

NOTA TÉCNICA

Estimación del suministro de proteína metabolizable en una ración para ganado de leche¹

Jorge Alberto Elizondo-Salazar²

RESUMEN

La proteína es un nutrimento esencial en la dieta de las vacas lecheras ya que aporta aminoácidos para el animal y, al mismo tiempo, suministra nitrógeno para los microorganismos del rumen, por lo que, parte de la proteína disponible para los rumiantes proviene de la proteína microbiana y de la ración que consumen. En la mayoría de situaciones, la proteína microbiana es la principal fuente de aminoácidos absorbidos; sin embargo, cuando grandes cantidades de proteína no degradable en el rumen son ofrecidas a los animales, la proteína proveniente de los microorganismos puede no ser la fuente principal. El concepto de proteína metabolizable se refiere a la proteína verdadera absorbida como aminoácidos a nivel intestinal y que es suplida por la proteína microbiana, por la proteína endógena y por la proteína de la dieta que escapa la degradación en el rumen (proteína de sobrepaso). Normalmente se trabaja con el concepto de proteína cruda; sin embargo, esto puede incurrir en excesos que además de caros, pueden ocasionar problemas en el animal y en el ambiente, por lo que el objetivo de este documento es presentar un extracto de la metodología que utiliza el modelo del NRC (2001) para determinar los requerimientos de proteína metabolizable en el ganado de leche. Dentro de los pasos, se requiere calcular el requerimiento para mantenimiento que incluye el nitrógeno (N) endógeno urinario, el N dérmico, el N metabólico fecal y el N endógeno, y el requerimiento para producción de leche. Para determinar el aporte de proteína metabolizable de la ración, es necesario calcular la cantidad de nutrientes digestibles totales (NDT) que aporta la ración. A pesar de que ya han pasado muchos años desde la publicación de los requerimientos nutricionales del ganado de leche y de que existen programas de cómputo que realizan estos cálculos, se pretende detallar la manera en que se realizan los cálculos para hacer esta información más accesible a usuarios potenciales de Costa Rica y América Latina.

¹Este trabajo formó parte del proyecto No. 737-B5-188, inscrito en la Vicerrectoría de Investigación y ED-2746, inscrito en la Vicerrectoría de Acción Social. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

² Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Cartago, Costa Rica. Autor para correspondencia: jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-2603-9635>).

Recibido: 13 agosto 2020

Aceptado: 29 setiembre 2020

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0.



Palabras clave: requerimientos, nutrición de rumiantes, balance de raciones, nutrimentos.

ABSTRACT

Estimation of the supply of metabolizable protein in dairy cattle. Protein is an essential nutrient in the diet of dairy cows as it provides amino acids for the animal and, at the same time, supplies nitrogen for the rumen microorganisms; therefore, part of the protein available to ruminants comes from microbial protein and dietary sources. In most feeding situations, microbial protein is the primary source of absorbed AA; however, when large amounts of rumen undegradable protein are fed to the animals, microbial protein may not be the primary source. Metabolizable protein is the true protein absorbed as amino acids by the intestine and supplied by microbial protein, endogenous protein and dietary protein that escapes degradation in the rumen. Normally, the concept of crude protein is used; however, this can incur in excess protein that, in addition to being expensive, can cause problems to the animal and the environment, thus the objective of this document is to present an extract of the methodology used by the NRC (2001) model to determine metabolizable protein requirements in dairy cattle. Within the steps, it is required to calculate the maintenance requirement that includes urinary endogenous nitrogen (N), scurf N, fecal metabolic N and endogenous N, and the requirement for milk production. To determine the metabolizable protein contribution of the ration, it is necessary to calculate the amount of total digestible nutrients (TDN) supplied in the ration. Despite the fact that many years have passed since the publication of the nutrient requirements of dairy cattle, and that there are computer programs that perform these calculations, it is intended to detail the way in which the calculations are carried out to make this information more accessible to potential users in Costa Rica and Latin America.

Key words: requirements, ruminant nutrition, ration balance, nutrients.

INTRODUCCION

El nitrógeno, junto con el carbono y el oxígeno, es el más complejo y crucial de los elementos esenciales para la vida. El fertilizar los granos y forrajes con fertilizantes nitrogenados, orgánicos o inorgánicos, ha sido reconocido como un punto clave para mejorar el rendimiento y los retornos económicos en los sistemas de producción de leche (Keeney y Hatfield, 2008).

Desde el punto de vista nutricional de rumiantes, los requerimientos de nitrógeno son cubiertos por aminoácidos, péptidos y polipéptidos, productos terminales del metabolismo de la proteína

y el reciclaje de la urea (Schwab, Huhtanen, Hunt y Hvelplund, 2005). La proteína dietética generalmente se conoce como proteína cruda (PC) que, para los alimentos, se define como el contenido de nitrógeno total del alimento multiplicado por 6,25; considerando que el contenido promedio de nitrógeno (N) en los alimentos es igual a 16 gramos por cada 100 gramos de proteína (Schwab y Broderick, 2017) y el cálculo del contenido de PC incluye tanto el nitrógeno proteico como el nitrógeno no proteico (NNP).

La proteína dietética se puede dividir, de acuerdo con su solubilidad y degradabilidad en el rumen, en tres fracciones a saber: A, B y C (Figura 1). La fracción A incluye el nitrógeno no proteico que es utilizado exclusivamente en forma de amoníaco (NH₃). La fracción C es el porcentaje de proteína cruda que no se degrada en el rumen y es indigestible en el intestino delgado por estar ligada a la fibra ácido detergente. La fracción B está dada por la diferencia 100 – (A + C) y se considera la proteína verdadera potencialmente degradable en el rumen cuando el tiempo de fermentación es suficiente para que dicho proceso se lleve a cabo y se puede subdividir a su vez en tres fracciones (NRC, 2001).

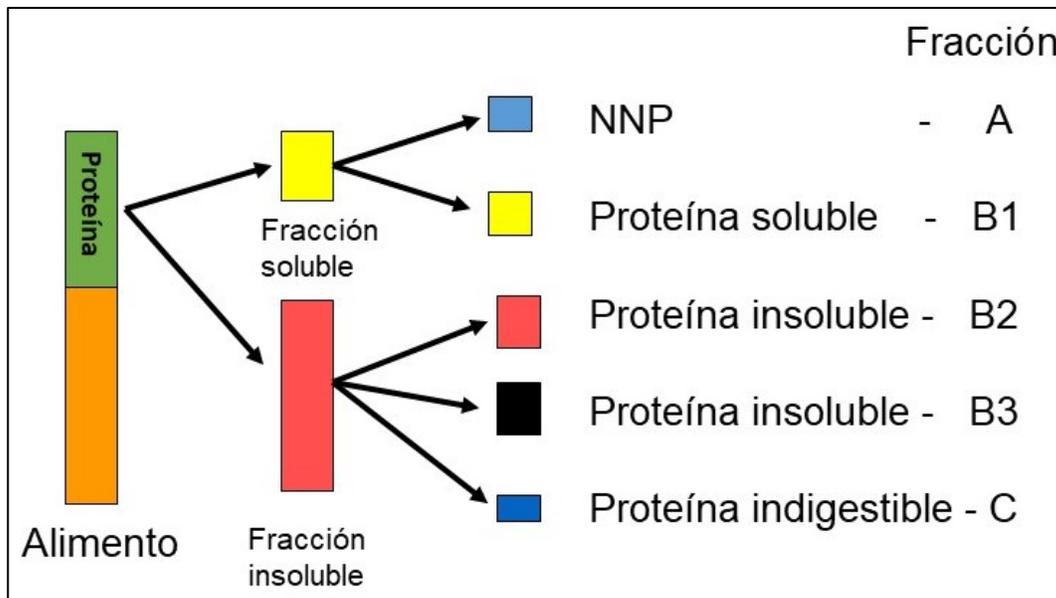


Figura 1. Esquema para mostrar el fraccionamiento de la proteína proveniente de la ración, su solubilidad y degradabilidad en el rumen (Adaptado de Licitra, Hernandez y Van Soest, 1996).

Desde otro punto de vista más funcional, el nitrógeno contenido en los alimentos se puede dividir en dos componentes: N proteico y N no proteico. Una fracción del N proteico es degradada en el rumen por los microorganismos ruminales (bacterias, hongos y protozoos), y a esta fracción se le conoce como proteína degradable en el rumen (PDR). Los microorganismos utilizan estos

compuestos nitrogenados para sintetizar sus propias proteínas (proteína microbiana). La otra fracción corresponde a la proteína no degradable en el rumen (PNDR), también conocida como proteína de sobrepaso o sobrepasante, y es aquella que simplemente pasa del rumen hacia el resto del tracto digestivo.

Los microorganismos del rumen utilizan el NH_3 , esqueletos carbonados de los aminoácidos (AA) y energía para reproducirse. Estos microorganismos pasan luego al tracto digestivo junto con la proteína no degradada en el rumen para su posterior digestión y absorción. Parte del amoníaco no utilizado por las bacterias es absorbido a través de las paredes del rumen, pasando al torrente sanguíneo y luego al hígado donde es convertido a urea, la cual se puede reciclar en la saliva y sangre, o puede eliminarse a través de la orina, heces o leche. Una fracción de los AA absorbidos en el intestino delgado será utilizada para la síntesis de músculo y proteínas de la leche. Finalmente, parte de la proteína no degradable en el rumen y de la proteína microbiana no será digerida ni absorbida en el tracto digestivo y será excretada en las heces (Figura 2) (Walker, Newbold y Wallace, 2005).

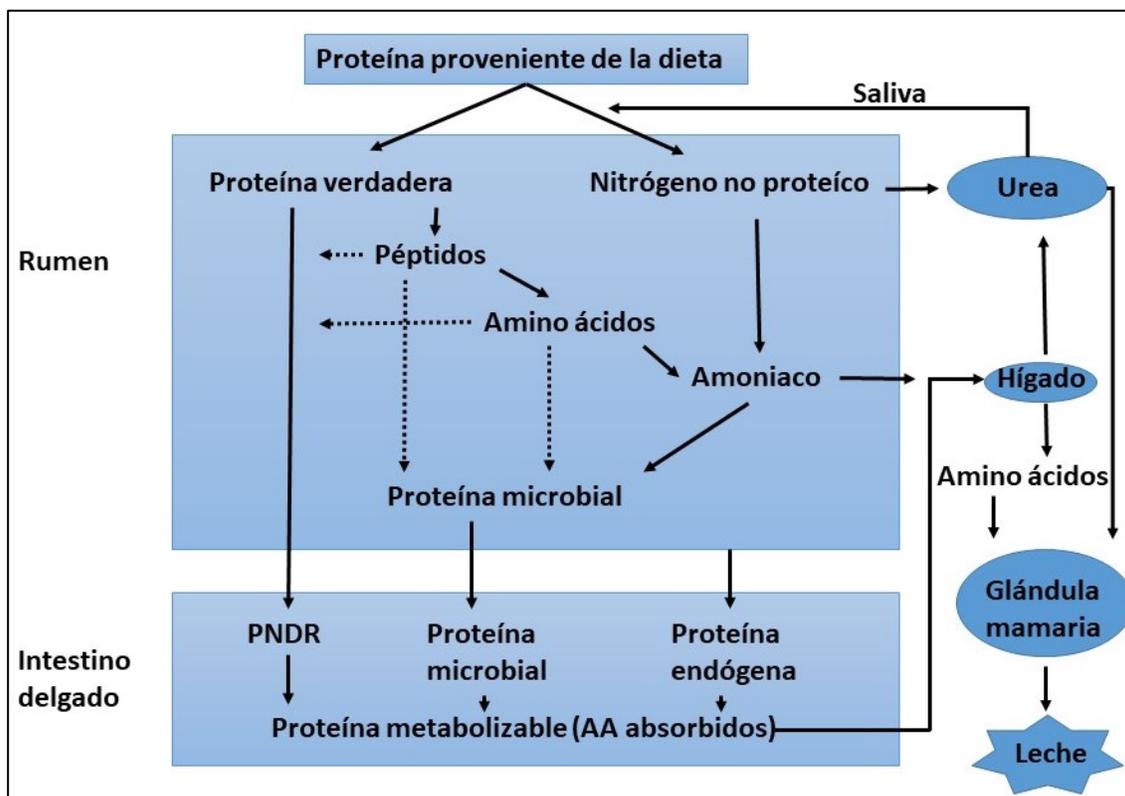


Figura 2. Esquema del metabolismo del nitrógeno en un rumiante (PNDR = proteína no degradable en el rumen) (Adaptado de Spek, Dijkstra, Van Duinkerken y Bannink, 2013).

ESTIMACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE PROTEÍNA METABOLIZABLE (PM)

El concepto de PM fue introducido por Burroughs, Trenkle y Vetter (1971) para ganado de engorde intensivo. La PM se define como la proteína verdadera que es digerida post ruminalmente, y los aminoácidos absorbidos en el intestino (NRC, 2001). La proteína microbiana sintetizada en el rumen, la proteína del alimento no degradada en el rumen y la proteína endógena, contribuyen al paso de PM al intestino delgado (NRC, 2001).

Utilizar el sistema de PM para balancear dietas en ganado de leche, representa un cambio significativo con referencia al sistema de proteína cruda. Más que formular para obtener una concentración de proteína cruda en la ración, es dar énfasis en llenar los requerimientos de N de los microorganismos del rumen y los requerimientos de PM de la vaca, además de disminuir la excreción de N al ambiente (Spek et al., 2013). Desde este punto de vista, las raciones son balanceadas para PDR y PNDR, en donde los requerimientos de PNDR es la diferencia entre los requerimientos de proteína metabolizable estimados y la proteína metabolizable que suplen los microorganismos del rumen o lo que se conoce como proteína microbiana (NRC, 2001).

Los requerimientos de PM se determinan de manera factorial como la suma de las necesidades para mantenimiento y producción (Figura 3).

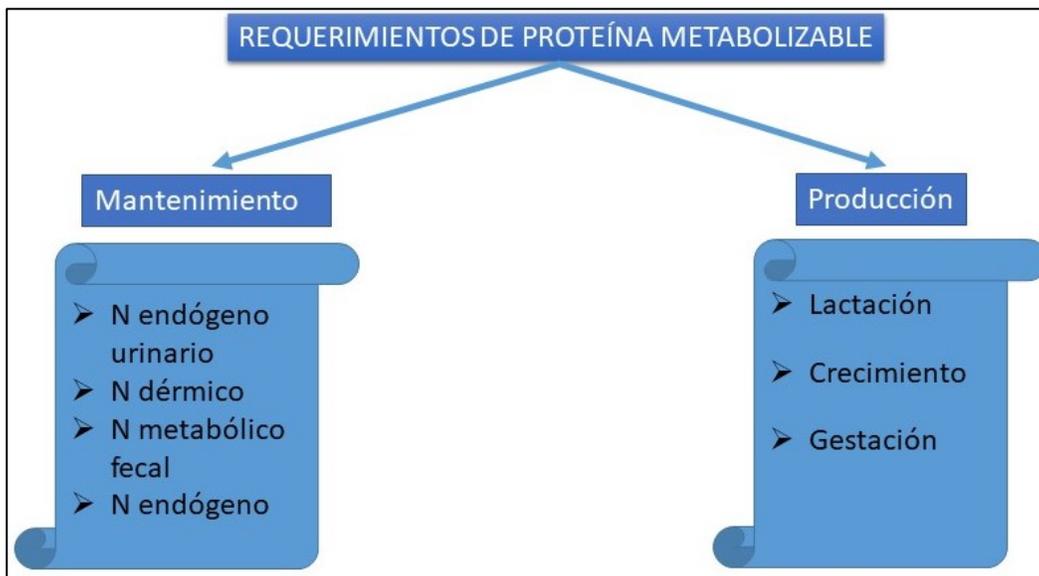


Figura 3. Representación factorial de los requerimientos de proteína metabolizable (Adaptado del NRC, 2001).

Antes de mostrar paso a paso la manera en que se determinan los requerimientos de PM para ganado lechero, se va a considerar una vaca adulta de 540 kg de peso vivo que produce 27 litros de leche (3,8% de grasa; 3,2% de proteína cruda y 4,85% de lactosa), con 75 días de gestación y 150 días en lactancia. Este animal consume 18,8 kg de materia seca (MS) de una ración que se detallará más adelante, pero que por ahora es necesario saber que aporta 10,09 kg de nutrientes digestibles totales (NDT) y 2,39 kg de PDR.

Requerimientos diarios de proteína metabolizable para mantenimiento (PM_m)

Las necesidades de proteína metabolizable para mantenimiento (PM_m) de animales en edad adulta se calculan factorialmente como la suma de los requerimientos para cubrir los gastos por la proteína que se pierde como N endógeno urinario, N dérmico, N metabólico fecal y N endógeno (Figura 3). El N dérmico incluye descamaciones, secreciones de la piel y pelos; el N metabólico fecal consiste de bacterias y componentes de bacterias sintetizadas en el ciego e intestino grueso, células queratinizadas y otros compuestos. Las fuentes de proteína endógena que pueden contribuir a la proteína duodenal incluyen mucoproteínas en la saliva, células epiteliales del aparato respiratorio, células y restos de células de la boca, esófago, retículo-rumen, omaso y abomaso; y también N presente en las secreciones enzimáticas del abomaso (NRC, 2001; Schwab et al., 2005).

A continuación, se presentan las ecuaciones matemáticas que utiliza el modelo del NRC (2001) para calcular los requerimientos de PM_m .

N endógeno urinario:

$$\text{Proteína metabolizable (gramos/día)} = 4,1 \times PV^{0,50}$$

donde PV = Peso vivo en kilogramos.

Así, por ejemplo, si la vaca pesa 540 kg entonces,

$$\begin{aligned} \text{Proteína metabolizable (g/d)} &= 4,1 \times 540^{0,50} \\ &= 4,1 \times 23,24 \\ &= 95,28 \text{ g/d.} \end{aligned}$$

N dérmico:

$$\begin{aligned} \text{Proteína metabolizable (g/d)} &= 0,3 \times PV^{0,60} \\ &= 0,3 \times 540^{0,60} \\ &= 0,3 \times 43,59 \\ &= 13,08 \end{aligned}$$

N metabólico fecal:

$$\text{Proteína metabolizable (g/d)} = (\text{CMS} \times 30) - 0,5 \times ((\text{PMM} / 0,8) - \text{PMM})$$

donde CMS = Consumo de materia seca, en kilogramos

PMM = PM proveniente de microorganismos ruminales, en gramos.

Esta ecuación presenta un problema a la hora de obtener los resultados de manera manual, ya que no se cuenta con el dato de PMM. Sin embargo, la PMM se calcula a partir de los nutrientes digestibles totales (NDT) o de la proteína degradable en el rumen (PDR). Por lo que, para poder calcular los requerimientos de PM, es necesario conocer los NDT y la concentración de PDR de la ración que están consumiendo los animales. Esto podría causar algo de confusión, pero se debe recordar que este modelo matemático utilizado en nutrición animal es una herramienta para evaluar raciones y no para balancear raciones.

Una relación PDR:PMM promedio de 1,18 es usada para definir los requerimientos de PDR de las bacterias del rumen, es decir, se asume que la PDR es capturada para la síntesis de proteína microbiana con una eficiencia constante de 0,85. Las ecuaciones del modelo del NRC (2001) para calcular la PMM (g/d) son:

$$i) \quad 0,13 \times \text{kg NDT} \times 0,64 \times \text{factor de descuento de acuerdo al nivel de NDT}$$

$$ii) \quad \text{PDR} \times 0,85 \times 0,64$$

Debe utilizarse la ecuación con la que se obtenga el valor más bajo, es decir aquella en la que el nutriente (sea energía o proteína) está limitando la síntesis de proteína microbiana.

Se asume que la proteína microbiana contiene 80% de proteína verdadera y que 80% de esa proteína verdadera es digerida en el intestino delgado, de ahí el factor 0,64 (NRC, 2001).

Para continuar con el ejemplo, de acuerdo con la ración que consume la vaca (tal y como se indicó anteriormente), la cantidad de NDT es igual a 10,09 kg y la cantidad de PDR es de 2,39 kg. Al utilizar los valores en las dos fórmulas anteriores se obtiene:

$$i) \quad 0,13 \times 10,09 \times 0,64 = 0,84 \text{ kg de PM proveniente de microorganismos ruminales}$$

$$ii) \quad 2,39 \times 0,85 \times 0,64 = 1,30 \text{ kg de PM proveniente de microorganismos ruminales}$$

En este caso se determina que la energía es el factor limitante para la producción de PM proveniente de microorganismos ruminales.

Al ingresar este dato en la ecuación para calcular los requerimientos de PM y considerando que la vaca consume 18,80 kg de MS, se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{Proteína metabolizable (g/d)} &= (18,8 \times 30) - 0,5 \times ((840,0/0,8) - 840,0) \\ &= (564) - 0,5 \times (210,0) \\ &= 459,0 \end{aligned}$$

N Endógeno:

$$\text{Proteína metabolizable (g/d)} = (0,4 \times (11,8 \times \text{CMS})) / 0,67$$

donde CMS = Consumo de materia seca en kilogramos.

0,67 = Eficiencia de conversión de la proteína cruda a proteína metabolizable.

Así, si la vaca consume 18,80 kg de MS entonces,

$$\begin{aligned} \text{Proteína metabolizable (g/d)} &= (0,4 \times (11,8 \times 18,80)) / 0,67 \\ &= (0,4 \times (221,84)) / 0,67 \\ &= 132,44 \end{aligned}$$

Realizando una suma de los cuatro factores mencionados anteriormente, se obtiene el total de los requerimientos de proteína metabolizable para mantenimiento.

N Endógeno urinario:	95,27
N Dérmico:	13,08
N Metabólico Fecal:	459,00
N Endógeno:	132,44
PM_m (g/d):	699,79

Requerimientos diarios de proteína metabolizable para producción de leche (PM_l)

Los requerimientos de proteína metabolizable para producción de leche (PM_l) están basados en la cantidad de proteína verdadera secretada en la leche y se determina con la ecuación:

$$PM_l (g/d) = (P_{total} / 0,67) \times 1000$$

Donde P_{total} = Proteína total (kg/d) = Producción de leche en kg x (proteína verdadera en la leche/100).

La proteína verdadera corresponde a 93% de la proteína cruda y 0,67 es la eficiencia con que la proteína metabolizable es utilizada para lactancia (NRC, 2001).

Así, si la vaca del ejemplo produce 27 kg de leche con 3,20% de proteína cruda, entonces:

$$PM_l (g/d) = [(27 \times (3,20 \times 0,93 / 100)) / 0,67] \times 1000 = 1199,28 \text{ g/d}$$

Esta ecuación estima la proteína metabolizable para producción de leche, sin considerar la pérdida o ganancia de peso corporal típica de animales durante la lactancia (NRC, 2001).

En total este animal requiere de **1899,07 g/d** (699,00 + 1199,28) de PM.

Es importante que se puedan comprender las diferentes ecuaciones presentadas para así poder hacer un mejor uso del modelo, de esta manera se podrán ofrecer raciones que satisfagan adecuadamente los requerimientos de proteína de los animales, mejorando la eficiencia productiva y reduciendo la contaminación ambiental.

ESTIMACIÓN DEL SUMINISTRO DE PROTEÍNA METABOLIZABLE PROVENIENTE DE LA RACIÓN

Para determinar el consumo de PM por parte de los animales, hay que considerar las variables del animal, así como la cantidad y composición nutricional de los ingredientes o la ración que está consumiendo, en especial, es necesario conocer la cantidad de NDT (kg) que el animal consume. Este valor se calcula con la información presentada en Elizondo-Salazar (2020).

Para determinar el suministro de PM para el animal, es importante considerar los diferentes pasos que se basan en el esquema presentado en la Figura 4 y que se irá explicando paso a paso.

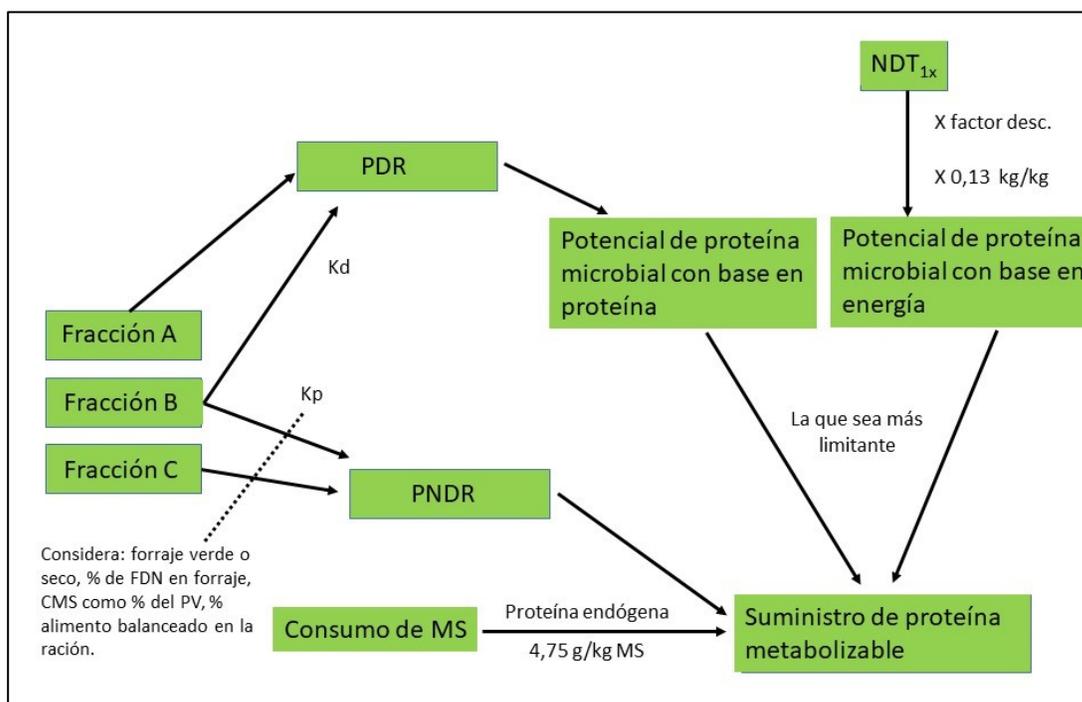


Figura 4. Suministro de proteína metabolizable proveniente de la ración. (Adaptado del NRC, 2001).

Los ingredientes que consume la vaca en la ración para este ejemplo se detallan en el Cuadro 1 y en este caso en específico, el consumo de NDT es de 10,09 kg.

Cuadro 1. Consumo y características de los ingredientes utilizados en la ración ejemplo.

Ingrediente	Categoría	MS, kg	k_p , % / h
Kikuyo	Forraje húmedo	9,60	5,19
Alimento balanceado	Concentrado	7,04	6,70
Harina de soya	Concentrado	0,89	6,70
Citropulpa	Concentrado	0,86	6,70
Melaza	Concentrado	0,37	6,70
Total		18,80	

k_p , % / h: tasa de pasaje por hora

Cálculo de la tasa de pasaje (k_p)

En este caso la k_p (% / h) o tasa de pasaje se obtiene con base en la composición de la ración y tomando en consideración las siguientes ecuaciones (NRC, 2001):

Consumo de materia seca, % PV ($18,8 / 540 \times 100$)	3,48
Porcentaje de alimento balanceado y granos en la ración (MS)	48,93
k_p del forraje verde = $3,054 + 0,614 \times \text{CMS, \%PV}$	5,19 % / h
k_p del forraje seco = $3,362 + (0,479 \times \text{CMS como \% PV}) - (0,017 \times \text{FDN del forraje}) + (0,007 \times (\% \text{ conc. en la ración}))$	
k_p del concentrado = $2,904 + 1,375 \times \text{CMS, \%PV} - 0,020 \times (\% \text{ Conc. en la dieta, MS})$	6,70 % / h

Para proseguir con el ejemplo, se requiere información de la fracción proteica de los ingredientes de la ración. Uno de los grandes inconvenientes que se tiene en Costa Rica para poder utilizar el concepto de PM en las raciones para bovinos, es que se necesita conocer las fracciones A, B y C de la proteína y la tasa de digestión (K_d , %/h) de la fracción B de los diferentes ingredientes, y en la mayoría de ocasiones, se carece de la misma. En el Cuadro 2, se presentan los datos analizados de las fracciones proteicas de algunos ingredientes y materias primas utilizados en raciones en nuestro país.

Cuadro 2. Fraccionamiento de la proteína de algunos insumos y materias primas utilizadas en la formulación de raciones para rumiantes en Costa Rica.

Ingrediente o materia prima	PC, %	A	B	C	Fuente
Acemite de trigo	18,79	45,65	50,24	4,11	Araya, 2002
Banano verde	5,07	57,38	19,50	23,12	Herrera, 2002
Cáscara de banano maduro	8,16	27,50	27,00	45,50	Herrera, 2002
Cáscara de piña	6,33	52,50	26,50	21,00	Herrera, 2002
Cascarilla de arroz	2,61	16,94	29,28	53,78	Cruz, 2000
Cascarilla de soya	13,99	35,78	55,71	8,51	Cruz, 2000
Harina de coquito de palma (solv.)	16,26	9,64	74,19	16,17	Cruz, 2000
Melón	17,58	60,38	28,25	11,37	Herrera, 2002
Olote de maíz	2,50	27,52	16,36	56,12	Cruz, 2000
Pericarpio de maíz	5,19	1,66	86,88	11,46	Cruz, 2000
Pulpa de cítricos fresca	6,89	53,53	29,12	17,35	Herrera, 2002
Puntilla de arroz	9,01	14,43	75,54	10,03	Araya, 2002
Salvadillo de trigo	18,16	39,77	55,67	4,56	Araya, 2002
Semolina de arroz	13,14	33,51	59,17	7,32	Araya, 2002

Debido a que muy pocos estudios en nuestro país han determinado esos valores, se debe hacer uso de datos de tablas determinados en otros países, y para este ejemplo, se utilizan valores indicados en las tablas del NRC (2001).

Cuadro 3. Concentración de proteína cruda y fracción proteica de los ingredientes utilizados en la ración ejemplo.

Ingrediente	PC	A	B	C	k _d de B
	% de la MS	% de la PC			% / h
Pasto kikuyo, 30 días	19,0	30,7	63,5	5,8	12,3
Alimento balanceado	16,0	22,0	75,0	3,0	5,4
Harina de soya	46,5	22,5	76,8	0,7	9,4
Citropulpa	6,9	41,7	53,3	5,0	7,4
Melaza	3,8	74,1	25,9	0,0	3,2

Con base en la información anterior (Cuadro 3), es necesario calcular las cantidades de PC, las fracciones A, B, y C, y la cantidad de proteína degradable y no degradable (a nivel ruminal) de la fracción B.

Ingrediente	PC	A	B	C	Fracción de B*	
	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	Degrad.	No Degrad.
Kikuyo	1,82	0,56	1,16	0,11	0,70	0,30
Alimento balanceado	1,13	0,25	0,84	0,03	0,51	0,49
Harina de soya	0,41	0,09	0,32	0,00	0,58	0,42
Citropulpa	0,06	0,02	0,03	0,00	0,52	0,48
Melaza	0,01	0,01	0,00	0,00	0,32	0,68
Total	3,44					

* Degradable = $kd/(kd+kp)$; No degradable = $kp/(kd+kp)$

Ahora se debe calcular la cantidad de PDR y la PNDR proveniente de cada ingrediente.

Ingrediente	*PDR, kg/d	**PNDR, kg/d
Kikuyo	1,37	0,45
Alimento balanceado	0,68	0,45
Harina de soya	0,28	0,14
Citropulpa	0,04	0,02
Melaza	0,01	0,00
Total	2,39	1,05

$$*PDR = A + (B \times (kd / (kd + kp))) \quad **PNDR = B \times (kp / (kd + kp)) + C$$

Se procede seguidamente a transformar los cálculos a porcentaje de la ración.

PC, (% MS)	3,44	/	18,8	x 100	18,33	% MS
PDR, (% MS)	2,39	/	18,8	x 100	12,71	% MS
PNDR, (% MS)	1,05	/	18,8	x 100	5,61	% MS

Cálculo de PM proveniente de los microorganismos ruminales (proteína microbial), de la PNDR y de fuentes endógenas.

Consumo de TND, kg/d	10,09	
Factor de descuento, %	0,00	
TND descontado, kg/d	10,09	
Proteína cruda microbial (PCM) fluyendo del rumen, kg/d		
= Desc.TND, kg/d x 0,13	10,09 x 0,13	1,31
Proteína verdadera en la PC microbial, %		80
Digestibilidad de la verdadera proteína microbial, %		80
PM proveniente de microorganismos ruminales, kg		0,84

Para calcular la PM proveniente de la PNDR, se requiere conocer la digestibilidad intestinal de la fracción B. En nuestro país se carece de esta información, por lo que se recurrió a valores de tablas del NRC (2001).

Ingrediente	PNDR, kg/d		Digestibilidad Intestinal, %		PNDR digestible, kg/d
Kikuyo	0,45	x	75	/100	0,34
Alimento balanceado	0,45	x	90	/100	0,40
Maíz molido	0,00	x	90	/100	0,00
Harina de soya	0,14	x	93	/100	0,13
Citropulpa	0,02	x	80	/100	0,01
Melaza	0,00	x	100	/100	0,00
Total					0,88

Ahora se procede a calcular la PM proveniente de fuentes endógenas.

PC endógena, kg/d = 0,011875 x CMS, kg/d	0,22
Proteína verdadera de la PC endógena, %	50
Digestibilidad de la proteína endógena verdadera, %	80
Proteína metabolizable de fuentes endógenas, kg/d	0,09

Finalmente se utiliza la cantidad de PM proveniente de los microorganismos del rumen, considerando el nutriente más limitante en la ración para la actividad microbial.

¿Qué limita la producción de proteína microbial, la energía o la proteína?

$$PCM_E = 10,09 \times 0,13 \times 0,64 = \mathbf{0,84 \text{ kg/d}}$$

Con base en energía, el flujo de PCM del rumen, kg/d = Desc. NDT, kg/d x 0,13 x 0,64

$$PCM_P = 2,39 \times 0,85 \times 0,64 = \mathbf{1,30 \text{ kg/d}}$$

Con base en proteína, el flujo de PCM del rumen, kg/d = PDR x 0,85 x 0,64

En este caso, la energía es el nutriente que limita la producción de proteína microbial. Finalmente, esos 0,84 kg se le suman a la PM proveniente de la PNDR y a la proveniente de fuentes endógenas:

$$0,84 + 0,88 + 0,09 = 1,81 \text{ kg de PM.}$$

En este caso particular los requerimientos de la vaca del ejemplo eran de 1,90 kg de PM; por lo que con esta ración el animal por muy poco (-0,09 kg) no llena sus requerimientos de PM.

CONSIDERACIONES FINALES

La proteína es un nutriente de gran importancia para el ganado lechero ya que suministra los aminoácidos necesarios para la síntesis de la proteína del cuerpo y es también una fuente importante de nitrógeno para los microorganismos del rumen. Una cantidad inadecuada de este nutriente en la dieta disminuirá el desempeño de los animales y la resistencia a las enfermedades. Por lo tanto, establecer adecuadamente los requerimientos proteicos para ofrecer raciones que llenen las demandas de los animales es de gran importancia para un óptimo desarrollo y buena salud.

La proteína metabolizable es la proteína verdadera absorbida como amino ácidos a nivel intestinal y que es suplida por la proteína microbial, por la proteína endógena y por la proteína de la dieta que escapa a la degradación en el rumen. Conocer este concepto recalca la importancia de que la vaca tiene dos tipos de requerimientos proteicos: los requerimientos de los microorganismos ruminales (PDR) para que haya una adecuada fermentación de los sustratos que el animal consume y, los requerimientos de aminoácidos de la vaca. No llenar alguno de esos requerimientos disminuirá el desempeño de los animales y la rentabilidad del sistema productivo.

LITERATURA CITADA

Araya, M. (2002). Valor nutritivo de los subproductos de la industrialización del trigo, arroz y pan de devolución utilizados en la alimentación del ganado lechero en Costa Rica. Tesis de licenciatura. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

Burroughs, W., Trenkle, A.H., & Vetter, R.L. (1971). Some new concepts of protein nutrition of feedlot cattle (metabolizable protein and metabolizable amino acids). *Veterinary Medicine and Small Animal Clinician*, 66, 238-247.

Cruz, M. (2000). Evaluación de la calidad nutricional y económica de los subproductos agroindustriales fibrosos utilizados por la industria de alimentos para animales en Costa Rica. Tesis de licenciatura. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

Elizondo-Salazar, J.A. (2020). Determinación de la energía en alimentos según el modelo del NRC 2001. *Nutrición Animal Tropical*, 14(2), 39-50.

- Herrera, C. (2002). Evaluación del valor nutricional de los residuos agroindustriales energéticos altos en humedad utilizados para la alimentación del ganado bovino en Costa Rica. Tesis de licenciatura. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
- Keeney, D.R., & Hatfield, J.L. (2008). The nitrogen cycle: Historical perspective, and current and potential future concerns. *In*: Nitrogen in the environment: Sources, problems, and management. Hatfield, J. L. and Follett, R. F. (Eds). 2nd edition. Associated Press.
- Licitra, G., Hernandez, T.M., & Van Soest, P.J. (1996). Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 57(2), 347-358.
- NRC (National Research Council). (2001). Nutrient requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Washington, DC., USA. National Academy Press.
- Schwab, C.G., & Broderick, G.A. (2017). A 100-Year Review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100, 10094-10112.
- Schwab, C.G., Huhtanen, P., Hunt, C.W., & Hvelplund, T. (2005). Nitrogen requirements of rattle. *In*: Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle: Reducing the environmental impact of cattle operations. Pfeffer, E., & Hristov, A. (Eds). CABI Publishing. Washington, DC, USA.
- Spek, J.W., Dijkstra, J., Van Duinkerken, G., & Bannink, A. (2013). A review of factors influencing milk urea concentration and its relationship with urinary urea excretion in lactating dairy cattle. *The Journal of Agricultural Science*, 151, 407-423.
- Walker, N.D., Newbold, C.J., & Wallace, R.J. (2005). Nitrogen metabolism in the rumen. *In*: Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle: Reducing the environmental impact of cattle operations. Pfeffer, E., & Hristov, A. (Eds). CABI Publishing. Washington, DC, USA.