de aminoácidos y no de proteína *per se*. Para el uso eficaz de los valores de aminoácidos digestibles ileales estandarizados en las formulaciones es necesaria la recomendación para concentraciones de aminoácidos dietéticos para pollos de engorde de diferentes grupos de edad. Por este motivo, se desarrollan y presentan en la *Tabla 4*, basadas en el concepto de Proteína ideal usando lisina como el aminoácido de referencia, recomendaciones para pollos de engorde en etapa de pre inicio, inicio, crecimiento, de terminación. La premisa básica de este concepto es la de asegurar la utilización ideal de todos los aminoácidos esenciales ya que en una Proteína Ideal todos los aminoácidos están en equilibrio y no hay aminoácidos en exceso relativo. En caso de exceso relativo no se usarán aminoácidos para acreción pero serán degradados y excretados como nitrógeno o transformados a aminoácidos no esenciales. El concepto asume además que mientras las exigencias absolutas para aminoácidos esenciales pueden variar entre varias situaciones prácticas, las relaciones entre aminoácidos se mantienen bastante estables. Por lo tanto, los niveles ideales de aminoácidos se deben determinar solamente para lisina y niveles ideales para el resto de los aminoácidos esenciales se obtienen simplemente multiplicando el nivel de lisina por las relaciones ideales respectivas. Varios métodos experimentales están disponibles para determinar las relaciones ideales de aminoácidos y los perfiles publicados son bastante consistentes (Lemme, 2003a). Cuando se formulan dietas la relación entre lisina y energía dietética debería considerarse además de la relación de amino. Por lo tanto, en la *Tabla 4* se presentan cifras de lisina digestible ileal estandarizada (y proteína bruta) en relación al contenido de energía dietética metabolizable.

A pesar de que la metionina o (metionina más cistina) son los primeros aminoácidos limitantes en las dietas más comunes para pollos de engorde, la lisina es el aminoácidos de referencia preferido debido a varias razones. En primer lugar, el análisis químico de la lisina es menos complicado comparado al de la metionina y particularmente al de la cistina. Más importante aún, desde un punto de vista nutricional, la lisina es casi exclusivamente usada para la acreción de proteína corporal y su exigencia es poco afectada por otras funciones metabólicas. Finalmente, no hay conversiones metabólicas entre lisina y otros aminoácidos. En contraste, la metionina puede convertirse a cistina (por más detalles ver Lemme, 2003a).

No todos los aminoácidos esenciales están disponibles comercialmente, pero es útil considerar o por lo menos monitorearlo en la formulación de alimento ya que los experimentos con pollos de engorde han mostrado repetidamente que el efecto total de la aplicación del Concepto de Proteína Ideal solamente puede lograrse cuando los aminoácidos esenciales están balanceados (Lemme, 2003b).Esto tiene particular importancia durante las etapas de pre inicio e inicio ya que una nutrición optimizada durante estos períodos tiene gran influencia sobre el desarrollo del tracto gastrointestinal y la proliferación de células musculares (Vieira y Moran, 1999, Halevy *et al.*, 2000). Para alcanzar este resultado y mejorar el desempeño zootécnico hasta el sacrificio, se justifica en la nutrición temprana el uso de niveles de proteína/aminoácidos relativamente altos. Sin embargo, el uso de fuentes suplementarias de metionina, lisina y treonina además de los ingredientes del alimento balanceado scon contenido de proteína y considerando a todos los aminoácidos esenciales como limitantes mínimos en la formulación del alimento el contenido de proteína dietética digestible ileal en dietas basadas en harina de soya alcanzan los valore presentados en la *Tabla 4*.

Dejar de lado uno o más aminoácidos (especialmente arginina) en la programación lineal puede llevar a una reducción en el contenido de proteína dietética si no se considera mientras que la exclusión de L-Treonina de la lista de ingredientes lleva a niveles relativamente altos de proteína. En ambas situaciones las composiciones de aminoácidos de la dieta se alejarán del perfil ideal.

Conclusiones

Las formulaciones de alimento deben basarse en aminoácidos digestibles ya que el valor nutritivo de los ingredientes del alimento es evaluada con más exactitud y dichas formulaciones serán más cercanas a las exigencias del ave que aquellas basadas en las concentraciones de aminoácidos totales.

En este contexto, se propone la 'digestibilidad ileal estandarizada' con un enfoque metodológico adecuado para describir la digestibilidad de aminoácidos en aves. Cuando se compara a otros enfoques, el sistema propuesto en esta perspectiva general presenta las siguientes ventajas:

.

• Las estimativas se determinan usando aves en crecimiento
• Las estimativas no están afectadas por actividad microbiana en el ciego
• Las estimativas no incluyen aminoácidos de origen urinario
• Las estimativas se determinan permitiendo que el ave tenga un comportamiento alimenticio normal
• Las estimativas son aditivas cuando se usan en formulaciones de alimentos balanceados.

Los valores de digestibilidad estandarizada presentados en la *Tabla 3* han sido simplemente multiplicados por los respectivos contenidos de aminoácidos de los ingredientes del alimento para calcular la cantidad de aminoácidos digestibles estandarizados presentes. Las recomendaciones propuestas para niveles dietéticos ideales de aminoácidos digestibles ileales estandarizados para pollos de engorde de inicio, crecimiento y terminación (*Tabla 4*) complementan los valores de digestibilidad estandarizada y suministran una guía para formulaciones prácticas y exactas de alimentos balanceados.

Referencias

ANGKANAPORN, K., RAVINDRAN, V. and BRYDEN, W.L. (1996) Additivity of apparent and true ileal amino acid digestibilities in soybean meal, sunflower meal and meat and bone meal for broilers. *Poultry Science* **75**: 1098-1103.

BAKER, D.H. (1994) Ideal amino acid profile for maximal protein accretion and minimal nitrogen excretion in swine and poultry. In: *'Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers'*.: 134-139. (Rochester: New York.).

BAKER, D.H. (1996) Advances in amino acid nutrition and metabolism of swine and poultry. In: *'Nutrient Management of Food Animals to Enhance and Protect the Environment'*. (Ed. E. T. Kornegay.): 11-22. (CRC Lewis Publishers: Boca Raton, FL.).

BRAGG, D.B., IVY, C.A. and STEPHENSON, E.L. (1969) Methods for determining amino acid availability of feeds. *Poultry Science* **48**: 2135-2137.

BRYDEN, W.L., HEW, L.I and RAVINDRAN, V. (2000) Digestible amino acid values: variation and application. *Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium* **12**: 51-58.

BRYDEN, W.L. and LI, X. (2003) Prediction of amino acid digestibility of complete broiler diets. *Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium* **15**: 67.

BUTTS, C.A., MOUGHAN, P.J., SMITH, W.C., REYNOLDS, G.W. and GARRICK, D.J. (1993) The effect of food dry matter intake on the endogenous ileal amino acid extraction determined under peptide alimentation in the 50 kg liveweight pig. *Journal Science Food Agriculture* **62**: 235-243.

ESTEVE-GARCIA, E., CAPARO, E. and BRUFAU, J. (1993) Formulation with total versus digestible amino acids. Proceedings 9th European Symposium on Poultry Nutrition, 5-9 September, Jelenia Góra, Poland. 318-328.

FERNANDEZ, S.R., ZHANG, Y. and PARSONS, C.M. (1995) Dietary formulation with cottonseed meal on a total amino acid versus a digestible amino acid basis. *Poultry Science* **74**: 1168-1179.

HALEVY, O., GEYRA, A., BARAK, M., UNI, Z. and SKLAN, D. (2000) Early posthatch starvation decreases satellite cell proliferation and skeletal muscle growth in chicks. *Journal Nutrition* **130**: 858-864.

HUANG, K., BRYDEN, W.L., RAVINDRAN, V. and LI, X. (2000) Ileal protein digestibility of selected feedstuffs determined with adult cockerels, layers and broilers. *Asian-Australian Journal Animal Science* **13 (Suppl. A)**: 137.

JANSMAN, A.J.M., SMINK, W., VAN LEEUWEN, P., and RADEMACHER, M. (2002) Evaluation through literature data of the amount and amino acid composition of basal endogenous crude protein at the terminal ileum of pigs. *Animal Feed Science and Technology* **98**: 49-60.

KARAKAS, P., VERSTEEGH, H.A.J., VAN DER HONING, Y., KOGUT, J. and JONGBLOED, A.W. (2001) Nutritive value of the meat and bone meals from cattle or pigs in broiler diets. *Poultry Science* **80**: 1180-1189.

LEMME, A. (2003a) The "Ideal Protein Concept" in broiler nutrition 1. Methodological aspects – opportunities and limitations. *AminoNews™* **4 (1)**: 7-14.

LEMME, A. (2003b) The "Ideal Protein Concept" in broiler nutrition 2. Experimental data on varying dietary Ideal Protein levels. *AminoNews™* **4 (2)**: 7-14.

MCLELLAND, J. (1979) Digestive system. In: *'Form and Function in Birds'*. Eds. A.S KING and J. MCLELLAND, Volume 1, pp. 69-181 London: Academic Press.

McNAB, J. (1995) Amino acid digestibilities: Determination and application to poultry. In: *'Recent Advances in Animal Nutrition in Australia 1995'*. Eds. J.B. ROWE and J.V. NOLAN, University of New England: Armidale, NSW: 7-13.

O'DELL, B.L., WOODS, W.D., LAERDAL, O.A., JEFFAY, A.M. and SAVAGE, J.E. (1960) Distribution of the major nitrogenous compounds and amino acids in chicken urine. *Poultry Science* **39**: 426-432.

PARSONS, C.M. (1986) Determination of digestible and available amino acids in meat meal using conventional and caecectomized cockerels or chick growth assays. *British Journal Nutrition* **56**: 227-240.

PARSONS, C.M., HASHIMOTO, K., WEDEKIND, K.J., HAN, Y. and BAKER, D.H. (1992) Effect of overprocessing on availability of amino acids and energy in soybean meal. *Poultry Science* **71**: 133-140.
PERTTILÄ, S., VALAJA, J., PARTANEN, K., JALAVA, T. and VENÄLÄINEN, E. (2001a) Apparent ileal digestibility of amino acids in protein feedstuffs and diet formulation based on total versus digestible amino acids for poultry. Proceedings 13th European Symposium on Poultry Nutrition, 30 Sept. - 04. Oct., Blankenberge, Belgium. 281-282.
PERTTILÄ, S., VALAJA, J., PARTANEN, K., JALAVA, T., KIISKINEN T. and PALANDER, S. (2001b) Effects of preservation method and β-glucanase supplementation on ileal amino acid digestibility and feeding value of barley for poultry. *British Poultry Science* **42**: 218-229.
RAVINDRAN, V., HEW, L.I. and BRYDEN, W.L. (1998) 'Digestible Amino Acids in Poultry Feedstuffs' (Rural Industries Research and Development Corporation: Canberra and Poultry Research Foundation: The University of Sydney, Camden).
RAVINDRAN, V. and BRYDEN, W.L. (1999) Amino acid availability in poultry - *in vitro* and *in vivo* measurements. *Australian Journal Agricultural Research* **50**: 889-908.
RAVINDRAN, V., HEW, L.I., RAVINDRAN, G. and BRYDEN, W.L. (1999) A comparison of ileal digesta and excreta analysis for the determination of amino acid digestibility in food ingredients for poultry. *British Poultry Science* **40**: 266-274.
RODEHUTSCORD, M., KAPOCIUS, M., TIMMLER, R. and DIECKMANN, A. (2004) Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens. *British Poultry Science* **45**: 85-92.
ROSTAGNO, H.S., PUPA, J.M.R. and PACK, M. (1995) Diet formulation for broilers based on total versus digestible amino acids. *Journal Applied Poultry Research* **4**: 293-299.
SCOTT, T.A. and BOLDAJI, F. (1997) Comparison of inert markers (Chromic oxide or insoluble ash (CeliteTM)) for determining apparent metabolizable energy of wheat- or barley-based broiler diets with or without enzymes. *Poultry Science* **76**: 594-598.
SHORT, F.J., WISEMAN, J. and BOORMAN, K.N. (1999) Application of a method to determine ileal digestibility in broilers of amino acids in wheat. *Animal Feed Science Technology* **79**: 195-209.
SKURRAY, G.R. (1974) The nutritional evaluation of meats meals for poultry. *World's Poultry Science Journal* **30**: 129-136.
SIBBALD, I.R. (1979) A bioassay for available amino acids and true metabolizable energy in feedingstuffs. *Poultry Science* **58**: 668-75.
TEN DOESCHATE, R.A.H.M., SCHEELE, C.W., SCHREURS, V.V.A.M. and VAN DER KLIS, J.D. (1993) Digestibility studies in broilers chicks: Influence of genotype, age, sex and method of determination. *British Poultry Science* **34**: 131-146.
TERPSTRA, K. (1978) Total and digestible amino acids. Proceedings 2nd European Symposium on Poultry Nutrition, Beekbergen, The Netherlands. pp. 97-101.
VIEIRA, S.L. and MORAN, E.T. Jr. (1999) Effects of egg origin and chick post-hatch nutrition on broiler live performance and meat yields. *World's Poultry Science Journal* **55**: 125-142.

Referencias – pérdidas endógenas

CREMERS, S. (2002) Untersuchungen zur scheinbaren und wahren ilealen Protein- und Aminosäurenverdaulichkeit von Fleisch-Knochen-Mehlen beim wachsenden Huhn und Methodenvergleich zur Bestimmung der endogenen Aminosäurenverluste, PhD Thesis, Justus Liebig University, Giessen, Germany.
FERNANDEZ-FIGARES, I., NIETO, R., PRIETO, C. the late, and AGUILERA, C. (2002) Estimation of endogenous amino acid losses in growing chickens given soybean meal supplemented or not with DLmethionine. *Animal Science* **75**: 415-426.
HODGKINSON, S.M. and MOUGHAN, P.J. (2000) Amino acids - The collection of ilea digesta and characterisation of the endogenous component. In: *Feed evaluation - principles and practise*. Edited by P.J. Moughan, M.W.A. Verstegen, and M.I. Visser-Reyneveld, Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. pp. 105-124.
KADIM, I.T., MOUGHAN, P.J. and RAVINDRAN, V. (2002) Ileal amino acid digestibility assay for the growing meat chicken - comparison of ileal and excreta amino acid digestibility in the chicken. *British Poultry Science* **44**: 588-597.
PEREZ, L., FERNANDEZ-FIGARES, I., NIETO, R., AGUILERA, J.F. and PRIETO, C. (1993) Amino acid ileal digestibility of some grain legume seeds in growing chickens. *Animal Production* **56**: 261-267.
RAVINDRAN, V., HEW, L.I. and BRYDEN, W.L. (2000) Comparison of methodologies to estimate endogenous amino acid losses in poultry. *Proceedings Australian Poultry Science Symposium* **12**: 197.
ROSTAGNO, H.S. (2000) Degussa Trial (93 53 99002), Unpublished data.
RUTHERFURD, S.M., CHUNG, T.K. and MOUGHAN, P.J. (2002) The effect of microbial phytase on ileal phosphorus and amino acid digestibility in the broiler chicken. *British Poultry Science* **44**: 598-606.
SIRIWAN, P., BRYDEN, W.L. and ANNISON, E.F. (1994) Use of guanidinated dietary protein to measure losses of endogenous amino acids in poultry. *British Poultry Science* **71**: 515-529.
SIRIWAN, P., BRYDEN, W.L., MOLLAH, Y. and ANNISON, E.F. (1993) Measurement of endogenous amino acid losses in poultry. *British Poultry Science* **34**: 939-949.

Referencias – datos de digestibilidad ileal aparente de materias primas

ALI, M.A. and LEESON, S. (1995) The nutritive value of some indigenous Asian poultry feed ingredients. *Animal Feed Science Technology* **55**: 227-237.
ESTEVE-GARCIA, E., CAPARO, E. and BRUFAU, J. (1993) Formulation with total versus digestible amino acids. Proceedings 9th European Symposium on Poultry Nutrition, 5-9 September, Jelenia Góra, Poland, pp. 318-328.
KARAKAS, P., VERSTEEGH, H.A.J., VAN DER HONING, Y., KOGUT, J. and JONGBLOED, A.W. (2001) Nutritive value of the meat and bone meals from cattle or pigs in broiler diets. *Poultry Science* **80**:1180-1189.
LEMME, A., CREMERS, S., PALLAUF, J., ROSTAGNO, H.S., PACK, M. and PETRI, A. (2001) Apparent and true ileal amino acid digestibility of vegetable and animal protein of different origin in broilers. 13th European Symposium on Poultry Nutrition, 30 Sept - 4 Oct., Blankenberge, Belgium. pp.169-170.
NEWKIRK, R.W. and CLASSEN, H.L. (2001) Prediction of available amino acid content in canola meal. 22nd Western Nutrition Conference, 25 – 27 Sept, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.

PEREZ, L., FERNANDEZ-FIGARES, I., NIETO, R., AGUILERA, J.F. and PRIETO, C. (1993) Amino acid ileal digestibility of some grain legume seeds in growing chickens. *Animal Production* **56**: 261-267.

PERTTILÄ, S., VALAJA, J., PARTANEN, K., JALAVA, T., KIISKINEN, T. and PALANDER, S. (2001b) Effects of preservation method and β-glucanase supplementation on ileal amino acid digestibility and feeding value of barley for poultry. *British Poultry Science* **42**: 218-229.

RODEHUTSCORD, M., KAPOCIUS, M., TIMMLER, R. and DIECKMANN, A. (2004) Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens. *British Poultry Science* **45**: 85-92.

TEN DOESCHATE, R.A.H.M., SCHEELE, C.W., SCHREURS, V.V.A.M. and VAN DER KLIS, J.D. (1993) Digestibility studies in broilers chicks: Influence of genotype, age, sex and method of determination. *British Poultry Science* **34**: 131-146.

Tabla 1. Pérdidas endógenas basales de proteína bruta y aminoácidos determinadas al final del intestino delgado por diferentes técnicas experimentales (promedio ± DE; mg/kg de consumo de materia seca).

Método	Análisis de regresión x ± DE	Dieta sin N x ± DE	Caseína Guanidinizada x ± DE	Gluten de trigo x ± DE	EHC x ± DE
n**	**3**	**7**	**3**	**2**	**5**
Proteína bruta	16367 ***	6277 ± 1369,5	16060 ± 878,4	11370 ± 3010,0	9234 ± 1255,5
Metionina	307 ***	143 ± 41,6		136 ± 24,1	79 ± 14,2
Cistina	408 ***	209 ± 16,1		280 ± 65,1	169 ± 26,8
Met + Cys	715 ***	350 ± 49,2		411 ± 98,4	257 ± 38,6
Treonina	912 ± 249,0	494 ± 148,0	1207 ± 439,2	867 ± 170,3	571 ± 78,1
Triptófano		109 ***		176 ± 43,5	82 ± 6,0
Arginina	715 ± 221,1	329 ± 100,8	507 ± 192,2	384 ± 93,1	216 ± 51,4
Isoleucina	652 ± 404,7	335 ± 87,3	1160 ± 382,2	477 ± 118,4	390 ± 144,5
Leucina	1281 ± 278,6	475 ± 47,7	853 ± 306,2	554 ± 136,6	381 ± 86,5
Valina	817 ± 58,9	420 ± 54,3	1160 ± 208,8	583 ± 213,1	449 ± 119,5
Histidina	349 ± 34,7	193 ± 166,0	255 ± 77,8	201 ± 53,8	209 ± 86,8
Fenilalanina	677 ± 146,7	289 ± 63,3	305 ± 289,9	407 ± 111,9	237 ± 80,8

* Caseína hidrolizada enzimáticamente
** puede ser menor para aminoácidos individuales
*** n = 1 para esos aminoácidos
(Literatura con datos de pérdidas endógenas ileales está listada en las referencias bibliográficas)

Tabla 2. Promedios de pérdidas endógenas basales de proteína bruta (PB) y de aminoácidos (mg/kg CMS) usados para la estandardización obtenidos de cinco experimentos usando caseína hidrolizada enzimáticamente (EHC).

	Contenido (mg/kg CMS)
Proteína bruta	9234
Metionina	79
Cistina	169
Met + Cys	257
Lisina	255
Treonina	571
Triptófano	82
Arginina	216
Isoleucina	390
Leucina	381
Valina	449
Histidina	209
Fenilalanina	237

(Literatura con datos de pérdidas endógenas ileales está listada en las referencias bibliográficas)

Tabla 3. Valores de digestibilidad ileal estandardizada de proteína bruta e aminoácidos (%) de ingredientes para pollos de engorde.

	Obs.*	CP	Lys	Met	Cys	M+C	Thr	Trp	Arg	Ile	Leu	Val	His	Phe
Granos de cereales														
Cebada	3	90	88	88	88	89	85	69	85	90	86	85	86	83
Maíz	6	90	92	94	87	90	85	81	93	95	94	92	95	94
Sorgo	5	86	90	89	79	84	83	87	88	90	88	87	84	89
Subpr. arroz	3	68	76	71	65	68	66	50	78	66	66	68	80	65
Triticale	3	87	85	90	87	88	87	86	83	91	88	87	90	86
Trigo	11	88	86	91	90	91	87	86	85	94	90	90	90	90
Harinilla trigo	3	78	80	83	74	78	73	79	80	82	80	77	80	78
Fuentes de proteína vegetal														
Harina gluten maíz	1	86	76	88	78	83	79	66	86	86	91	85	86	88
Harina algodón	4	78	65	72	74	73	68	80	88	71	73	74	81	81
Altramuz	5	86	87	89	83	85	83	82	91	85	85	84	89	85
Arvejas/frijoles	8/1	76	85	73	65	68	78	66	87	77	76	72	82	77
Harina canola	68	76	80	84	77	80	73	80	87	79	82	79	85	83
Harina soya	37	90	90	91	82	86	85	89	93	89	89	88	92	89
Harina girasol	3	84	87	92	80	87	82	87	93	89	88	87	88	90
Subproductos de origen animal														
Harina plumas	1	57	57	61	49	51	53	46	68	73	66	67	60	68
Harina pescado	4	80	86	86	71	82	80	78	82	85	885	83	78	82
Har. Carne y huesos	30	65	69	72	49	62	62	55	77	69	71	70	71	70

* Número de observaciones para coeficientes de digestibilidad ileal estandardizada

Tabla 4. Niveles recomendados de aminoácidos digestibles ileales estandardizados para pollos de engorde con base en el contenido ideal de lisina dietética y concepto de proteína ideal.

Fase, Período, días	Inicial I 1-5		Inicial II 6-14		Crecimiento 15-35		Terminación I 35-45		Terminación II >45	
	ileal estand.		ileal estand.		ileal estand.		ileal estand.		ileal estand.	
Lisina dig., **g/MJ EM**	1,03		0,98		0,85		0,75		0,70	
Energía, **MJ EM/kg**	12,6		12,8		13,0		13,2		13,4	
Lisina dig. ileal, % dieta	1,30		1,25		1,11		0,99		0,94	
Proteína dig. ileal*, % dieta	22,0		20,0		18,0		17,0		16,5	
	% dieta	**Lys= 100**	**% dieta**	**Lys= 100**	**% dieta**	**Lys= 100**	**% dieta**	**Lys= 100**	**% dieta**	**Lys= 100**
Met	0,59	*45*	0,56	*45*	0,49	*44*	0,43	*43*	0,40	*43*
Met+Cys	0,94	*72*	0,91	*73*	0,83	*75*	0,76	*77*	0,74	*79*
Thr	0,82	*63*	0,80	*64*	0,72	*65*	0,65	*66*	0,63	*67*
Trp	0,21	*16*	0,20	*16*	0,18	*16*	0,17	*17*	0,16	*17*
Arg	1,33	*102*	1,29	*103*	1,17	*105*	1,06	*107*	1,01	*107*
Val	1,03	*79*	0,99	*79*	0,89	*80*	0,80	*81*	0,76	*81*
Ile	0,88	*68*	0,85	*68*	0,78	*70*	0,71	*72*	0,69	*73*
Leu	1,39	*107*	1,34	*107*	1,19	*107*	1,06	*107*	1,01	*107*

* Si se consideran todos los aminoácidos esenciales como restricción mínima en la formulación lineal, los contenidos digestibles ileales serán similares o más altos que los presentados en la tabla. Así, los niveles de proteína bruta son aproximadamente el 2% más altos, dependiendo de los ingredientes utilizados.