

ARTÍCULO TÉCNICO

Alba Giovanna Pérez¹,
Beatriz Abadía² y
Luis Carlos Arreaza²

ABSTRACT

Title: Applying a methodology for determining protein intestinal digestibility in ruminants

It was applied a three-step *in vitro* technique in 1995 to estimate intestinal protein digestion in ruminants, for both animal and vegetable resources. This procedure was applied for blood meal (BM), meat and bone meal (MBM), fish meal (FM), soybean meal (SM), several forages such as *Gliricidia sepium* (Matarratón), *Leucaena leucocephala* (Leucaena), and pods from legume trees such as *Senna atomaria* (Caranganito), *Prosopis juliflora* (Trupillo), *Sapindus saponaria* (Michú), *Acacia farnesiana* (Aromo), *Albizia saman* (Algarrobbillo or Campano), including cotton seed (CS) and *Acacia decurrens*. Nylon bags containing feed samples were suspended in the rumen for 16 hours to determine rumen undegradable protein (RUP). Residue containing 15 mg N after ruminal exposure was incubated for 1 h in 10 mL of a 0.1 N HCl solution containing 1 g·L⁻¹ pepsin. After incubation, pH was neutralised with 0.5 mL 1 N NaOH. 13.5 mL pH 7.8 phosphate buffer containing 37.5 mg Pancreatin were added to the solution and incubated at 38 °C. After 24 h incubation, 3 mL of a 100% (w/v) trichloroacetic acid solution were added to precipitate undigested proteins. Residues were analysed for total nitrogen for calculating degraded protein respecting initial crude protein (IADP) and non-degraded rumen protein (ID). There was 27.4% to 100% rumen undegraded protein (RUP) and RUP intestinal digestibility (ID) was 21.9% to 87.5%. Protein intestinal digestibility respecting initial crude protein (IADP) was 8.7% to 78.6%. The highest ID and IADP were FM with 94.5% (±6.6) cf 78 (±8.6) and SM with 81.9% (±0.9) and 71.5% (±5.9). The lowest intestinal absorption values were acacia (21.9% to 8.7%). The values from bypass protein determination for estimating enzyme intestinal degradation needs complete three-step methodology for obtaining real values for potential intestinal absorption of proteins from ingested feed.

Key words: Absorption, rumen, small intestine, protein digestibility, ruminants.

Note for readers. These food resources were introduced into the process before ICA resolution 00991 June 1st 2001 was issued. In this particular case they were considered as working patterns and should not be considered as possible sources for inclusion in ruminants diet.

Recibido: enero 11 de 2005.
Aceptado: mayo 2 de 2005.

1. Licenciada en Química. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C. Colombia.
2. Investigadores, Programa Nacional de Fisiología y Nutrición Animal. CORPOICA. C.I. Tibaitatá.
e-mail: babadia@corpoica.org.co

Aplicación de una metodología para cuantificar la digestibilidad intestinal proteica en rumiantes

RESUMEN

Se aplicó un procedimiento *in vitro* de tres pasos a fin de estimar la digestión intestinal de fuentes proteicas de origen animal y vegetal en rumiantes. Este procedimiento se aplicó en harina de sangre (HS)*, harina de carne y huesos (HCH)*, harina de pescado (HP), torta de soya (TS), *Gliricidia sepium* (Matarratón), *Leucaena leucocephala* (Leucaena), frutos de leguminosas arbóreas como *Senna atomaria* (Caranganito), *Prosopis juliflora* (Trupillo), *Sapindus saponaria* (Michú), *Acacia farnesiana* (Aromo), *Albizia saman* (Algarrobbillo o Campano), incluyéndose además semilla de algodón y *Acacia decurrens*. El alimento se pesó en bolsas de nylon que fueron suspendidas en el rumen durante 16 horas, para determinar el nitrógeno que no se degradó en el rumen (RUP). El residuo fue pesado, de modo que quedaran en la muestra 15 mg de nitrógeno después de la fermentación ruminal; posteriormente se incubó por 1 hora en 10 ml de una solución de HCl 0.1 N que contenía 1 g·L⁻¹ de pepsina. Después de la incubación el pH fue neutralizado con 0,5 mL de NaOH 1 N y se añadieron 13,5 mL de buffer fosfato al cual se le agregaron 37,5 mg de pancreatina. Las muestras fueron incubadas a 38 °C por 24 horas y se añadieron 2 mL de una solución de ácido tricloroacético al 100% (p/v) para precipitar las proteínas que no se degradaron. A este residuo se le determinó el contenido de nitrógeno para calcular la proteína digerida con respecto a la dietaria (IADP) y con respecto a la que no se degradó en el rumen (ID). La proteína no degradada en rumen (RUP) varió desde 27,4 hasta 100%, la digestibilidad intestinal del RUP, o ID estuvo en un rango de 21,9 a 87,5% y finalmente la digestibilidad intestinal proteica con respecto a la proteína cruda inicial (IADP) presentó valores que oscilaron entre 8,7 y 78,6%. Las más altas ID e IADP las presentaron la harina de pescado con 94,5 (±6,6) vs. 78 (±8,6) y la torta de soya con 81,9 (±0,9) y 71,5 (±5,9). Los valores más bajos de absorción intestinal fueron para la acacia (21,9 y 8,7%). Se recomienda no utilizar los datos que se obtengan de la determinación de proteína sobrepasante para estimar la degradación enzimática intestinal, puesto que ésta varía ampliamente de acuerdo con la fuente. Esto implica que la metodología, debe ser aplicada completa a fin de obtener datos reales de la potencial absorción de las proteínas en el intestino.

Palabras clave: Absorción, rumen, intestino delgado, digestibilidad proteica, rumiantes.

* **Nota a los lectores.** Los recursos alimenticios HS y HCH se introdujeron al proceso de evaluación antes de ser emitida la Resolución 00991 de junio 1 de 2001 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA); para los fines particular de esta investigación se consideraron como patrones de trabajo y no deben considerarse como posibles fuentes de inclusión en la alimentación de rumiantes.

INTRODUCCIÓN

LOS SISTEMAS USADOS para la evaluación de alimentos consideran constante la digestibilidad de la proteína que escapa de la fermentación ruminal; pero se ha constatado que ésta varía grandemente entre fuentes. A partir de esta presunción se pueden cometer errores. Por lo tanto, se hace necesario una estimación más exacta de la digestibilidad intestinal de la proteína de cada alimento, especialmente los utilizados como fuentes de proteína sobrepasante.

Se reconoce la necesidad de estimar el valor de la proteína como la cantidad de aminoácidos realmente absorbidos en el intestino delgado (National Research Council -NRC, 1985; Nordisk Kontakorgan for Jordbrugsforskning -NKJ, 1985 y Agricultural and Food Research Council -AFRC, 1992). La aplicación de cualquiera de estos sistemas requiere datos sobre la digestibilidad en el intestino delgado de la proteína no degradada en el rumen.

La digestión de las proteínas, tanto dietaria como microbiana, se lleva a cabo en el estómago y en el intestino delgado por la acción de las enzimas proteolíticas; allí son hidrolizadas en sus constituyentes para construir los componentes de los tejidos propios. Así, su valor nutritivo depende de su digestibilidad en el tracto digestivo; por ello, se hace necesario el estudio de los recursos alimenticios a nivel del aporte de aminoácidos que pueden ofrecer tanto a los microorganismos como al rumiante para su alimentación.

Dado que la digestión de la proteína que abandona el rumen es diferente a la de la proteína original en el alimento, la metodología utilizada cuantifica diferentes fracciones: la proteína ingerida que no se degrada en el rumen llamada también 'proteína sobrepasante' (RUP por sus siglas en inglés), la proteína que fue degradada en el intestino con respecto al valor de la proteína que quedó de la incubación ruminal (ID) y la proteína que fue degradada en el intestino con respecto al valor de la proteína cruda inicial (IADP), simulándose a nivel de laboratorio los procesos digestivos que se llevan a cabo en el animal.

La digestibilidad intestinal de fuentes proteicas *in vitro* e *in situ* permite obtener información sobre su valor nutritivo y se logra simulando las condiciones fisiológicas de los rumiantes; es una metodología aplicable a diversos recursos alimenticios, sin tener que recurrir a largas y costosas pruebas de alimentación.

Materiales y métodos

Las especies y alimentos utilizados fueron: *Prosopis juliflora* (Trupillo, sigla usada en el estudio Trup), *Albizia saman* (Algarrobbillo o Campano, Algar), *Sapindus saponaria* (Michúm, Mic), *Acacia farnesiana* (Aromo, Aro), *Senna atomaria* (Caranganito, Car), *Acacia melanoxylum* (Acacia, Aca), *Gliricidia sepium* (Mataratón, Mat), *Leucaena leucocephala* (Leucaena, Leu), *Gossypium* sp. (semilla de algodón, Salg), *Glicina hispida* (torta de soya, Tsoy), harina de carne con huesos (HCH), harina de pescado (HP) y harina de sangre (HS) (Figura 1).

La muestra de *G. sepium* se obtuvo fresca de la Hacienda El Chaco, municipio Piedras (Tolima) y se sometió a dos tratamientos de secado (por microondas y a 60 °C); las muestras de frutos secos provenían de Codazzi (Cesar) y las restantes fuentes proteicas se consiguieron en fábricas de alimentos balanceados.

Para determinar la digestibilidad intestinal de proteínas en rumiantes, se siguió un procedimiento de tres pasos (desarrollado por Calsamiglia y Stern, 1995) que fue realizado en el laboratorio de Fisiología y Nutrición Animal del C.I. Tibaitatá de CORPOICA, utilizando una hembra Holstein con cánula a nivel ruminal para todas las muestras (paso 1) y posteriormente determinaciones *in vitro* (pasos 2 y 3), metodología que se describe a continuación:

Paso 1. Incubación ruminal. Todas las muestras se redujeron a un tamaño de partícula de 2 mm en un molino Willey y se pesó aproximadamente 3 g de alimento en un bolsa de nylon de 17 x 9 cm que se suspendió en el rumen durante 16 h. Dependiendo del contenido de nitrógeno y la degradabilidad de la proteína cruda del alimento examinado se requirieron entre 5 y 8 bolsas para disponer al menos de 60 mg de nitrógeno residual por alimento.

Después del período de incubación se lavaron las bolsas con agua hasta que ésta salió clara y se secaron en un horno a 55 °C durante 48 h. A continuación se removió el contenido de cada bolsa y se cuantificó la proteína por el método micro-Kjeldahl (AOAC, 1995).

Paso 2. Digestión enzimática abomasal. En un tubo de centrifuga se pesó la muestra de alimento que había sido fermentada a nivel ruminal, la cual contenía al menos 15 mg de nitrógeno residual. Se adicionaron 10 mL de solución de HCl 0.1 N a pH 1.9 que contenían 1 g·L⁻¹ de pepsina (Sigma P-7012) y se mezcló en vortex. La muestra se incubó durante 1 h a 38 °C en baño de María con agitación; después de la incubación se adicionaron 0,5 mL de NaOH 1 N.

Paso 3. Digestión enzimática intestinal. Al residuo obtenido en el paso 2 se le adicionaron 13,5 mL de buffer pancreatina (0,5 M KH₂PO₄ de buffer estandarizado a pH 7.8 que contenía 50 ppm de timol y 3 g·L⁻¹ de pancreatina (Sigma P-7545); se mezcló e incubó durante 24 h a 38 °C en un baño de María con agitación, agitando cada 8 h aproximadamente. Se adicionaron 15 ml de TCA al 10% para precipitar las proteínas; se mezcló e incubó a temperatura ambiente durante 15 minutos. Se centrifugó a 7.500 rpm durante 15 minutos y se cuantificó el sobrenadante para proteínas por el método micro-Kjeldahl (AOAC, 1995).

Mediante el procedimiento *in vitro* e *in situ* de tres pasos descrito anteriormente (Calsamiglia y Stern, 1995) se analizaron las variables PC inicial, RUP, ID e IADP que a continuación se definen:

PC inicial: Porcentaje de proteína cruda inicial en alimentos no sometidos a incubación ruminal.

RUP: Proporción de proteína que no se degradó en el rumen con respecto al valor de la proteína cruda inicial. Es calculada como la relación entre el porcentaje de proteína obtenido después de la incubación ruminal y el porcentaje de proteína obtenido antes de la incubación ruminal expresado en términos de porcentaje.

ID: Es la fracción proteica que fue digerida en el intestino con respecto al valor de la proteína que quedó de la incubación ruminal. Relación calculada entre el valor del porcentaje de proteína resultante después de la acción enzimática abomasal y el porcentaje de proteína obtenido después de la incubación ruminal expresado en términos de porcentaje.

IADP: Proporción de la proteína que fue digerida en el intestino con respecto a la proteína cruda inicial; se calcula como el producto del porcentaje de RUP e ID.

Los datos se procesaron mediante estadística descriptiva calculando valores de media y mediana como medidas de tendencia central y estimando desviación estándar, varianza y valores máximo y mínimo como medidas de variación; la cuenta que define el número de datos tomados para el análisis y, finalmente, el intervalo de confianza del 95% para la media, junto con un indicador matemático de aproximación a una distribución normal; todo lo anterior para cada uno de los alimentos agrupados a partir de las diferentes procedencias.

Resultados y discusión

Los valores de la PC inicial para todos los alimentos están dentro del rango reportado en la literatura (Flores, 1975; ICA, 1974; Cheftel, 1989; J. Bernal, 1994; Chamorro *et al.*, 1998). Se destacan los alimentos concentrados de origen animal como alimentos altos en proteína con valores de PC inicial promedio de 76,05% (±3) para harina de sangre, HS; 57,57% (±6,7) para harina de pescado, HP; y 43,37% (± 3,6) para harina de carne con huesos HCH.

Un valor intermedio de PC inicial lo obtuvo la torta de soya con 40,6% (±2), *L. leucocephala* con 29,32% (±0,6) y *G. sepium* secado por microondas con 27,89% (±1,7). Los alimentos con más bajo valor en PC

inicial fueron la semilla de algodón, con 20,48% ($\pm 2,3$); por debajo de 17% de PC estuvieron todos los frutos (Figura 1).

La técnica es sensible al procesamiento al que se somete la muestra; así, el protocolo de secado afectó el contenido de proteína cruda inicial en el Matarraón, pues la muestra secada mediante microondas presentó un valor más alto (27,89%) que las muestras secadas a 60°C (19,82%) y el peletizado (20%).

Para el grupo de fuentes de origen animal, la mayor protección contra degradación ruminal se obtuvo con la harina de pescado, material que arrojó un RUP promedio de 94,46% ($\pm 6,6$), mientras que la harina de carne con huesos y la harina de sangre tuvieron valores de 86,73% ($\pm 13,7$) y 78,08% ($\pm 7,3$), respectivamente (Figura 2).

Por otro lado, la IADP más baja fue encontrada en la harina de sangre con un promedio de 45% (± 5), seguida de la harina de carne con huesos con un promedio de 43,94% ($\pm 8,3$); estos resultados concuerdan con el análisis realizado a similares fuentes proteicas por Calsamiglia y Stern (1995), quienes reportaron valores de 55% y 63%, respectivamente.

En los concentrados proteicos de origen animal la protección contra degradación ruminal puede estar influida por la fuente de material crudo, como la procedencia y la clase de pescado; así mismo, el tiempo de almacenamiento, la temperatura de procesamiento, las condiciones de secado y otros factores; en el caso de la harina de carne con huesos las proporciones de carne, tendones o huesos son los principales elementos que afectan la calidad (Atkinson y Carpenter, 1970; Skurray y Herbert, 1974; Stock *et al.*, 1981). Tendones y huesos son ricos en colágeno y oseína respectivamente. Esas proteínas contienen péptidos enlazados que no son sensibles a la hidrólisis enzimática con tripsina disminuyendo el acceso de otras enzimas para el caso intestinal y el de microorganismos para el caso ruminal (Calsamiglia y Stern, 1995).

Dentro del grupo de alimentos de origen vegetal, la mayor protección contra degradación ruminal la obtuvo la *L. leucocephala* con un valor promedio de RUP de 100% ($\pm 4,9$), seguida de la torta de soja con valor promedio de 81,91% ($\pm 0,9$) y la más baja para la semilla de algodón con un valor promedio de 27,42% ($\pm 5,5$). Aunque *L. leucocephala* tuvo una gran protección contra degradación ruminal se halló una digestión intestinal de proteína muy baja, con

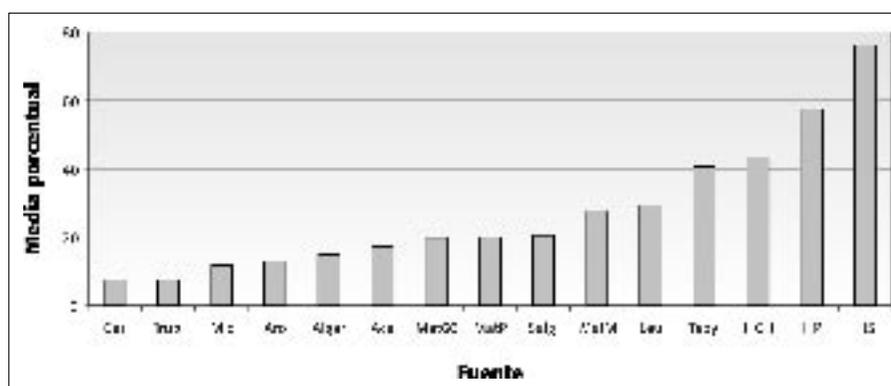


Figura 1. Valores de proteína cruda (PC) inicial para todas las fuentes proteicas analizadas.

Car: Caranganito. Trup: Trupillo. Mic: Michú. Aro: Aromo. Alga: Algarrobito. Aca: Acacia. Mat60: Matarraón secado a 60 °C. MatP: Matarraón peletizado. Salg: Semilla de Algodón. MatM: Matarraón secado por microondas. Leu: Leucaena. Tsoy: Torta de soja. HCH: Harina de carne con huesos. HP: Harina de pescado. HS: Harina de sangre.

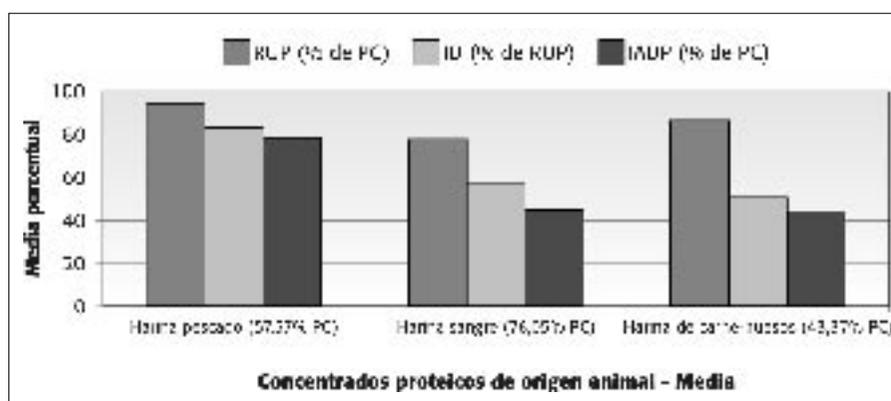


Figura 2. Comparación de la digestibilidad proteica entre recursos de origen animal.

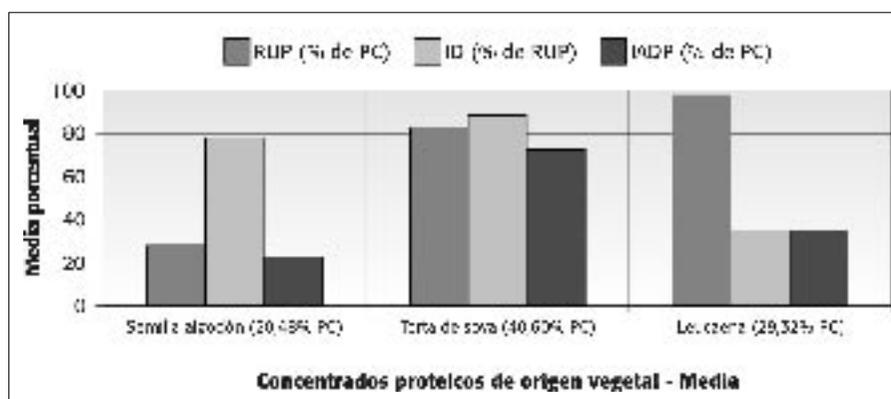


Figura 3. Comparación de la digestibilidad proteica entre recursos de origen vegetal.

un valor promedio de 34,59% ($\pm 4,2$) respecto de la PC inicial (Figura 3). Un comportamiento muy similar al de *L. leucocephala* se obtuvo con los forrajes de *G. sepium* secado a 60 °C y *G. sepium* peletizado, que tienen un buen valor en protección de proteína a la degradación ruminal (RUP de 100% ($\pm 0,3$) y 95% ($\pm 0,2$) respectivamente) y una IADP de intermedia a baja con porcentajes de 44,58% y 44,65%, respectivamente.

Al comparar resultados previos obtenidos por CORPOICA (1996) sobre la composición de aminoácidos en los forrajes de *G. sepium* y *L. leucocephala*, se observó que los valores para *G. sepium* son similares o superiores a los encontrados para *L. leucocephala*; por lo tanto se esperaría encontrar en *L. leucocephala* una digestibilidad de proteína similar a la de *G. sepium*, pero no fue así; esto puede deberse a presencia de factores antinutricionales que suelen

contener los forrajes arbóreos, como son los taninos (Fenema 2000); estos compuestos hacen que la proteína pueda ser utilizada sólo parcialmente por las bacterias existentes en el rumen, actuando como proteína sobrepasante o proteína protegida (0,6 a 1,8% para *G. Sepium* y 1,1 a 1,9% para *L. leucocephala*). Dichos metabolitos son muy resistentes a la acción enzimática con la consiguiente disminución de la digestibilidad de la proteína, al inhibir la hidrólisis de los enlaces peptídicos y reducir la biodisponibilidad de aminoácidos (Fenema, 2000).

En el caso del *G. Sepium*, los taninos pueden contribuir benéficamente a la protección de la proteína disminuyendo la degradación ruminal (Laredo, 1986; Cuesta, 1987); en el caso de *L. leucocephala* la digestión de proteína en el intestino fue baja debido posiblemente, no sólo al contenido de taninos, sino también los niveles de mimosina particulares de esta especie arborea. El Instituto de Ciencia Animal de la Habana (1987) reportó concentraciones de mimosina de 763 mg·g⁻¹ N en semillas y 343 mg·g⁻¹ N en hojas de este metabolito; sin embargo, según Hammond (1994), la mayoría de la leucaena posee niveles de 3 a 5% de mimosina en base seca. Aunque se discute la presencia de bacterias que degradan la mimosina a DHP (3-hidroxi-4(1H)-piridona), no todos los rumiantes poseen los microorganismos que llevan a cabo esta función; es decir, la respuesta de los rumiantes al consumo de dietas a base de leucaena con relación a la toxicidad de esta planta es diferente de un país a otro Allison *et al.*, 1990).

Los valores obtenidos en este trabajo (superiores a 100% en las medidas de RUP) para estos recursos alimenticios, tanto en los resultados como en las medidas de dispersión, son concordantes con los encontrados en un análisis similar utilizando la Técnica de la Bolsa Móvil *in situ* (Ruiz, 1990) y los realizados por Vanhatalo (1995). Dichos investigadores mostraron que existía una contaminación de los residuos alimenticios por nitrógeno endógeno, que es despreciable para concentrados proteicos, como harina de carne con huesos o harina de pescado; para estos concentrados proteicos de origen animal, ese incremento en porcentaje de nitrógeno puede deberse también a heterogeneidad de la muestra contaminada con trazas de huesos, escamas, espinas.

Entre los resultados importantes de la aplicación de este procedimiento *in vitro* e *in situ* de tres pasos se destacan: una alta protección a la degradación ruminal

y poca variación para los valores de RUP entre las muestras de *G. sepium*, inherente posiblemente a la planta. Por el contrario, la IADP para *G. sepium* secado por microondas (65,05%, ±8,2) fue notablemente mayor que para *G. sepium* peletizado (44,65%) y secado a 60 °C (47,58%), aparentemente debido al tipo de tratamiento de secado como ocurrió para los contenidos de proteína cruda inicial.

Los resultados obtenidos permiten deducir que el valor de RUP no es una medida para "pronosticar" la digestión intestinal proteica; esto se prueba en alimentos con un valor de RUP mayor a 70% que se pensaría son "buenos" alimentos para que su proteína se absorba en una gran parte en el intestino; sin embargo, a pesar de obtener valores de RUP altos no hubo suficiente desdoblamiento de la proteína en alimentos como: harina de carne con huesos con RUP de 86,73% y 43,94% de IADP; en fruto de Michú con RUP de 93,36% (±0) y 38,33% (±0) de IADP; *G. sepium* peletizado con 95% (±0,2) de RUP y 44,65% (±0) de IADP; *G. sepium* secado a 60 °C con 100% (±0,3) de RUP y 47,58% (±0) de IADP; y *L. leucocephala* con 100% (±4,9) de RUP y 34,59% (±4,2) de IADP.

Los alimentos más resistentes a la degradación ruminal fueron los forrajes *L. leucocephala* y *G. sepium*; le siguen todos los concentrados proteicos de origen animal, la torta de soya y el fruto del Michú. El desdoblamiento óptimo de la proteína en el intestino (IADP) lo obtuvo *G. sepium* secado por microondas, la torta de soya y la harina de pescado, con valores promedio de 65,05% (±8,2), 71,53% (±5,9) y 78,63% (±8,5), respectivamente. Sufrieron una hidrólisis enzimática intermedia la harina de sangre, la harina de carne con huesos, el Matarratón

peletizado y el Matarratón a 60 °C. No representaron gran importancia en hidrólisis enzimática los frutos y la semilla de algodón (Figura 4).

En el Sistema de Carbohidratos y Proteínas de Cornell (CNCPS) se asignan coeficientes de digestibilidad intestinal para cada una de las fracciones de la proteína, así: Fracción A =1.00, Fracción B1=1.00, Fracción B2= 1.00, Fracción B3 = 0.80 y Fracción C = 0. Pero a los alimentos no se le asignan coeficientes, lo cual significa que el modelo que predice los valores de digestibilidad del RUP no son fijos como en el NRC (2001) y varían con los cambios en distribución de la cantidad de proteína cruda de las cinco fracciones de la proteína. Sin embargo, la extensión en la cual esto es una ventaja para el CNCPS se desconoce. Debe agradecerse que los coeficientes de digestibilidad intestinal para B1, B2, B3 y C no sean siempre como se indican. Esto es particularmente cierto para la asunción que la fracción C siempre tiene una digestibilidad de 0. Varios estudios indican que cantidades variables de C, son digeridas en el intestino delgado (NRC,2001). La fracción A corresponde al nitrógeno no proteico; la B1 a la fracción de proteína verdadera soluble en buffer pero precipitable; la B2 es la fracción correspondiente a la proteína insoluble menos la proteína insoluble en fibra detergente neutro; la B3 es la proteína insoluble en detergente neutro pero soluble en detergente ácido; finalmente, la fracción C corresponde a la fracción indigestible la cual incluye daño por calor y nitrógeno asociado con lignina. Esta última fracción es la que correspondería a la IADP que se trabaja en el método de tres pasos, la cual combina la fermentación ruminal con las pruebas *in vitro* de digestibilidad.

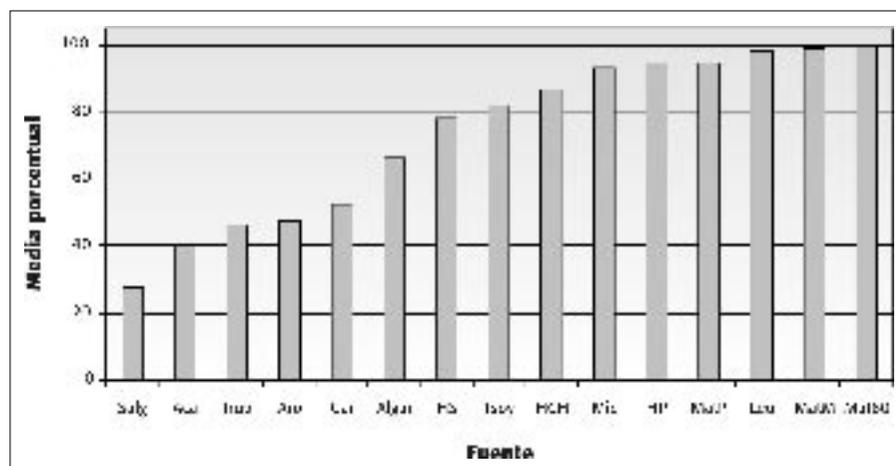


Figura 4. Valores promedio de RUP (% de PC) de todos los alimentos.

Los métodos alternativos desarrollados para la estimación de la digestibilidad intestinal de la proteína de cada alimento son caros, laboriosos y requieren animales canulados en varias secciones del tracto gastrointestinal. Las otras metodologías como la de la bolsa de nylon móvil (Hvelplund, 1992), determinación de nitrógeno en detergente ácido (Goering, *et al.*, 1972), procedimientos enzimáticos (Britton, *et al.*, 1986 citados por Casalmigia y Stern, 1995) o el de la disponibilidad de lisina (Faldet *et al.*, 1991) han fallado en que no respetan una simulación de las condiciones fisiológicas de los rumiantes, pues no incluyen el potencial efecto de la fermentación ruminal y, adicionalmente, son demorados y caros para poder ser aplicados a una gran variedad de alimentos, de manera que reflejen de forma exacta las diferencias en la digestibilidad intestinal entre los alimentos.

Conclusiones

Aunque el contenido en aminoácidos sea el principal indicador de la calidad de una proteína, su verdadera calidad depende también de la extensión en que esos aminoácidos sean utilizados por el organismo; por ello, la digestibilidad intestinal de un alimento puede afectar la calidad de una proteína. El valor de IADP obtenido puede ser usado como un criterio para seleccionar fuentes de proteína útiles para rumiantes; este valor IADP provee un índice de calidad de los suplementos proteicos asumidos como fuentes de proteína sobrepasante en el rumen y de digestión en el tracto post-ruminal.

La digestión intestinal de proteínas varía dentro y entre las fuentes alimenticias. Debido a que la degradación de la proteína se ve afectada simultáneamente por la variación de la degradación ruminal y por el tipo de alimento, los valores que se obtengan de mediciones simultáneas, es decir, aplicando este procedimiento de tres pasos, arrojan resultados más confiables por tomar un factor constante de degradación ruminal/intestinal mediante el valor de IADP.

Los resultados muestran que la aplicación de este procedimiento es más confiable para concentrados proteicos homogéneos, como la harina de sangre y la torta de soya, que para concentrados proteicos menos homogéneos como la harina de pescado y la harina de carne y huesos; el procedimiento se debe utilizar con precaución y/o con un procedimiento alterno que permita cuantificar

el nitrógeno endógeno aportado en la etapa ruminal para alimentos forrajeros.

El uso de valores de digestión intestinal proteica en combinación con valores de degradación proteica en el rumen suministra valores de proteína intestinalmente absorbible. Estos datos son útiles para el control de la calidad de las proteínas procesadas y para determinar valores de suplementación proteica en rumiantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Allison, M.J., Hammond, A.C. y Jones, R.J.** 1990. Detection of ruminal bacteria that degrade toxic dihydroxy pyridine compounds produced from mimosina. *Applied and Environmental Microbiology* 56: 590-594.
- AOAC.** 1995. Official Methods of Analysis (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Atkinson, J. y Carpenter.** 1970. Nutritive value of meat meal: II. Possible growth depressant factors. *Journal of Science Food and Agriculture*. 21:266.
- Bernal, J.** 1994. Pastos y forrajes tropicales: producción y manejo. Tercera edición. 544 p.
- Calsamiglia, S. y Stern, M.A.** 1995. Three-step *in vitro* procedure for estimating intestinal digestion of protein in ruminants. *Journal of Animal Science* 73:1459-1465.
- CORPOICA.** 1996. Pasturas tropicales. Memorias del curso. Documento 17638.
- Chamorro, D., Gallo, J., Arcos, J. y Vanegas, M.** 1998. Gramíneas y leguminosas: consideraciones agro-zootécnicas para ganaderías del trópico bajo. Boletín de investigación. CORPOICA. Regional 6. Documento. 18405. Capítulo 6.
- Goering, H.K., Gordon, C.H., Hemken, R.W., Waldo, D.R., Van Soest, P.J. y Smith, L.W.** 1972. Analytical estimates of nitrogen digestibility in heat damaged forages. *Journal of Dairy Science* 55:1275
- Faldet, M.A., Voss, V.L., Broderick, G.A. y Satter, L.D.** 1991. Chemical, *in vitro* and *in situ* evaluation of heat-treated soy-bean proteins. *Journal of Dairy Science* 74:2548.
- Fenema, O.** 2000. Química de los alimentos. Segunda edición. Capítulos: 3, 6, 16. Editorial Acribia, Madrid.
- Flores, J.A.** 1975. Bromatología animal. Capítulo 9. Editorial Limusa.
- Hammond, A.** 1994. Leucaena toxicosis and its control in ruminants. Subtropical Agricultural Research Station, ARS, USDA, Brooksville, FL. 34601-4672. Presented at a symposium titled "Toxic Legumes" at the ASAS 86th Annual Meeting, Minneapolis, MIN.
- Hvelplund, T., Weisbjerg, M.R. y Andersen, L.S.** 1992. Estimation of the true digestibility of rumen undergraded dietary protein in the small intestine of ruminants by the mobile bag technique. *Acta Agr. Scand. Sect. S. Anim. Sci.*, 42: 34-39.
- Instituto Colombiano Agropecuario. ICA.** 1974. Ingredientes de uso común en Colombia en dietas para monogástricos. Programa de estudios para graduados. Tibaitatá. Documento 752.
- Laredo, M. y Cuesta, P.A.** 1986. Sustancias limitantes para la utilización de principios nativos en pastos y forrajes. En: Informe de progreso, Sección programa nacional de Nutrición Animal. ICA, Tibaitatá, Bogotá. 27 p.
- Pérez, A. G.** 2001. Cuantificación de la digestibilidad intestinal proteica de diferentes recursos alimenticios para contribuir a las tablas de composición alimenticia para rumiantes. Tesis de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. C.I. Tibaitatá, Laboratorio de Fisiología y Nutrición Animal, CORPOICA.
- Ruiz, M.** 1990. Nutrición de rumiantes: Guía metodológica de investigación. San José, Costa Rica.
- Ruiz, T.E. y Febles, G.C.** 1987. Leucaena (*Leucaena leucocephala*) (Lam) de Witt: Una opción para la alimentación bovina en el trópico y subtropico. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba. Ed. EDICA.
- Skurray, G.R., y Herbert, L.S.** 1974. Batch dry rendering: Influence of raw materials and processing conditions on meat meal quality. *Journal of Science Food and Agriculture*. 25: 1071.
- Stock, R., Merchen, N.R., Klopfenstein, T. y Poos, M.** 1981. Feeding value of slowly degraded proteins. *Journal of Animal Science* 53: 1109.
- Vanhatalo, A.** 1995. Assessment of intestinal feed nitrogen digestibility in ruminants by the mobile-bag method. Ph.D. Dissertation. Agric. Res. Center of Finland, Institute of Animal Production. Finland.