



HAL
open science

Metodologia para la determinacion del valor nutritivo de los forrajes tropicales

Orestes Caceres, Eliel González García

► **To cite this version:**

Orestes Caceres, Eliel González García. Metodologia para la determinacion del valor nutritivo de los forrajes tropicales. Pastos y Forrajes, 2000, 23 (2), pp.87-103. hal-01190063

HAL Id: hal-01190063

<https://hal.science/hal-01190063>

Submitted on 1 Sep 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DEL VALOR NUTRITIVO DE LOS FORRAJES TROPICALES

O. Cáceres y E. González

Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"
Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba

La metodología para la determinación del valor nutritivo de los forrajes tropicales recoge de forma detallada todos los pasos necesarios para la evaluación de los forrajes verdes a partir de las experiencias acumuladas durante varios años de colaboración con el INRA francés, utilizando el método tradicional *in vivo* con ovinos alojados en jaulas de metabolismo y los métodos más modernos para el cálculo, procesamiento de los resultados y formas de expresión del valor nutritivo acorde con los avances alcanzados en el racionamiento y alimentación de los rumiantes en el trópico. Esta metodología puede ser aplicada en el proceso de evaluación de nuevas especies forrajeras, así como para la elaboración de tablas del valor nutritivo y otros trabajos experimentales en que sea necesario comparar el contenido y la producción de nutrientes. Se recomienda su consulta a todos aquellos especialistas vinculados a la evaluación y utilización de forrajes.

Palabras claves: Forraje verde, valor nutritivo

The methodology for the determination of the nutritive value of tropical forages includes a detailed relation of all the steps needed for the evaluation of green forages from the experiences accumulated during several years of collaboration with the French INRA, using the traditional method *in vivo* with sheep housed in metabolism cages and the most updated methods for calculation, processing of results and forms of expression of the nutritive value in accordance with the advance reached in the rationing and feeding of ruminants in the tropic. This methodology may be applied in the process of evaluation of new forage species, as well as for the elaboration of nutritive value charts and other experimental works in which it is necessary to compare content and production of nutrients. Its consultation is recommended to all those specialists linked to the evaluation and utilization of forages.

Additional index words: Green forage, nutritive value

Los avances alcanzados en el campo de la nutrición de los rumiantes hacen necesario un conocimiento cada vez más preciso del valor alimenticio de los forrajes, los cuales constituyen en el trópico la mayor fuente para la alimentación de los animales y la más económica, por lo que es sumamente importante conocer el valor alimenticio de los diferentes forrajes verdes o conservados que pueden formar parte de la ración y que permitan exteriorizar el potencial máximo de producción de los animales.

Igualmente, es necesario conocer lo más exactamente posible el valor alimenticio de los forrajes con que se cuenta para la realización de los balances alimentarios instantáneos y los plazos más prolongados que permitan prever los déficit alimentarios y solucionarlos en el momento requerido.

El mejoramiento genético de los animales en el trópico hace que estos sean más productivos, pero al mismo tiempo elevan sus requerimientos nutricionales; por otra parte, los concentrados son cada vez más escasos y costosos, por lo que es necesario lograr el máximo de utilización de los forrajes y el incremento de su calidad. Es sumamente importante la búsqueda de nuevas especies forrajeras de mayor productividad y, por consiguiente, conocer lo más exactamente posible su valor alimenticio durante el proceso de selección y evaluación.

El valor alimenticio de un forraje depende de su valor nutritivo y de su aceptabilidad, por lo que se hace necesario, además de medir su composición bromatológica y digestibilidad, conocer la cantidad ingerida por los animales, para lo cual se debe utilizar el método *in vivo* que es más preciso y próximo a la realidad; el más práctico y de menor costo es el realizado con ovinos alojados en jaulas de metabolismo, el cual se desarrollará a continuación.

Principio de la metodología

El contenido de nutrimentos (materia seca, proteína bruta, fibra bruta, materia orgánica y cenizas) es determinado por los métodos tradicionales, conocidos en su conjunto como análisis bromatológicos; la digestibilidad de los diferentes nutrimentos es determinada a partir de lo ingerido y lo excretado en heces por el animal y puede ser calculada como sigue.

$$\% \text{ Digestibilidad} = \frac{\text{Ingerido} - \text{excretado}}{\text{Ingerido}} \times 100$$

La cantidad de forraje voluntariamente ingerida por el animal se determina sobre la base del alimento ofrecido y el residuo, para lo cual hay que pesar lo más exactamente posible el forraje que se pone a disposición de los animales diariamente y el residuo que queda de este; se calcula de la forma siguiente.

$$\text{Forraje ingerido} = \text{Forraje ofrecido} - \text{forraje rechazado}$$

Debido a que en la práctica los animales generalmente pueden seleccionar el alimento, para que el consumo sea voluntario es necesario ofrecer entre un 10 y 20 % por encima de lo que puede ser consumido diariamente, de forma tal que siempre exista un residuo que no limite la ingestión.

El porcentaje de este residuo está en dependencia del tipo de forraje; el más bajo (10 %) corresponde a los que tienen mayor proporción de hojas y el más alto (20 %) a los que tienen más tallos, por lo que debe ajustarse diariamente la cantidad de forraje ofrecido a los animales.

Debe evitarse que las variaciones de los residuos sean muy diferentes, pues es conocido que a medida que se incrementa la oferta y, por consiguiente, el residuo, el animal podrá seleccionar las partes más nutritivas, por lo que además de alejarse de la realidad práctica, no permitirá hacer comparaciones entre diferentes muestras de forraje.

Está comprobado que una vez alcanzado su desarrollo como rumiantes, las diferentes especies hacen una digestión similar de los forrajes, por lo que son transferibles los valores de digestibilidad de los nutrimentos entre especies; los pequeños rumiantes pueden ser utilizados en la determinación de la digestibilidad, ya que son de más fácil manejo y necesitan menos alimentos, por lo que las determinaciones del valor alimenticio son más económicas. Sin embargo, no ocurre lo mismo con el consumo, el cual difiere considerablemente entre especies e incluso entre categorías o propósitos de producción, por lo que es necesario medirlo para cada especie en particular; esta dificultad puede ser resuelta con la medición de un número de forrajes y la determinación de las ecuaciones que permitan transferir los resultados entre especies y categorías de animales para el racionamiento específico.

No obstante lo antes planteado, en la mayoría de los casos son utilizados ovinos machos castrados alojados en jaulas de metabolismo para la determinación del valor nutritivo, ya que son más dóciles, requieren menor volumen de alimento y, por consiguiente, hacen menos costosas las evaluaciones; debe tenerse el cuidado de seleccionar animales sanos, que tengan entre 1,5 y 3 años de edad y que estén correctamente identificados, de forma tal que pueda conocerse si presentan diferencias con el resto del grupo en su normal fisiologismo digestivo y ser eliminados como animales experimentales.

Para la evaluación de cada forraje deberán utilizarse 6 ovinos con peso vivo y edades similares; el consumo se mide en el total de los animales y si es posible se realiza la colecta de heces en todo el grupo, aunque también es válido utilizar solamente 4 de los 6 animales para la determinación de la digestibilidad, que es el mínimo requerido, en los cuales se recogerán y pesarán las heces fecales, mientras que el consumo será necesario medirlo en los 6.

Las hembras también pueden ser utilizadas, con la única dificultad que conlleva la separación de las heces fecales y los orines, ya que las heces no pueden ser contaminadas para su pesaje y análisis de laboratorio.

Cada período de evaluación de un forraje determinado debe constar de una adaptación preliminar de 10 a 12 días, que es el tiempo requerido para que se evacuen todas las heces de un alimento precedente, y a partir de este momento se iniciará el período de medición que debe ser de 5-7 días; este período puede repetirse si existen dudas de que no fue suficiente la adaptación o si se quieren tener dos períodos para mayor precisión en un forraje determinado con iguales características.

En el caso de las evaluaciones con forrajes de diferentes edades, por ejemplo, una sola parcela en crecimiento, se continuará de forma sucesiva con la adaptación preliminar y sin adaptación entre una y otra edad; se separará un período del otro solamente por uno o dos días (sábado y/o domingo) y cada período de medición tendrá una duración de 5 a 6 días.

En el caso de las especies arbóreas y de otros forrajes que no sufren cambios tan bruscos como las gramíneas y otras especies forrajeras estacionales, el período de adaptación debe ser más amplio, ya que por sus características químicas dicho período es más prolongado y puede enmascarar los resultados, sobre todo en el consumo.

Los forrajes deben ser cosechados diariamente en horas de la mañana y pasados por una troceadora antes de ser pesados y suministrados a los animales en dos ocasiones (8:00 a.m.–2:00 p.m.); se tomará una muestra de 300 g del forraje ofrecido para determinar la materia seca en estufa a 70–80°C durante 48 horas.

Los residuos se recogerán por la mañana antes de ofrecer el nuevo alimento y se pesará una muestra (300 g) por cada animal para ser secada en estufa (70–80°C).

Las heces deben ser colectadas individualmente y muy cuidadosamente para que se correspondan con cada animal. La colecta se realiza en la mañana antes de ofrecer el alimento; esta se inicia al día siguiente de comenzado el período de medición y termina el día siguiente después del último alimento ofrecido, o sea, que la colecta de las heces siempre estará desfasada un día, al igual que la de los residuos de forraje.

Inmediatamente de colectadas individualmente y pesadas las heces frescas, se tomará una muestra del 10 % y se llevará a estufa a 70–80°C durante 48 horas para la determinación de materia seca y posterior análisis de laboratorio.

Con las muestras de forrajes, residuo y heces se calcula el consumo y la digestibilidad.

Si se desea realizar el análisis estadístico de los resultados, se mantendrán las muestras de heces y residuos por animal; las muestras que corresponden al período se unen para tomar una sola muestra de cada animal para su envío al laboratorio.

En el caso que no se desee hacer un análisis estadístico se unen todas las muestras del período, es decir, una muestra de forraje, una de residuo y una de heces, con lo cual se ahorra un considerable número de análisis sin perder la precisión en los resultados, aunque se puede perder la oportunidad de realizar análisis casuísticos de los animales que puedan presentar dificultad, así como de análisis biométricos para la comparación de diferentes forrajes.

Para cada período evaluativo se tendrá un libro registro en el cual se anotará toda la información concerniente al forraje y a los animales (identificación, edad, fertilización, fecha, etc.), así como los pesajes de forraje ofrecido, residuos, heces, animales y muestras.

Dicha información se puede tener en cuatro modelos (hoja de alimentación, hoja de colecta de heces, hoja de cálculo de materia seca y modelo resumen de los resultados), los cuales aparecen en el anexo. Su utilización permite el procesamiento y la obtención rápida de la información de cada forraje evaluado.

Si se desea obtener información de la producción de forraje y nutrimentos será necesario realizar un muestreo de rendimiento para cada período de medición, lo cual se efectuará generalmente a mitad de este.

El pesaje de los animales se realizará individualmente (un solo pesaje), aunque si se desea tener más precisión se tomarán pesajes al inicio y al final.

En caso de tener varios grupos para la evaluación de diferentes forrajes, será necesario un pesaje al comienzo de la adaptación para poder distribuir homogéneamente los animales.

La edad de cada forraje evaluado se determinará teniendo en cuenta el día medio de cada período de medición.

PROCESAMIENTO DE LOS RESULTADOS

Una vez concluido el período de toma de datos se procederá a realizar los cálculos del contenido de MS de todas las muestras, con el fin de poder detectar alguna anomalía.

Cálculo de la materia seca

El contenido de materia seca (modelo 3) se realizará a partir del peso fresco de las muestras (alimento ofrecido, residuo y heces fecales) y su peso seco a partir de la fórmula siguiente:

$$MS (\%) = \frac{\text{Peso seco (PS)g}}{\text{Peso fresco (PF)g}} \times 100$$

Ejemplo:

$$MS (\%) = \frac{90,6}{300} \times 100 = 30,2$$

Los datos de la materia seca del alimento y el residuo se pasan al modelo 1 y los de las heces fecales al modelo 2; se procede al cálculo de la cantidad de materia seca diaria del alimento ofrecido (MSO), residuo (MSR) y heces fecales (MSH) utilizando la fórmula siguiente:

$$MS (g) = \frac{\text{Peso fresco (g)} \times \% MS}{100}$$

Ejemplo: Alimento ofrecido, residuo y heces para el primer día, animal número uno.

$$MSO (g) = \frac{4\,200 \text{ g} \times 30,2}{100} = 1\,268,4$$

$$MSR (g) = \frac{420 \text{ g} \times 34,1 \%}{100} = 143,2$$

$$MSH (g) = \frac{875 \text{ g} \times 38,1 \%}{100} = 333,4$$

En el caso del alimento ofrecido se toma una sola muestra para todos los animales cada día, por lo que para calcular el por ciento de MS del resto de los animales se utiliza el mismo por ciento de MS del primer día y así sucesivamente.

En el residuo se toma una sola muestra diaria para el grupo y se procede igual que en MSO; pero si se toman muestras para cada animal diariamente, se utiliza el por ciento de MS que corresponde al residuo de cada animal para ese día.

La MSH (g/animal/día) se calcula para cada animal y día, ya que se toman muestras individualmente para la determinación de materia seca.

A continuación se suman las cantidades de MSO, MSR y MSH y se dividen entre el número de días del período; así se obtienen las cantidades por animal y día de cada uno de estos indicadores.

Ejemplo:

$$MSO (g/animal/día) = \frac{1\,268 + \dots + 1\,288}{6} = 1\,285$$

$$MSR (g/animal/día) = \frac{143 + \dots + 117}{6} = 135$$

$$MSH (g/animal/día) = \frac{333 + \dots + 274}{6} = 316$$

Con estos datos se puede pasar al cálculo del consumo de materia seca (CMS), por ciento de residuo, por ciento de utilización y la digestibilidad de la materia seca (DMS), los cuales se anotan en los modelos correspondientes (1, 2 y 4).

Ejemplo:

$$CMS (g/animal/día) = MSO - MSR = 1\,285 - 135 = 1\,150$$

$$\% \text{ residuo} = \frac{MSR (g/día) \times 100}{MSO (g/día)} = \frac{135 \times 100}{1\,285} = 10,5 \%$$

El por ciento de utilización se obtiene restando el por ciento de residuo de 100 % que corresponde a la oferta, o se puede calcular a partir del CMS y la MSO por simple regla de tres.

$$\% \text{ utilización} = \frac{CMS}{MSO} \times 100 = \frac{1\,150 \times 100}{1\,285} = 89,5 \%$$

Estos datos serán utilizados posteriormente

Ejemplo:

$$\text{DMS (\%)} = \frac{\text{CMS} - \text{MSH}}{\text{CMS}} = \frac{\text{MSD} \times 100}{\text{CMS}} = \frac{1\ 150 - 316}{1\ 150} \times 100 = 72,5$$

Este procedimiento se realiza para cada uno de los animales y una vez concluido se observa si no existen dificultades con los resultados (valores fuera de la media de todos los animales); entonces se procede a la formación de las muestras de alimentos, residuo y heces, para lo cual se unen todas las de los alimentos tomadas diariamente y se hace una sola muestra; se hace lo mismo con las de residuo y heces de todos los días de cada animal. Por el contrario, si se unen las muestras diarias de cada animal, se tendrá una muestra ponderada de cada uno para el período.

Generalmente se conforma una sola muestra de alimento y otra de residuo (que son muy poco variables), ya que se reduce considerablemente el número de análisis de laboratorio que son costosos. Solamente en las heces se hace por animal, pues estos pueden diferir considerablemente.

Después de realizar los análisis de laboratorio y verificar que no existen dificultades se anotan en el modelo 1 (composición bromatológica), o de lo contrario se repite el análisis con problemas.

A continuación se procede al cálculo del resto de los indicadores por cada animal de la forma siguiente.

Consumo diario de materia seca (CMS)

Para el cálculo del CMS en sus diferentes formas de expresión es necesario tener el peso vivo (PV) y el peso metabólico ($P^{0,75}$) en kilogramos. El peso metabólico se encuentra en la tabla de pesos metabólicos para ovinos que se anexa; se busca por la vertical el peso en cifra redonda y por la horizontal el resto del peso vivo.

Ejemplo:

Peso vivo =34,5

Peso metabólico =14,2

Con estos datos y el CMS (g/kg PV) se puede calcular el CMS % PV (kg MS/100 kg PV) y el CMS g/kg $P^{0,75}$ (g MS/kg peso metabólico) de la forma siguiente.

$$\text{CMS (g/kg PV)} = \frac{\text{CMS (g/animal/día)}}{\text{PV (kg)}} = \frac{1\ 150}{34,5} = 33,3 \text{ g/kg PV}$$

$$\text{CMS (\% PV)} = \frac{\text{CMS (kg/animal/día)} \times 100 \text{ kg PV}}{\text{PV (kg)}} = \frac{1,150 \times 100}{34,5} = 3,33 \text{ \% PV}$$

En este último caso hay que transformar el CMS g/animal/día a CMS kg/animal/día, ya que la expresión será en kg MS/100 kg PV.

Para el cálculo del CMS g/kg $P^{0,75}$ se utiliza el CMS g/animal/día y el peso metabólico ($P^{0,75}$).

$$\text{CMS (g/kg } P^{0,75} \text{)} = \frac{\text{CMS (g/animal/día)}}{P^{0,75}} = \frac{1\ 150}{14,2} = 81,0 \text{ g MS/kg } P^{0,75}$$

Este indicador de consumo de materia seca es sumamente importante, pues permite comparar los resultados independientemente de la especie animal y su categoría, pues está basado en el peso metabólico y no en su peso corporal, que tiene gran influencia en las variaciones del consumo.

Como el consumo de materia seca (CMS) no puede ser extrapolable de los ovinos a los bovinos, se determinó una ecuación que permite estimar el CMS realizado por los bovinos (CMSB) a partir del CMS de los ovinos (CMSO).

$$\text{CMSB (g/kg } P^{0,75} \text{)} = 37,17 + 1,53 \text{ CMSO (g/kg } P^{0,75} \text{)}$$

Ejemplo:

$$\text{CMSB} = 37,17 + (1,53 \times 81) = 161,1 \text{ g/kg P}^{0,75}$$

Digestibilidad de nutrientes (%)

Teniendo en cuenta que siempre existe una oferta de forraje superior al consumido, la composición bromatológica de lo consumido y del residuo será diferente a la del forraje ofrecido del cual se tomó la muestra, por lo que para tener un valor más próximo del alimento realmente consumido por el animal, será necesario estimar los valores de la composición bromatológica antes de calcular la digestibilidad de los diferentes elementos (proteína cruda, fibra cruda y materia orgánica), lo cual puede realizarse a partir del análisis de la muestra del forraje ofrecido y del residuo, teniendo en cuenta el por ciento de residuo y utilización, según la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Nutrimiento en forraje consumido} = \frac{\% \text{ Nutrimiento en oferta} \times 100 - \% \text{ nutrimento en residuo} \times \% \text{ residuo}}{\% \text{ utilización del forraje}}$$

Ejemplo:

$$\text{PC}(\%) = \frac{\% \text{ PC oferta} \times 100 - \% \text{ PC residuo} \times \% \text{ residuo}}{\% \text{ utilización}}$$

$$\text{PC}(\%) = \frac{11,14 \times 100 - 10,06 \times 10,5}{89,5} = \frac{1114 - 105,63}{89,5} = 11,27$$

$$\text{MO}(\%) = \frac{88,67 \times 100 - 88,52 \times 10,5}{89,5} = 88,69$$

$$\text{FC}(\%) = \frac{29,19 \times 100 - 29,45 \times 10,5}{89,5} = 28,04$$

Con estos valores bromatológicos del forraje realmente consumido se calcula la digestibilidad de la materia orgánica (DMO), de la proteína cruda (DPC) y de la fibra cruda (DFC) a partir de la fórmula tradicional.

$$\text{DMO}(\%) = \frac{\% \text{ MO forraje} \times 100 - \% \text{ MO heces} \times \% \text{ IMS}}{\% \text{ MO forraje consumido}}$$

Donde:

$$\% \text{ IMS} = 100 - \text{DMS} \% = 100 - 72,5 = 27,5$$

En esta fórmula se tiene en cuenta el por ciento de nutrientes del forraje consumido y en heces fecales, así como el por ciento de MS indigestible (IMS):

$$\% \text{ Digestibilidad} = \frac{\text{Ingerido} - \text{excretado}}{\text{Ingerido}} \times 100$$

Ejemplos:

$$\text{DMO}(\%) = \frac{88,69 \times 100 - 83,95 \times 27,5}{89,69} = 73,96 \approx 74,0$$

$$\text{DPC}(\%) = \frac{11,27 \times 100 - 13,61 \times 27,5}{11,27} \times 100 = 88,69$$

$$\text{DFC}(\%) = \frac{28,04 \times 100 - 30,52 \times 27,5}{28,04} \times 100 = 70,1$$

Si se conoce el contenido de cualquier nutrimento en el forraje consumido y en las heces, se procede de la misma forma.

A continuación se calculan los valores energéticos a partir de las fórmulas siguientes:

Energía bruta

$$EB \text{ (kcal/kg MO)} = 4\,543 + 2,0113 \text{ PC (g/kg MO)}$$

Debido a que en el alimento se encuentran elementos no energéticos (cenizas) y que el contenido energético depende del contenido de materia orgánica, en esta ecuación se trabaja con nutrimentos sobre la base de la MO, aunque posteriormente se transforma en MS, que es la forma práctica de expresión.

Como la PC aparece en por ciento de la MS en la composición bromatológica, hay que calcularla sobre la base de la MO por simple regla de tres, pero expresarla en g/kg.

En un kilogramo de MS hay 0,8869 kg de MO y 112,7 g de PC, por lo que para calcular la PC (g/kg MO) se debe aplicar el siguiente procedimiento.

$$\begin{array}{l} \text{En 0,8869 kg MO} \quad \text{_____} \quad 112,7 \text{ g de PC} \\ \text{En 1 kg MO} \quad \text{_____} \quad X \text{ g de PC} \end{array}$$

$$X = \frac{1 \times 112,7}{0,8869} = 127,07 \text{ (g PC/kg MO)}$$

Para simplificar el cálculo se debe dividir el contenido de PC (g/kg MS) del alimento consumido entre el contenido de MO (kg/kg MS) y entonces se obtendrá el contenido de PC sobre la base de la materia orgánica (g/kg MO), que es el aplicable a la fórmula para calcular la EB sobre la base de la MO.

$$\begin{array}{l} EB \text{ (kcal/kg MO)} = 45,43 + 2,0113 \times 127,07 \\ EB = 4\,798 \text{ kcal/kg MO} \end{array}$$

Para expresarla en MS se realiza la operación inversa.

Hay 4 798 kcal de EB en un kilogramo de MO, pero como en un kilogramo de MS solamente hay 0,8869 kg de MO, entonces:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ kg MO} \quad \text{_____} \quad 4\,797 \text{ kcal EB} \\ 0,8869 \text{ kg MO} \quad \text{_____} \quad X \text{ kcal EB} \end{array}$$

$$X = \frac{0,8869 \times 4\,798}{1} = 4\,255 \text{ kcal/kg MS}$$

También puede ser calculado a partir del por ciento de MO del alimento consumido aplicando la fórmula:

$$EB \text{ (kcal/kg MS)} = \frac{EB \text{ (kcal/kg MO)} \times \% \text{ MO alimento}}{100}$$

$$EB \text{ (kcal/kg MS)} = \frac{4\,798 \times 88,69}{100} = 4\,255$$

Energía digestible (ED)

Se calcula a partir de la EB y la DEB por la fórmula:

$$ED \text{ (kcal/kg MS)} = \frac{EB \times DEB \%}{100}$$

La digestibilidad de la energía bruta (DEB) puede ser calculada a partir de la EB consumida y excretada, pero como generalmente no se cuenta con bomba colorimétrica y además es bastante costoso este

procedimiento, puede ser estimada a partir de la digestibilidad de la materia orgánica con una altísima confiabilidad, utilizando la ecuación siguiente:

$$\begin{aligned} \text{DEB \%} &= 1,0087 \text{ DMO \%} - 0,0372 & r &= 0,996 \\ &= 1,0087 \times 74,0 - 0,0372 \\ &= 74,6 \% \end{aligned}$$

A continuación se puede calcular la energía digestible (ED).

$$\text{ED(kcal/kg MS)} = \frac{4\,255 \times 74,6}{100} = 3\,174$$

Energía metabolizable (EM)

La energía se puede calcular a partir de la ED y el coeficiente de transformación de la ED a EM.

$$\text{EM} = \text{ED} \times \frac{\text{EM}}{\text{ED}}$$

Donde:

$$\frac{\text{EM}}{\text{ED}} = 0,8286 - 8,70 \times 10^{-5} \text{ FC} - 1,74 \times 10^{-4} \text{ PC} + 0,0243 \text{ NA}$$

Se expresa la FC y la PC en g/kg MS y NA (nivel de alimentación) se divide el consumo de materia orgánica digestible entre 23, que es el valor de consumo de este nutrimento para el mantenimiento de los ovinos.

En el caso de los bovinos este valor es 55 y el coeficiente es 0,8240.

Como este procedimiento es bastante trabajoso, puede estimarse a partir de la digestibilidad de la materia orgánica con la ecuación siguiente.

$$\begin{aligned} \text{EM (kcal/kg MS)} &= 37,28 \text{ DMO \%} - 148,9 \\ &= 37,28 \times 74,0 - 148,9 \\ &= 2\,609 \text{ kcal/kg MS} \end{aligned}$$

Energía neta leche (ENL) y energía neta engorde (ENE)

Ambas pueden calcularse a partir de su eficiencia de utilización, pero como el procedimiento es algo complicado, es preferible utilizar las ecuaciones obtenidas a partir de la DMO (%) en los forrajes tropicales; en ambos casos los valores no difieren.

$$\begin{aligned} \text{ENL (kcal/kg MS)} &= 26,28 \text{ DMO (\%)} - 359 \\ &= 1\,584 \text{ kcal/kg MS} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ENE (kcal/kg MS)} &= 32,52 \text{ DMO (\%)} - 793 \\ &= 1\,613 \text{ kcal/kg MS} \end{aligned}$$

Proteína cruda digestible (PCD) y proteína digestible en intestino (PDI)

La PCD (g/kg MS) se calcula a partir de la PC y su digestibilidad (DPC) como sigue:

$$\text{PCD(g/kg MS)} = \frac{\text{PC} \times \text{DPC}(\%)}{100}$$

$$\text{PCD(g/kg MS)} = \frac{112,7 \text{ (g/kg MS)} \times 66,8}{100}$$

$$\text{PCD (g/kg MS)} = 75,28$$

La PDI tiene dos valores (PDIE y PDIN), en dependencia de la energía y el nitrógeno fermentativo en rumen, respectivamente. La PDIA es la proteína digestible en intestino de origen alimentario y la PDIME la de origen microbiano.

El procedimiento para su cálculo es bastante complejo, por lo que es preferible utilizar las ecuaciones obtenidas en nuestras condiciones, para lo cual es necesario solamente conocer el contenido de PC (g/kg MS) y el contenido y digestibilidad de la materia orgánica.

$$PDIE \text{ (g/kg MS)} = PDIA + PDIME$$

Donde:

$$PDIA \text{ (g/kg MS)} = 0,348 \text{ PC (g/kg MS)} - 3,43$$

$$PDIME \text{ (g/kg MS)} = 75,6 \text{ MOD (kg/kg MS)}$$

$$MOD \text{ (kg/kg MS)} = \frac{MO \text{ (kg/kg MS)} \times DMO \text{ (\%)}}{100}$$

$$PDIN \text{ (g/kg MS)} = 0,590 \text{ PC (g/kg MS)} + 1,75$$

Ejemplos:

$$PDIA = 0,348 \times 112,7 - 3,43$$

$$= 35,8 \text{ g/kg MS}$$

$$MOD \text{ (kg/kg MS)} = \frac{0,8869 \times 74,0 \text{ \%}}{100} = 0,656$$

$$PDIME = 75,6 \times 0,656 = 50,0 \text{ g/kg MS}$$

$$PDIE \text{ (g/kg MS)} = 35,8 + 50,0 = 85,8 \text{ g/kg MS}$$

$$PDIN \text{ (g/kg MS)} = 0,590 \times 112,7 \text{ (g/kg MS)} + 1,75$$

$$PDIN = 68,24 \text{ g/kg MS}$$

A partir de estos datos puede calcularse también el consumo de los diferentes nutrientes.

Ejemplo:

Consumo de proteína cruda digestible (CPCD)

$$CPCD \text{ (g/kg } P^{0,75}) = \frac{CMS \text{ (g/kg } P^{0,75}) \times PCD \text{ (g/kg MS)}}{1 \ 000}$$

$$CPCD \text{ (g/kg } P^{0,75}) = \frac{81 \times 75,28}{1 \ 000} = 6,097 \text{ g/kg } P^{0,75}$$

$$CPCD \text{ g/animal/día} = P^{0,75} \text{ kg} \times CPCD \text{ (g/kg } P^{0,75}) \text{ ó CMS (kg/animal/día)} \times PCD \text{ (g/kg MS)}$$

$$= 14,2 \text{ kg} \times 6,097 = 86,58 \text{ ó } 1,15 \times 75,28 = 86,58$$

Consumo de energía metabolizable (CEM)

$$CEM \text{ (kcal/kg } P^{0,75}) = \frac{CMS \text{ (g/kg } P^{0,75}) \times EM \text{ (kcal/kg MS)}}{1 \ 000}$$

$$CEM \text{ (kcal/kg } P^{0,75}) = \frac{81 \times 2 \ 610}{1 \ 000}$$

$$CEM \text{ (kcal/kg } P^{0,75}) = 211,4$$

$$\text{CEM}(\text{kcal/kg } P^{0,75}) = \frac{\text{CMS}(\text{g/animal/día}) \times \text{EM}(\text{kcal/kg MS})}{1\ 000} \quad \text{ó}$$

$$\text{CMS}(\text{kg/animal/día}) \times \text{EM}(\text{kcal/kg MS})$$

$$\text{CEM}(\text{kcal/animal/día}) = \frac{1\ 150 \times 2\ 610}{1\ 000} = 3\ 002 \text{ kcal/animal/día}$$

$$\begin{aligned} \text{CEM}(\text{kcal/animal/día}) &= P^{0,75}(\text{kg}) \times \text{CEM}(\text{kcal/kg } P^{0,75}) \\ &= 14,2 \times 211,4 \\ &= 3\ 022 \text{ kcal/animal/día} \end{aligned}$$

El CEM en kcal puede ser convertible a KJ multiplicando por 4,185. Esto es válido para todos los valores de energía.

MODELO No. 1

Alimentación

Especie: *Bauhinia purpurea*
 Variedad: Blanca
 Tratamiento: No fertilización

Prueba: I
 Período: I
 Fecha: 5/5/98 - 10/5/98
 Edad: 60 días

Alimento suministrado	Día	Animal No.1 PV =34,5			Animal No. 2		
		FV g	MS %	MS g	FV g	MS %	MS g
	1	4 200	30,2	1 268			
	2	4 300	31,5	1 355			
	3	4 250	29,8	1 267			
	4	4 200	29,5	1 239			
	5	4 300	30,1	1 294			
	6	4 250	30,3	1 288			
	X			1 285			

Residual	Día	Animal No.1 PV =34,5			Animal No. 2		
		FV g	MS %	MS g	FV g	MS %	MS g
	1	420	34,1	143			
	2	400	35,2	141			
	3	390	32,5	127			
	4	450	31,3	141			
	5	410	34,2	140			
	6	350	33,5	117			
	X			135			

MS suministrada animal/día (MSO)	1 285		
MS rechazada animal/día (MSR)	135		
MS consumida animal/día (MSC)	1 150		
% Residuo	10,5		
% Utilización	89,5		

MODELO No. 2

Heces fecales

Especie: *Bauhinia purpurea*
Variedad: Blanca
Tratamiento: No fertilización

Prueba: I
Período: I
Fecha: 5/5/98 - 10/5/98
Edad: 60 días

Día	Animal No.1		
	HFF (g)	MS (%)	HFS (g)
1	875	38,1	333
2	795	40,5	322
3	805	39,8	320
4	830	38,8	322
5	780	41,2	321
6	430	37,5	274
X			316

HFF: Heces fecales frescas

HFS: Heces fecales secas

MODELO No. 3

Materia seca

Especie: *Bauhinia purpurea*
 Variedad: Blanca
 Tratamiento: No fertilización

Prueba: I
 Período: I
 Fecha: 5/5/98 - 10/5/98
 Edad: 60 días

Alimento ofrecido

Día	Animal No.1		
	PF (g)	PS (g)	MS (%)
1	300	90,6	30,2
2	300	94,5	31,5
3	300	89,5	29,8
4	300	88,5	29,5
5	300	90,3	30,1
6	300	90,9	30,3

Heces fecales

Día	Animal No.1		
	PF (g)	PS (g)	MS (%)
1	87,5	33,3	38,1
2	79,5	32,2	40,5
3	90,5	32,0	39,8
4	83,0	32,2	38,5
5	78,0	32,1	41,2
6	73,0	27,4	37,5

Residuo

Día	Animal No.1		
	PF (g)	PS (g)	MS (%)
1	300	102,3	34,1
2	300	105,6	35,2
3	300	97,5	32,5
4	300	140,9	31,3
5	300	102,6	34,2
6	300	100,5	33,5

PF: Peso fresco
 PS: Peso seco

MODELO No. 4

Resumen de resultados

Especie: *Bauhinia purpurea*
 Variedad: Blanca
 Tratamiento: No fertilización

Prueba: I
 Período: I
 Fecha: 5/5/98 - 10/5/98
 Edad: 60 días

Indicadores	Animal				Media
	1	2	3	4	
Peso vivo (kg)	34,5				
Peso metabólico (kg)	14,2				
CMS (g/animal/día)	1 150				
CMS (g/kg PV)	33,3				
CMS (g/kg P ^{0,75})	81,0				
DMS (%)	72,5				
IMS (%)	27,5				
Residuo (%)	10,5				
Utilización (%)	89,5				
DMO (%)	74,0				
DPC(%)	66,8				
DFC (%)	70,1				
DEB (%)	74,6				
EB (kcal)	4 255				
ED (kcal)	3 174				
EM (kcal)	2 610				
ENL (kcal)	1 584				
ENE (kcal)	1 613				
PCD (g/kg MS)	75,28				
PDIN g/kg MS	68,2				
PDIE (g/kg MS)	85,8				

Composición bromatológica

Elementos (%)	Oferta	Residuo	Consumido	A-1	A-2	A-3	A-4
MS	30,20	33,50	29,80	-			
PC	11,14	10,06	11,27	13,61			
FC	28,19	29,45	28,04	30,52			
Cenizas	11,33	11,48	-	16,05			
MO	88,67	88,52	88,69	83,95			

Tabla de pesos metabólicos ($P^{0,75}$) de ovinos

kg PV	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	1,0	1,7	2,3	2,8	3,3	3,8	4,3	4,8	5,2
10	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2	7,6	8,0	8,4	8,7	9,1
20	9,5	9,8	10,2	10,5	10,8	11,2	11,5	11,8	12,2	12,6
30	12,8	13,1	13,5	13,9	14,1	14,4	14,7	15,0	15,3	15,7
40	15,9	16,2	16,5	16,8	17,1	17,4	17,7	18,0	18,2	18,5
50	18,8	19,1	19,4	19,6	19,9	20,2	20,5	20,7	21,0	21,4
60	21,6	21,8	22,1	22,4	22,6	22,9	23,2	23,4	23,7	24,0
70	24,2	24,8	24,7	25,0	25,2	25,5	25,7	26,0	26,2	26,6
80	26,7	27,0	27,2	27,5	27,7	28,0	28,2	28,5	28,7	29,0
90	29,2	29,5	29,7	29,9	30,2	30,4	30,7	30,9	31,1	31,5
100	31,6	31,9	32,1	32,3	32,0	32,8	33,0	33,3	33,5	33,8

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- GARCIA-TRUJILLO, R. & CACERES, O. 1984. Introducción de nuevos sistemas para expresar el valor nutritivo de los forrajes tropicales. I. Energía. **Pastos y Forrajes**. 7:121
- GARCIA-TRUJILLO, R. & CACERES, O. 1984. Introducción de nuevos sistemas para expresar el valor nutritivo de los forrajes tropicales. II. Proteína. **Pastos y Forrajes**. 7:261
- GARCIA-TRUJILLO, R. & CACERES, O. 1984. Introducción de nuevos sistemas para expresar el valor nutritivo de los forrajes tropicales. III. Validación de los sistemas energéticos y proteicos. **Pastos y Forrajes**. 7:421
- GARCIA-TRUJILLO, R. & CACERES, O. 1984. Nuevos sistemas para expresar el valor nutritivo de los alimentos y el requerimiento y racionamiento de los rumiantes. EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. 44 p.
- GARCIA-TRUJILLO, R. & CACERES, O. 1985. Introducción de nuevos sistemas para expresar el valor nutritivo de los forrajes tropicales. IV. Consumo. **Pastos y Forrajes**. 8:449
- XANDE, A.; GARCIA-TRUJILLO, R. & CACERES, O. 1985. Tablas del valor alimenticio de los forrajes tropicales de la zona del Caribe. CRAAG-INRA, Guadeloupe. 35 p.
- XANDE, A.; GARCIA-TRUJILLO, R. & CACERES, O. 1987. Methode d'expression de la valeur alimentaire des fourrages tropicaux. Symposium International sur l'alimentation des ruminants en milieu tropical humide. INRA-Antilles Guyane, Guadeloupe, Francia

Recibido el 16 de diciembre de 1999

Aceptado el 2 de marzo del 2000