

APROVECHAMIENTO INTESTINAL DE LA PROTEÍNA DE LOS ALIMENTOS EN RUMIANTES

Javier González Cano
Departamento de Producción Animal.
Universidad Politécnica de Madrid

1.- INTRODUCCIÓN

Debido a su compleja fisiología digestiva, los rumiantes disponen de dos fuentes de suministro de aminoácidos: la proteína microbiana sintetizada en el rumen y la proteína de los alimentos no degradada en éste. Consecuentemente, la digestibilidad en el intestino de esta última fracción es un elemento básico en los actuales sistemas de racionamiento de rumiantes. Lamentablemente, su determinación es muy compleja, al estar la proteína no degradada constituida por el flujo de proteína que abandona el rumen tras la ingestión del alimento (proteína by-pass), fracción ésta difícil de estimar, aislar o reproducir. Esta dificultad se comprende fácilmente al considerar que en el flujo post-ruminal se mezclan proteínas microbianas y proteínas by-pass, provenientes, además, de los distintos alimentos integrantes de la dieta.

Estas dificultades se incrementan al depender en buena medida el valor de digestibilidad intestinal de un alimento de su digestión previa en el rumen, al condicionar ésta el sitio y la eficacia de digestión. En consecuencia, la digestibilidad intestinal de la proteína de un alimento está afectada por los distintos factores que condicionan su degradabilidad ruminal, variando su valor, al igual que el de ésta última, no sólo con las características de las proteínas y del alimento, sino también con las características de la dieta y del animal. Por otra parte, dado el carácter subsidiario de la digestión intestinal, sus valores quedan afectados de forma automática por los posibles errores que se comentan en la estimación de la degradabilidad ruminal. Consecuentemente, el empleo de metodologías precisas de medida es un objetivo prioritario. Así mismo, dada la complejidad y/o

laboriosidad de estas medidas y las amplias variaciones que pueden existir dentro de una misma categoría de alimentos, existe un gran interés en el desarrollo de métodos que permitan una predicción rápida y sencilla.

2.- MÉTODOS DE DETERMINACIÓN

La exposición de las metodologías utilizadas para establecer de digestibilidad intestinal de la proteína de los alimentos resulta básica para poder apreciar la fiabilidad y limitaciones de los valores actualmente disponibles. Así, en este apartado se realiza una breve discusión crítica de los principales métodos utilizados:

2.1.- Método *in vivo*

La digestibilidad intestinal aparente de la proteína no degradada en el rumen se establece a partir de su desaparición entre duodeno e ileon, precisando, por tanto, el uso de animales múltiplemente canulados, así como establecer la síntesis ruminal de proteína microbiana. Este método resulta, pues, extremadamente complejo y laborioso, no siendo adaptable al estudio sistemático de los alimentos. Además presenta otras limitaciones de importancia:

- Imprecisiones asociadas al uso de marcadores microbianos y de flujo digestivo. En particular, cualquier error o incertidumbre en la estimación de la síntesis de proteína microbiana en el rumen se traslada de forma automática y amplificada a esta estima, al ser la proteína microbiana marcadamente mayoritaria en el flujo post-ruminal de proteína.
- La conveniencia de corregir estas medidas por los aportes de N endógeno (enzimas, bilis, mucus,...), de difícil estimación, para la obtención de valores de digestibilidad real.
- Los valores obtenidos corresponden al flujo total de proteína (microbiana y dietética) promovido por la dieta. La obtención de valores para un alimento específico complica esta determinación al ser necesario emplear técnicas de regresión o de respuesta marginal (sobre una dieta basal), que pueden implicar cambios en la síntesis de proteína microbiana, lo que reduce su fiabilidad. Las medidas tienen que realizarse además en distintos periodos experimentales, lo que aumenta su imprecisión (Voigth et al., 1985).

2.2.- Descomposición factorial de la excreción fecal de nitrógeno

Éste es el método utilizado en el sistema del INRA de la proteína digestible en el intestino (PDI; Vérité et al., 1987). Mediante métodos de regresión y a partir de múltiples

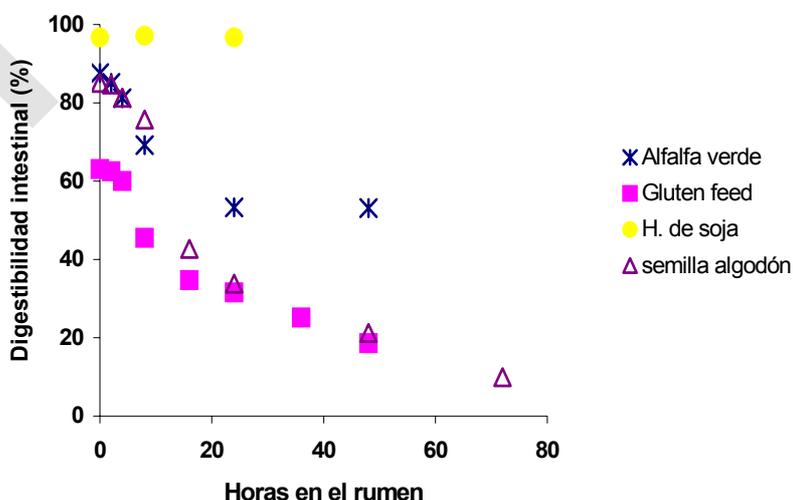
ensayos de digestibilidad se ha descompuesto esta excreción en función de sus tres principales orígenes: proteína microbiana sintetizada, proteína alimentaria y proteína endógena. La proteína no digerida no se determina, sin embargo, de forma directa, sino por la diferencia entre la excreción total y la suma de las estimas de los otros dos componentes, al considerar esta estimación indirecta más fiable. El método da lugar a valores aproximativos que, además se consideran constantes en cada categoría de alimentos. En su aplicación actual, el método PDI utiliza valores de digestibilidad intestinal elaborados a partir de los comentados y de otros obtenidos mediante métodos *in situ* (Sauvant et al., 2002).

2.3.- Métodos *in situ*

Consisten en la incubación de muestras de alimentos (pre-incubadas en el rumen) en bolsas de nylon que se hacen transitar por el intestino entre el duodeno y el ileon o que se recuperan de las heces. Inicialmente, el método es de fácil aplicación, aunque precisa del empleo de animales canulados, A esta simplicidad contribuye el que se pueda obviar la incubación en el abomaso, al no aportar ésta variaciones sobre los valores obtenidos a partir de la digestión en el intestino (Yang y Poncet, 1988; Vanhatalo et al., 1995; Beckers et al., 1996). Su principal ventaja es ser adaptable a estudios sistemáticos sobre un amplio número de alimentos, siendo por tanto el más utilizado en los sistemas de racionamiento. Sin embargo, estas valoraciones se encuentran limitadas en la mayor parte de los alimentos por la disminución de la digestibilidad intestinal con el tiempo de pre-incubación ruminal, al aumentar el contenido en compuestos indigestibles en la partículas de alimento con la progresión de las acciones degradativas microbianas (González et al., 1999). Un ejemplo de estos efectos se presenta en la figura 1.

Figura 1.- Evolución de la digestibilidad intestinal (%) en función del tiempo de permanencia de las partículas de alimento en el rumen.

(el valor a 0 horas corresponde a la PB insoluble total)



Una práctica muy común para obviar esta dificultad es utilizar un único tiempo de incubación ruminal. Sin embargo, este método no simula adecuadamente la fisiología ruminal, de forma que la composición del residuo resultante difiere de la correspondiente a la proteína by-pass. El sesgo introducido en gran parte de los alimentos es importante, lo que invalida su utilización para estimar la digestibilidad intestinal. Éste hecho es más importante en el caso de los aminoácidos, al depender su degradación ruminal (y su digestibilidad intestinal) de la resistencia a la degradación de las proteínas que los contienen (González et al., 2006a). Otra variante inadecuada de estos estudios es realizar la incubación intestinal directamente sobre el alimento integro para establecer su contenido en PB indigestible. Evidentemente, este método presenta los inconvenientes anteriormente indicados y no es en absoluto fisiológico, ya que parte de los componentes indigestibles en el intestino podrían haber sido digeridos en el rumen.

Con objeto de obtener una correcta estimación se ha propuesto el concepto de digestibilidad intestinal efectiva (DIE; González et al., 1999) correspondiente a la digestibilidad del flujo post-ruminal de proteína del alimento generado a partir de la ingestión de éste. Este concepto (así como la manera de abordarlo matemáticamente) es análogo al de degradabilidad efectiva (DE) en el rumen (Ørskov y McDonald, 1979), que permitió la aplicación de las técnicas *in situ* a los sistemas de valoración proteica.

Estos valores pueden obtenerse mediante dos métodos alternativos:

- Integración matemática de las funciones que definen el flujo de proteína que abandona el rumen y la digestibilidad intestinal de ésta en el tiempo. Este método es muy laborioso, ya que para establecer esta última función es necesario determinar la digestibilidad intestinal de los residuos resultantes de todos los tiempos de incubación en el rumen ensayados. Por otra parte, la forma de esta función es muy variable entre alimentos (funciones exponenciales, lineales-exponenciales, sigmoideas,...) existiendo diferentes expresiones de cálculo adaptadas a cada caso (González et al., 1999, 2001, 2003).
- Generación de una muestra representativa del flujo post-ruminal de alimento y estudio de su digestibilidad intestinal. Esta muestra se obtiene mezclando de forma ponderada los residuos de incubación ruminal en función del flujo de alimento, estableciéndose éste, a su vez, a partir de la degradación y tránsito en el rumen de su MS (González et al., 2005). Este método es mucho menos complejo y laborioso que el anterior y presenta como ventajas adicionales el proporcionar simultáneamente una estima de la degradabilidad ruminal y el ser aplicable a múltiples nutrientes, como p.e. aminoácidos, lo que es poco factible por el método anterior.

2.4.- Métodos *in vitro*

La digestión enzimática intestinal de la proteína puede simularse adecuadamente mediante la utilización *in vitro* de un cóctel enzimático (Todorov y Girginov, 1991; Calsamiglia et al., 1995). Al igual que en el método anterior, la validez de estas estimas está lógicamente sujeta a la obtención de valores efectivos, lo que no es usual.

2.5.- Predicción de la digestibilidad intestinal

El AFRC (1992) determina la proteína digerida en el intestino como una fracción constante (0,9) de la proteína no degradada disminuida en la cantidad de PB insoluble en solución ácido detergente, al considerar totalmente indigestible esta fracción. Esta asunción es, sin embargo, discutible, pues en alimentos tratados térmicamente una parte de la misma es aprovechable (Waters et al., 1992). En alimentos no tratados también se ha demostrado una digestión parcial en el rumen de esta fracción proteica (Aufreere et al., 1994a). La predicción anterior está basada, por otra parte, en estudios *in vitro* realizados exclusivamente con forrajes y escasamente documentados (Webster et al., 1984).

En este trabajo se ensaya también la predicción de la proteína digerida en el intestino a partir de valores de su degradabilidad ruminal y de composición química, utilizándose para ello valores de digestión intestinal efectiva obtenidos por métodos *in situ*.

3.- DIGESTIBILIDAD INTESTINAL DE LA PROTEÍNA NO DEGRADADA

En el cuadro 1 se exponen los valores de digestibilidad intestinal efectiva obtenidos en ovinos por el Departamento de Producción Animal de la Universidad Politécnica de Madrid. En este mismo cuadro se indican a título comparativo los valores retenidos para este parámetro por el INRA (Vérité et al., 1987, Sauvant et al., 2002) y el NRC (2001).

Aunque la digestibilidad intestinal resulta uniforme en algunos alimentos, generalmente con bajo contenido en componentes indigestibles (harinas y semillas de soja, gluten meal), es frecuente la existencia de importantes diferencias en otros grupos de alimentos. Estas diferencias son debidas bien a la naturaleza de las muestras, bien al efecto de los posibles tratamientos tecnológicos utilizados para su obtención o bien a las características de la dieta suministrada a los animales. Las diferencias son más elevadas en el caso de los forrajes o los subproductos de mezcla como el gluten feed. En consecuencia, la utilización de un valor único de digestibilidad intestinal para estos grupos de alimentos, como es usual en los sistemas actuales de valoración, no es una práctica adecuada.

Cuadro 1.- Digestibilidad intestinal efectiva de diferentes alimentos y comparación con los valores utilizados en los sistemas de racionamiento del INRA (a: Vérité et al., 1987; b: Sauvant et al., 2002) y el NRC (2001).

	n	Media	ES	Rango	INRA		
					a	b	NRC
<u>Cereales y semillas</u>							
Trigo	2	86,1	1,53	84,6-87,7	95	91	95
Cebada	2	80,0	2,76	77,2-82,7	85	91	85
Maíz	1	82,0			95	90	90
Maíz tratado	1	90,1					90
Semilla algodón	1	65,9				71	80
Semilla colza	1	71,9			60	80	50
Soja extrusada	2	96,4	0,93	95,5-97,3	85	88	85
<u>Harinas de extracción (solvente)</u>							
H. de soja	4	97,6	0,44	96,8-98,8	90	95	93
H. de girasol	3	77,4	1,53	75,2-80,4	85	87	90
H. de girasol protegida ¹	3	82,9	1,41	80,1-84,4			
H. de copra	1	91,3				89	90
<u>Subproductos de cereales</u>							
Bagazo de cerveza fresco	1	83,7					85
Bagazo de cerveza deshidratado	5	83,0	1,14	79,7-86,7		84	80
Gluten feed	3	67,5	11,3	45,0-79,2	85	85	85
Gluten meal	2	96,0	0,60	95,5-96,7	90	90	92
Granos secos (maíz) de destilería	1	87,6				90	80
Harina de germen de maíz	1	79,8			85	88	
Harina zootécnica	1	66,4				88	90
<u>Forrajes</u>							
Alfalfa verde	7	56,2	2,07	48,7-63,6	75		
Alfalfa deshidratada	2	51,2	4,60	46,6-55,8	70	75	75
Heno de alfalfa	3	58,2	3,82	53,1-65,7	75		70
Heno de raygrás	1	63,6			70		65
Raygrás verde	1	52,1					
Silo de raygrás	1	37,9			60		60
Maíz forrajero	1	52,8					
Silo de maíz	1	49,8			70		70

¹Tratamientos con calor o con soluciones ácidas + calor

Existe un cierto grado de discrepancia entre nuestros valores y los retenidos en los sistemas del INRA y del NRC (2001). Estas diferencias deben considerarse teniendo en cuenta las limitaciones de los métodos empleados, así como que muchos de nuestros valores están representados por una única muestra. A este respecto, conviene también señalar que la relativa similitud entre los valores retenidos por el INRA y el NRC es debida a que los últimos están basados en gran medida en los primeros. Las mayores diferencias se observan para los forrajes, que según nuestros valores tendrían un aprovechamiento ruminal mucho menor. En el epígrafe 5 se insiste nuevamente en esta diferencia a partir de criterios adicionales.

4.- PREDICCIÓN DE LA DIGESTIÓN INTESTINAL

Como ya se ha comentado anteriormente, debido a sus respectivas posiciones anatómicas, la digestión en el intestino delgado es subsidiaria de la digestión ruminal, al determinar ésta última el sitio de digestión (rumen o intestino) de las proteínas de los alimentos. Debido a esta dependencia, resulta más conveniente y sencillo el intentar predecir la proporción de proteína del alimento que es digerida en el intestino (de forma análoga a la utilizada por el AFRC, 1992) y no la digestibilidad intestinal de la proteína no degradada. Así, la bondad de las predicciones obtenidas es muy superior utilizando el primero de estos parámetros, ya que esta forma de expresión recoge las dos acciones fundamentales que sobre la utilización de las proteínas se producen en estas especies (digestión en el rumen y el intestino), siendo, por otra parte, el valor que realmente se emplea en el racionamiento. A partir de la colección de muestras indicadas en el cuadro 1, se ha predicho, mediante regresión múltiple, el porcentaje de PB del alimento digerida en el intestino (PBDI; cuadro 2) utilizando como variables predictoras la degradabilidad efectiva de la PB en el rumen (DEPB) y la composición química del alimento: PB, fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), lignina y la proporción de N insoluble en soluciones FND y FAD (N-FND y N-FAD, respectivamente).

Cuadro 2. Ecuaciones de predicción de la PB digerida en el intestino (PBDI) de ovinos en función de la degradabilidad efectiva de la PB (DEPB) y de la composición química del alimento.

Ecuación	R ²	P
<u>Concentrados y subproductos industriales (n = 36)</u>		
PBDI ^a = 93,1 – 0,977 DEPB ^a	0,968	<0,001
PBDI ^a = 84,8 – 0,908 DEPB ^a + 0,138 PB ^b	0,980	<0,001
<u>Forrajes (n = 17)</u>		
PBDI ^a = 62,1 – 0,645 DEPB ^a	0,938	<0,001
PBDI ^a = 66,3 – 0,767 DEPB ^a + 0,309 PB ^b	0,972	<0,001

^a% sobre PB total. ^b% sobre MS

Las ecuaciones de predicción obtenidas identifican a la DEPB como la principal variable predictora, tanto en alimentos concentrados o subproductos industriales como en forrajes. Esta dependencia ya fue indicada en este mismo foro a partir de un número limitado de datos (González, 1994). Se evidencia también una estrecha correlación entre ambos parámetros, menor en el caso de los forrajes ($r = -0,968$) que en los concentrados ($r = -0,984$). Sin embargo esta relación es diferente entre ambos grupos de alimentos, siendo menor el aprovechamiento intestinal de los primeros (figura 2). Esta elevada correlación conlleva una importante ventaja metodológica, al permitir la determinación de la DE de la PB una valoración proteica completa. La utilización de la PB como segunda variable independiente permite mejorar la precisión de estas estimas en ambos grupos de alimentos. La demostración gráfica del ajuste de estas últimas predicciones se muestra en las figuras 3a y 3b para concentrados y forrajes, respectivamente.

Figura 2.- Variación del contenido en PB digerida en el intestino de los alimentos en función de su degradabilidad ruminal (DE PB).

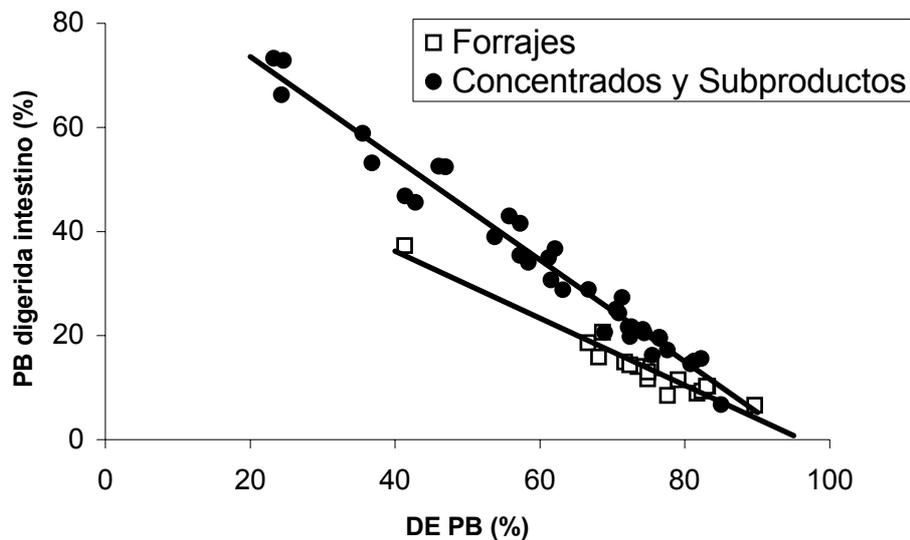
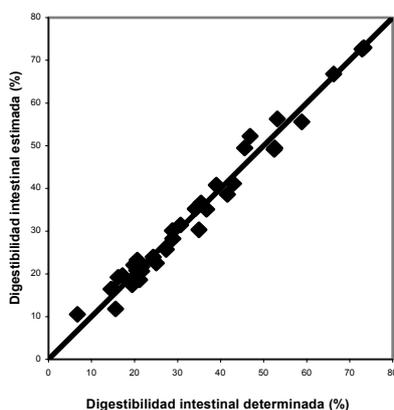
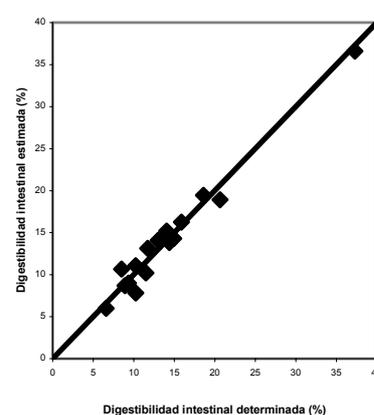


Figura 3.- Relación entre los valores determinados y estimados del contenido en PB digerible en el intestino (PBDI) de los alimentos en función de su contenido en PB y de la degradabilidad ruminal de ésta (DE PB).

a) Concentrados y subproductos



b) Forrajes



Las ecuaciones del cuadro 2 son de aplicación general al haberse obtenido los datos que las soportan en un total de ocho experimentos, con diferentes animales, dietas y niveles de ingestión. Estas ecuaciones determinan valores aparentes de digestión, que es la forma de expresión usual utilizada en los sistemas de valoración basados en métodos *in situ*. Las posibles limitaciones de esta forma de expresión y de estos valores se discuten en el epígrafe siguiente.

5.- LIMITACIONES DE LAS ESTIMAS *IN SITU*

Si bien la dependencia de la digestión en el intestino de la digestión previa en el rumen permite una predicción precisa de la primera, también tiene el inconveniente de que cualquier error que se cometa en la estima de la degradación ruminal repercute en la estima de la digestibilidad intestinal, siendo ambos errores normalmente aditivos.

Los posibles errores a nivel de la estima de la degradabilidad implican tanto subvaloraciones como sobrevaloraciones de la fracción de proteína no degradada en el rumen como consecuencia de:

- Subvaloraciones
 - El posible escape del rumen de proteínas solubles sin degradar.
 - La fuga de las bolsas de nylon de partículas de pequeño tamaño.
- Sobrevaloraciones
 - La contaminación microbiana asociada a la degradación del alimento por microorganismos adherentes.
 - La utilización de modelos de tránsito simplistas, que únicamente consideran la salida de partículas del alimento del rumen y no los mecanismos previos que la hacen posible.

En base a la muy elevada actividad proteolítica y desaminativa observada en el líquido ruminal, los sistemas de valoración basados en técnicas *in situ* consideran la fracción de proteína soluble de los alimentos como totalmente degradable. No obstante, a este nivel existe cierta discrepancia entre los trabajos existentes. Aufrere et al. (1994b, 1999, 2000, 2001) han realizado una serie de trabajos controlando la concentración de proteína y péptidos en el líquido ruminal tras la ingestión de diferentes tipos de alimentos, no observando en general una acumulación apreciable que pudiese dar lugar a un escape de importancia. En los sistemas actuales de alimentación, caracterizados por una ingestión lo más continua y uniforme posible, las condiciones ruminales (moderada liberación puntual de sustratos solubles y alta actividad de los microorganismos asociados a la fase líquida) no son en absoluto favorables a este escape.

El posible escape de partículas de pequeño tamaño a través de los poros de la bolsa implica considerar su PB como soluble y, por tanto, totalmente degradable. La subvaloración de la proteína no degradada que ello conlleva, es sin embargo poco importante en gran parte de los alimentos vegetales dada la alta degradabilidad de su PB. Por otra parte, esta fuga puede minimizarse con el aumento del tamaño de partícula de los alimentos a incubar. Para los valores expuestos en el cuadro 1, los alimentos se molieron utilizando una criba de 2 mm, siendo pues poco importantes estas fugas.

Los microorganismos del rumen adheridos a las partículas de alimento, a la vez que las degradan, las contaminan, resultando imposible su eliminación total de los residuos de incubación debido a su fuerte nivel de adherencia. En consecuencia, las estimas de la fracción de PB no degradada en el rumen incluyen en realidad una fracción de PB microbiana que resulta muy variable entre alimentos. En el cuadro 3 se sumarizan los resultados obtenidos en nuestro departamento mediante el marcaje con ^{15}N de los microorganismos sobre 22 tipos de alimentos. Puede apreciarse, que esta fracción (y el error asociado) es pequeña en pocos alimentos (harinas animales y concentrados vegetales con alta concentración de proteína). Sin embargo, en la mayor parte de los concentrados y en los subproductos industriales esta fracción es entre moderada e importante y siempre muy importante en los forrajes.

Cuadro 3.- Importancia de la fracción microbiana (%) incluida en las estimas aparentes de PB no degradada en el rumen de ovinos.

Alimento		Alimento	
Harina de pescado	0,46 ¹	Bagazo de cervecería	7,06 ¹
Harina de carne	1,38 ¹	Pulpa de remolacha	13,1 ¹
Harina de soja	1,74 ¹ /1,60 ⁴ /1,91 ⁷	Cascarilla de soja	14,1 ¹
Harina de girasol	8,35 ¹ /5,85 ⁷ /1,70 (2,08) ⁸	Heno de alfalfa	15,6 ¹ /21,4 (28,8) ³
Soja integral	2,84 ¹	Heno de veza-avena	35,4 ¹ /25,3 ⁷
Semilla de algodón	10,0 ²	Heno de raygrás	46,3 (70,6) ⁸
Trigo	3,29 ⁸	Raygrás verde	38,0 (42,9) ⁵
Cebada	10,6 ¹ /11,1 ⁴	Ensilado de raygrás	42,9 (53,8) ⁵
Maíz	13,9 ¹ /7,84 ⁷	Maíz forrajero	30,4 (41,9) ⁶
Gluten feed	6,00 ¹	Ensilado de maíz	32,0 (42,6) ⁶
Salvado de trigo	11,4 ¹	Paja de lenteja	36,9 ¹ /25,8 ⁷

¹Rodríguez y González (2006); ²González et al. (2006a); ³González et al. (2006b); ⁴Ouarti (2005); ⁵González et al. (2006c); ⁶González (no publicado); ⁷Rodríguez et al. (no publicado). ⁸Arroyo (no publicado).

Los valores correspondientes a las referencias 1-6 y 7-8 se obtuvieron respectivamente con niveles de ingestión moderados o altos: 40-50 y 80 g MS/kg ^{0,75}. Las referencias 1 y 7 corresponden a un mismo experimento.

Los valores indicados entre paréntesis se obtuvieron considerando la tasa de conminución de partículas en adición a su tasa de salida del rumen.

Esta contaminación microbiana se elimina prácticamente al digerir las muestras en el intestino, lo que añade un segundo error en la estima del contenido en PB digestible en el intestino del alimento. La importancia de este nuevo error aumenta lógicamente al reducirse la digestibilidad intestinal de la PB del alimento considerado, siendo pues nuevamente muy bajo en alimentos como la harina o el haba de soja o el gluten meal y muy elevado en los forrajes, como se desprende de los valores de digestibilidad (no corregidos por esta contaminación) indicados en el cuadro 1. Un ejemplo de la importancia de estos errores en la valoración proteica de distintos alimentos se expone en el cuadro 4.

Cuadro 4.- Sobrevaloración proteica en ovinos debida a la contaminación microbiana en el rumen.

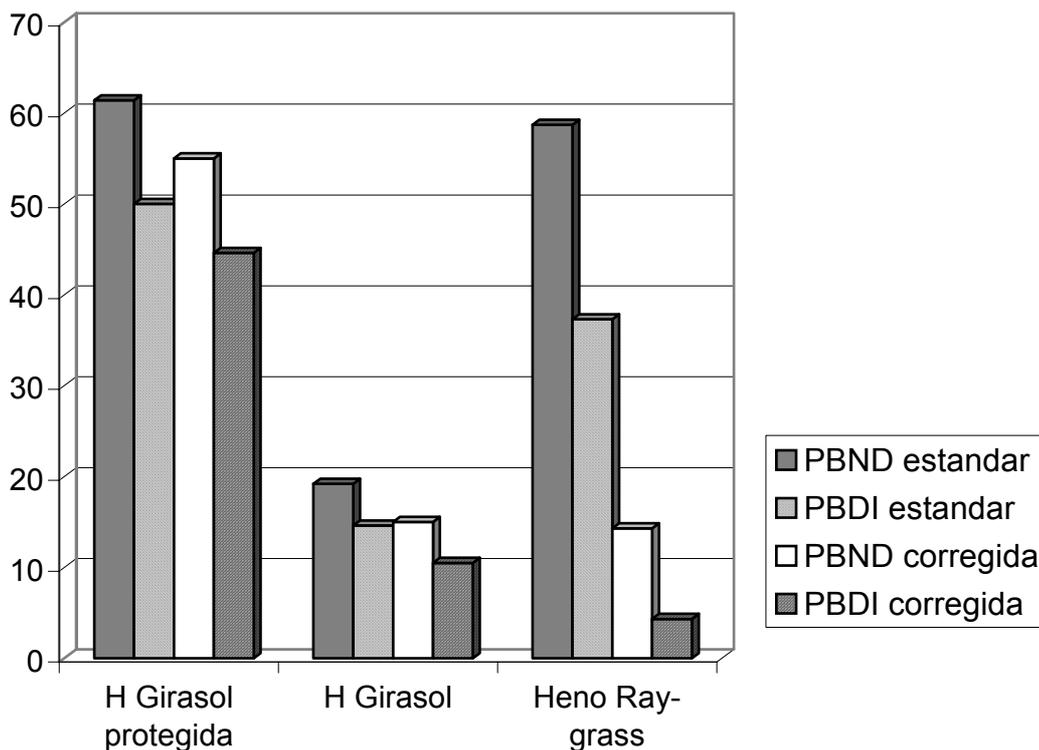
Alimento	PB no degradada ¹	Error (%)	PB digerida en intestino ¹	Error (%)
H. de soja	52,2	1,57	51,6	1,57
H. de girasol	18,9	1,49	14,3	1,81
H. de girasol protegida	60,0	1,46	49,2	1,71
Trigo	17,2	3,52	15,0	3,90
Cebada	20,8	12,6	16,9	15,4
Heno de alfalfa	23,2	35,2	13,6	51,6
Heno de raygrás	31,6	85,8	15,6	140

¹Valores establecidos a partir de la tasa de salida de partículas del rumen corregidos por la contaminación microbiana ruminal

La fracción no degradada (y la degradabilidad ruminal) se estima usualmente en base a considerar la tasa de salida del rumen de partículas finas. Sin embargo, los procesos de aumento de densidad y reducción del tamaño de las partículas, necesarios para su escape de los mecanismos de atrapamiento ruminal, implican un tiempo adicional de residencia en el rumen y, paralelamente, una reducción en las estimas de la fracción no degradada, así como cambios en la composición de la misma. Este proceso ya fue tenido en cuenta por el ARC (1984), indicando la conveniencia de considerar, adicionalmente a la tasa de evacuación del alimento, una tasa de conminución y mezcla de sus partículas. Sin embargo, dada su mayor complejidad, este modelo ha sido escasamente utilizado. González et al. (2006b) indican que la sobrevaloración de la fracción de PB no degradada por no considerar la tasa de conminución debe ser siempre importante, ya que ésta representa el 13,1, 34,2 y 21,2% para la harina de soja, la cebada y el heno de alfalfa, respectivamente. Los cambios en la composición de esta fracción debidos al mayor tiempo de permanencia en el rumen implican aumentos simultáneos de la fracción microbiana contenida en la misma (ver cuadro 3) y de compuestos más extensamente degradados y por tanto menos digestibles en el intestino. La toma en consideración de ambos procesos de forma conjunta (uso de la tasa de conminución y corrección de la contaminación microbiana) da lugar a errores de importancia en todo tipo de alimentos, como tienden a

indicar nuestros últimos trabajos (figura 4). La importancia de los errores obtenidos en forrajes, así como en concentrados, tanto de baja (y lenta), como de alta (y rápida) degradación indican la conveniencia (por no decir la necesidad) de realizar las valoraciones *in situ* en estos nuevos términos. El bajo contenido en proteína digestible en el intestino que puede apreciarse en esta figura para el heno de raygrás italiano es ilustrativo de la importancia de este error en los forrajes. Un bajo contenido en proteína digestible en el intestino se ha evidenciado también utilizando estas técnicas en otros forrajes como el raygrás italiano verde y ensilado (González et al., 2006c) o el heno de alfalfa y el maíz forrajero verde y ensilado (datos no publicados). Este bajo contenido es concordante con observaciones previas de que los aportes de aminoácidos para el rumiante correspondientes a los forrajes se derivan básicamente de la proteína microbiana sintetizada en el rumen a partir de su fermentación en éste.

Figura 4.- Estimaciones de los contenidos en PB no degradada (PBND) y PB digestible en el intestino (PBDI) sin considerar o considerando la contaminación microbiana y la tasa de conminución de partículas en el rumen.



6.- CONCLUSIONES

La estrecha relación entre el aprovechamiento ruminal e intestinal de la proteína permite obtener una valoración proteica completa de los alimentos mediante la predicción de

la fracción digerida en el intestino en base a la degradabilidad de la proteína en el rumen. Esta relación es diferente en concentrados y forrajes siendo estos últimos menos digestibles.

Dada esta dependencia, la obtención de valoraciones proteicas correctas exige el empleo de metodologías precisas y adaptadas a la fisiología ruminal. Las medidas actualmente en uso no cumplen estos requisitos y como consecuencia, en muchos alimentos, subvaloran los aportes del N degradable que quedan a disposición de los microorganismos ruminales y sobrevaloran los aportes de proteína digestible en el intestino de los alimentos, siendo esta sobrevaloración especialmente importante en el caso de los forrajes.

7.- REFERENCIAS

- AFRC (1992) *Nutr. Abstr. Rev. (series B)* **62**: 787-835.
- ARC (1984) The nutrient requirement of ruminant livestock. Supplement 1. Report of the protein group of the ARC Working Party on the nutrient requirement of ruminants. Commonwealth Agricultural Bureaux, Brussels, Belgium.
- AUFRÈRE, J., BOULBEHANE, D. y GRAVIOU, D. (1994a) *Ann. Zootech.* **43**, 273.
- AUFRÈRE, J., BOULBEHANE, D., GRAVIOU, D., ANDRIEU, J.P. y DEMARQUILLY, C. (1994b) *Anim. Feed Sci. Technol.* **50**: 75-85.
- AUFRÈRE, J., GARCÉS, C., GRAVIOU, D., HERNANDO, I. y DEMARQUILLY, C. (1999) *Ann. Zootech.* **48**: 263-273.
- AUFRÈRE, J., GRAVIOU, D., BAUMONT, R., DETOUR, A. y DEMARQUILLY, C. (2000) *Ann. Zootech.* **49**: 461-474.
- AUFRÈRE, J., GRAVIOU, D., MELCION, J.P. y DEMARQUILLY, C. (2001) *Anim. Feed Sci. Technol.* **92**: 215-236.
- BECKERS, Y., THÉWIS, A. y MAUDOUX, B. (1996) *Anim. Feed Sci. Technol.* **61**: 305-323.
- CALSAMIGLIA, S. y STERN, M.D. (1995) *J. Anim. Sci.* **88**: 1459-1465.
- GONZÁLEZ, J. (1994) En: *X Curso de Especialización FEDNA*. Madrid, pp 211-226.
- GONZÁLEZ, J., SÁNCHEZ, L. y ALVIR, M.R. (1999) *Reprod. Nutr. Dev.* **39**: 607-616.
- GONZÁLEZ, J., FARÍA-MÁRMOL, J., RODRÍGUEZ, C.A. y ALVIR, M.R. (2001) *Rep. Nutr. Dev.* **41**: 381-392.
- GONZÁLEZ, J., FARÍA-MÁRMOL, J., MATESANZ, B., RODRÍGUEZ, C.A. y ALVIR, M.R. (2003) *Rep. Nutr. Dev.* **43**: 29-40.
- GONZÁLEZ, J., FARÍA-MÁRMOL, J., RODRÍGUEZ, C.A., OUARTI, M., ALVIR, M.R. y CENTENO, C. (2006a) *Anim. Sci.* **82**: 75-81.
- GONZÁLEZ, J., OUARTI, M., RODRÍGUEZ, C.A. y ALVIR, M.R. (2006b) *Anim. Feed Sci. Technol.* **125**: 89-98.
- GONZÁLEZ, J., FARÍA-MÁRMOL, J., RODRÍGUEZ, C.A. y MARTÍNEZ, A. (2006c) *Anim. Feed Sci. Technol.* (en prensa).

- NRC (2001) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. Seventh revised edition, National Academy Press. Washington DC, USA.
- ØRSKOV, E.R. y McDONALD, I. (1979) *J. Agric. Sci., Camb.* 92: 499-503.
- OUARTI, M. (2005) *Protección de las proteínas de la harina de soja mediante el tratamiento combinado con ácido málico y calor: Valoración proteica mediante ensayos in situ*. Tesis de Master. Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
- RODRÍGUEZ, C.A. y GONZÁLEZ, J. (2006) *Brit. J Nutr.* 96: 316-325.
- SAUVANT, D., PEREZ, J.M. y TRAN, G. (2002) *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage*. INRA Editions, Paris, Francia.
- TODOROV, N.A. y GIRGINOV, D.G. (1991) En: *Proc. 6th Int. Symp. Protein Metabolism and Nutrition*, Herning, Denmark, pp. 80-83.
- VANHATALO, A., ARONEN, I. y VARVIKKO, T. (1995) *Anim. Feed Sci. Technol.* 55: 139-152.
- VERITE, T., CHAPOUTOT, P., MICHALET-DOREAU, B., PEYRAUD, J.L. y PONCET, C. (1987) *Bull. Techn. CRZV, Theix, INRA.* 70: 19-34.
- VOIGT, J., PIATKOWSKI, B., ENGELMANN, H. y RUDOLPH, E. (1985) *Arch. Tierernähr.* 35: 555-562.
- WATERS, C.J., KITCHERSIDE, M.A. y WEBSTER, A.J.F. (1992) *Anim. Feed Sci. Technol.* 39: 279-291.
- WEBSTER, A.J.F., KITCHERSIDE, M.A., KEIRBY, J.R. y HALL, P.A. (1984) *Anim. Prod.* 38: 548.
- YANG, W.Z. y PONCET, C. (1988) *Reprod. Nutr. Dev.* 28 (suppl. 1): 125-126.