



## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



---

### DE LA PROTEÍNA DEL FORRAJE A LA PROTEÍNA EN LA LECHE. METABOLISMO DEL NITRÓGENO DEL FORRAJE EN LA VACA LECHERA\*

---

**Juan E. Carulla F.**

PhD (Nutrición de Rumiantes) Universidad de Nebraska

MSc (Nutrición de Rumiantes) Universidad de Nebraska

BS (Ciencias Animales) Universidad de Nebraska

Zootecnista

Universidad Nacional de Colombia

[jcarulla@bacata.usc.unal.edu.co](mailto:jcarulla@bacata.usc.unal.edu.co)

**Colombia**

#### Abstract

Protein in milk becomes a fundamental element to establish price per liter paid to the producer, so that understanding of the factors that determine it must be understood. The use of forage protein by the dairy cow is a predominant factor. Milk protein is synthesized in the mammary gland from aminoacids taken from the circulatory system. In turn, aminoacids found in the blood come from those absorbed through the intestine. Origin of aminoacids lays in the dietary protein that is not degraded in the rumen (bypass protein) and the microbial protein synthesized in the rumen. Forages account for the degradable protein for synthesis of microbial protein and bypass protein. In general, our forages (kikuyo and ryegrass) have a low bypass protein (20%) and a high degradable protein (80%). Additionally, part of the bypass protein is not dispoible for absorption since its binded to ADIN. This means that the main protein source in our pastures is degradable protein and will be used for the synthesis of milk protein, if once it's degraded in the rumen it's used for the synthesis of microbial protein. Then, we can say that all those diet factors that affect microbial growth will determine till a certain grade the use of forage protein in the animal. Some of them are: a) ration energy and b) ruminal environment (pH and pass velocity).





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



### Resumen

La proteína en la leche comienza a ser un elemento fundamental para establecer el precio por litro que se le paga al productor, por lo tanto, es importante que éste entienda los factores que la determinan. El uso de la proteína del forraje por la vaca lechera es un factor primordial. La proteína de la leche se sintetiza en la glándula mamaria a partir de aminoácidos (**aa**) tomados del torrente circulatorio. A su vez, los **aa** que encontramos en la sangre vienen principalmente de la absorción de éstos en los intestinos. Los **aa** tienen origen en la proteína dietaria que no se degradó en el rumen (proteína de paso) y de la proteína de origen microbial sintetizada en el rumen. Los forrajes aportan proteína degradable para síntesis de proteína microbial y proteína de paso. En general, nuestros forrajes (kikuyo y ryegrass) son bajos en proteína pasante (20%) y altos en proteína degradable (80%). Adicionalmente, parte de la proteína de paso no está disponible para absorción pues se encuentra ligada a la fibra (ADIN). Por lo tanto, el aporte de proteína de nuestros pastos es principalmente de proteína degradable y se utilizará para la síntesis de proteína en leche, si una vez degradada en el rumen es utilizada para la síntesis de proteína microbial. Entonces se puede afirmar que todos aquellos factores de la dieta que afecten el crecimiento microbial determinarán, hasta cierto grado, el uso de la proteína del forraje para el animal. Dentro de estos están: a) la energía de la ración y b) el ambiente ruminal (pH y velocidad de paso).

### Introducción

La proteína en la leche comienza a ser un elemento fundamental para establecer el precio por litro que se le paga al productor, por lo tanto es importante que éste entienda los factores que la determinan. Diferentes compañías a escala nacional han establecido esquemas de pago donde la calidad de la leche, proteína y grasa, juegan un papel importante en determinar el precio por litro. Recientemente, se firmó un acuerdo entre industriales y productores (Acuerdo de competitividad de la cadena láctea) donde se establecen claramente esquemas de precio basados en la calidad de la leche. Adicionalmente, el aumento en la oferta de leche hará que los industriales puedan exigir un producto de calidad. Finalmente, la globalización de la economía y de los mercados pondrán ejercer presiones adicionales para producir leche de calidad y particularmente alta en proteína, pues este último factor determina en alto grado el rendimiento en quesos para la industria.

Los niveles de proteína en la leche en los diferentes sistemas de producción nacional se consideran bajos y existe una variación importante dentro de los mismos.





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



Actualmente, la leche de los proveedores de Alpina en la Sabana de Bogotá tiene niveles promedios de proteína (2.9%) muy superiores a los de hace unos pocos años (2.75%) (Nelson Guerrero, comunicación, personal). Sin embargo, los niveles de proteína en leche siguen siendo inferiores a los promedios de la raza (Holstein en este caso) Hess y col. (Datos sin publicar) encontraron que la proteína en leche variaba de manera importante entre 2.8 a 3.7% en zona tropical, y esta variación se explicaba en gran medida por la fase de lactancia de la vaca y por la proteína soluble del forraje. Los diferentes factores que afectan la composición de la leche han sido revisados por varios autores (Sutton, 1989; Bachman, 1992 y Ramos y colaboradores, 1998).

En este documento se hará un esfuerzo por explicar las variables que determinan el uso del nitrógeno (proteína del forraje) para la producción de proteína láctea, ya que el forraje es la principal fuente de nutrientes en nuestros sistemas de producción. Inicialmente se hará una pequeña introducción al metabolismo del nitrógeno en los rumiantes, posteriormente se discutirá las fracciones de proteína del forraje y como éstas se usan por parte del animal para la síntesis de proteína. Finalmente, se resaltarán las ventajas y desventajas de nuestros sistemas de producción enfocados principalmente a las condiciones de producción de leche intensivas basadas en praderas de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y ryegrass (*Lolium spp*).

### Metabolismo del N y proteína láctea

La vaca lechera excreta una considerable cantidad de proteína en la leche. Una vaca en el pico de lactancia (40 lt) puede excretar diariamente cerca de 1.200g de proteína. Ésto implica que la glándula mamaría debe tomar esta cantidad de proteína del torrente sanguíneo y que el torrente circulatorio debe ofrecer como mínimo esta cantidad a la glándula. Adicionalmente, es importante señalar que la composición de aminoácidos de la proteína de la leche es constante (Tabla 1) y por lo tanto se requiere que la oferta de proteína a la glándula mamaria no sólo sea en la cantidad requerida, sino también que su calidad (composición de aminoácidos) sea la adecuada. La menor oferta de un aminoácido podría limitar la síntesis de proteína por parte de la glándula mamaria. Los aminoácidos (proteína) que se encuentran en el torrente circulatorio se originan principalmente en la absorción de los mismos en el intestino. Éstos, en el caso de la vaca lechera o los rumiantes, tiene dos orígenes: a) **la proteína de origen microbial** que se sintetiza en el rumen y b) **la proteína de origen dietario** que no se degradó en el rumen (proteína de paso).





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



**La proteína microbial** forma parte de las células de los microorganismos que crecen en el rumen, y tiene una composición de aminoácidos mas o menos constante (Tabla No 1). Se considera que la proteína de origen microbial aporta cerca del 70% de los requerimientos de proteína de una vaca lechera. Este valor varía considerablemente y depende del nivel de producción de leche y de la dieta. Por ejemplo, en una vaca de baja producción de leche (10 a 11 l) la proteína de origen microbial podría aportar cerca del 100% de los requerimientos de proteína, mientras que, en una vaca de alta producción (40 l), solamente alcanzaría a aportar entre el 50 y el 65%. Esto implica que para cubrir sus requerimientos, la vaca depende más de la proteína de paso a medida que la producción de leche aumenta. Sin embargo, la cantidad de proteína microbial que se produce en el rumen y pasa al intestino no es constante y está determinada en gran medida por factores dietarios. Es decir, la vaca puede depender más o menos de la proteína de paso dependiendo de la producción de proteína microbial en el rumen, que a su vez depende de la dieta.

De los factores dietarios que determinan el crecimiento microbial, el más importante es la energía digestible de la ración, ya que a medida que aumenta la energía aumenta la producción de proteína microbial. La cantidad de proteína microbial producida por unidad de energía se conoce como la eficiencia microbial. Se considera que para dietas que contienen granos, ésta puede estar entre 12 y 14 g de proteína cruda microbial por cada 100 g de TDN y de 16 g/100 g TDN para forrajes toscos (VanSoest, 1982). Otros factores como pH ruminal y tasa de pasaje pueden alterar estas constantes. Strobel y Russell (1986) encontraron que la producción de proteína microbial in vitro disminuía en un 50% cuando el pH disminuía de 6.7 a 5.7.

**La proteína de paso** es la fracción de proteína del alimento que no se degrada en el rumen. Su calidad (digestibilidad y composición de **aa**) es variable y depende del origen de los ingredientes usados en la ración. En nuestros sistemas de producción, la proteína de paso proviene del forraje y de los suplementos.

---

### **La proteína en los pastos y su aporte a la vaca lechera**

---

En el caso de los rumiantes, la proteína de la ración o de los forrajes se ha clasificado en tres fracciones de acuerdo con su solubilidad (Orskov, 1982). Actualmente, los sistemas de evaluación de raciones como el CNCPS (Russell et. al.,1992) han subdividido estas fracciones. Para este documento, hemos decidido trabajar sobre las tres fracciones originales **a, b y c**. La fracción **a** altamente soluble, la fracción **b** no soluble y una fracción **c** de proteína ligada a la fibra en detergente ácido.





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



La fracción **a** es degradada completamente en el rumen y parcialmente utilizada para el crecimiento microbial. La porción de la fracción **a** que no se incorpora pasa a formar NH<sub>3</sub>, es absorbida a través de la pared del rumen y llega al hígado donde es transformada en urea. La urea puede ser excretada en la orina o en la leche o se recicla al rumen vía saliva. La fracción **b** es parcialmente degradada en el rumen e involucrada a la proteína microbial. La parte de la fracción **b** que no se degrada es digerida a nivel intestinal (proteína de paso). El uso de las fracciones **a** y **b** en el rumen está estrechamente ligada al balance entre la energía y la proteína de la ración. La fracción **c** es una fracción que no está disponible ni para las bacterias ni para el animal.

En la Sabana de Bogotá, la fracción **a** de los forrajes como el kikuyo y el ryegrass está entre 40 y 50%, la fracción **b** entre el 30 y 40% y la fracción **c** entre 10 y 20% de la proteína cruda (Carulla, datos sin publicar). La fracción de proteína pasante de estos forrajes ha sido estimada en nuestro laboratorio usando la técnica de digestibilidad in situ entre 17 y 22% de la proteína total dependiendo de la tasa de pasaje en el rumen (Algarra y Mejía, 1996). De esta fracción pasante, un gran porcentaje corresponde a la fracción **c**, es decir que no es digerible ni en el rumen ni en los intestinos. Por lo tanto, el valor de proteína pasante digerible de los pastos que nosotros manejamos es relativamente bajo. Se podría sugerir que la mayor parte de la proteína de nuestros forrajes se degrada en el rumen y su uso, por parte de la vaca lechera, dependerá de la incorporación de la misma por parte de los microorganismos del rumen a través de la síntesis de proteína microbial.

---

### La proteína del forraje en nuestros sistemas de producción y la proteína en la leche

---

Los sistemas de producción de la zona andina y particularmente los intensificados, se basan en el uso intensivo de praderas altamente fertilizadas, donde los animales son suplementados con concentrado. Las pasturas de estos sistemas son generalmente mono cultivos de kikuyo y/o ryegrass. Los niveles de proteína de estas praderas son altos (prom 21% de PC) y como se mencionó anteriormente, la mayoría de esta proteína se degrada en el rumen. En la Universidad Nacional hemos venido trabajando en diferentes sistemas para evaluar el grado de uso de la proteína del forraje por parte de la vaca lechera. Recientemente, se ha generado un programa de simulación basado en los sistemas para establecer requerimientos proteicos de la vaca lechera del NRC (1989), AFRC (1992) y CNCPS (Russell et al., 1992). El sistema de simulación establece los requerimientos de aminoácidos de la vaca lechera basado en el peso metabólico y la producción y composición de la leche.





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



Basados en este sistema, se puede concluir que nuestros forrajes aportan más proteína degradable de la que los microorganismos del rumen pueden utilizar para síntesis de proteína microbial (Tabla No.2). Este exceso de proteína implica que una gran parte de la proteína del forraje se pierde y es excretada en la orina o en la leche como urea. La cantidad de proteína que utilizan los microorganismos no es constante sino que depende de la energía de la ración y de la eficiencia microbial. Los excesos de proteína de nuestros sistemas han sido corroborados a nivel de campo al determinar urea en leche (Abreu y Petri, 1998). Estos investigadores encontraron niveles de urea en leche de 22 mg/dL en 100 vacas de diferentes hatos de la Sabana de Bogotá. Estos niveles son altos y están por encima de los parámetros recomendados para vacas lecheras (15 mg/dL). Los mismos investigadores encontraron que este nivel estaba estrechamente relacionado con los niveles de proteína del forraje para hatos en la zona de Boyacá.

El aumento de la energía de la ración a través de programas de suplementación, debería aumentar el uso de la proteína en el rumen y por lo tanto aumentar el flujo de aminoácidos al intestino e incrementar la proteína en la leche. De hecho, varios autores ( Sutton, 1989; Bachman, 1992) reportan que un aumento en la energía de la ración generalmente está asociado con un aumento en la proteína de la leche. Desde el punto de vista del uso de la proteína del forraje, se ha encontrado que al aumentar la energía de la ración disminuye el nivel de urea sanguínea y de urea en leche (Hammond y Chase, 1997) por lo que se podría concluir que aumenta el uso de la proteína del forraje. El sistema de simulación claramente indica que al aumentar la energía de la ración, se logra aumentar la proteína en la leche (Tabla No 3) y aumenta el uso de la proteína del forraje (Tabla No 2).

Adicionalmente a la energía, el programa de simulación indica que el uso de la proteína degradable del forraje puede verse aumentada si incrementamos la eficiencia microbial. Por eficiencia microbial se entiende la cantidad de proteína microbial producida por unidad de energía fermentable de la ración. Existen varios factores que modifican la eficiencia microbial, dentro de los más importantes está el pH ruminal. A pH más bajo menor eficiencia microbial. Los pHs óptimos se encuentran entre 6.2 y 6.7. En nuestros sistemas de pastoreo donde se ha promovido el uso de forrajes tiernos, el pH ruminal es generalmente afectado negativamente (pH bajo) debido a la ausencia o baja rumia,





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



ya que los forrajes tienen poca fibra efectiva (fibra que genera rumia). Los bajos pHs ruminales se ven agravados por las altas suplementaciones de concentrado en el momento del ordeño. El bajo pH ruminal en nuestros sistemas se ve reflejado en bajos niveles de proteína y grasa en la leche. Nuestro sistema de simulación indica que mejorando la eficiencia microbial podríamos lograr aumentos significativos en la proteína en leche y aumentar el uso de proteína del forraje.

Las recomendaciones prácticas podrían ser las de incluir un Kg. de heno o de tamo en los programas de suplementación. El uso de aditivos como la monensina podrían aumentar la eficiencia microbial y disminuir la deaminación de la proteína en el rumen con un resultado positivo en el uso de la proteína del forraje (Yang y Russell, 1993).

### Conclusiones

En los sistemas de producción intensiva de leche, el uso de la proteína del forraje por parte de la vaca lechera está influenciado por las características de la proteína del forraje, la energía de la ración y la eficiencia microbial. La proteína de nuestros forrajes es altamente degradable y por lo tanto su uso por parte de la vaca lechera depende en gran medida de la incorporación de la misma a la proteína microbial. Actualmente, cerca del 40 a 50% de la proteína del forraje no se está aprovechando. El autor considera, basado en un programa de simulación y datos de investigación, que la energía de la ración y la eficiencia microbial son dos factores importantes para mejorar el uso de la proteína del forraje y aumentar la proteína en la leche. La suplementación de alimentos ricos en energía fermentable (azúcares y almidones) y el uso de fibra efectiva (tamos y henos) son las alternativas para mejorar la calidad de la leche (proteína y grasa) y mejorar el uso de la proteína en nuestros forrajes.





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



**Tabla No 1.**  
**Composición de aminoácidos de la proteína bacteriana y de la proteína de la leche**

Aminoácidos	Proteína microbiana <sup>a</sup>	Leche <sup>b</sup>
	g aa/100g de proteína	
Isoleucina	5.8	5.6
Leucina	8.0	10.2
Lisina	9.2	8.2
Metionina	2.5	2.9
Cisteína	1.4	1.0
Fenilalanina	5.3	5.4
Tirosina	4.9	4.5
Treonina	5.7	5.0
Triptófano	1.5	1.4
Valina	5.8	7.4
Arginina	5.3	4.0
Histidina	2.1	3.0
Alanina	6.8	3.8
Acido aspártico	11.9	8.5
Acido glutámico	12.4	23.0
Glicina	5.4	2.2
Prolina	3.6	9.4
Serina	4.7	5.9
DAPA	0.8	—

<sup>a</sup>Storm(1982) estimativos de la literatura basados en 42 reportes.

<sup>b</sup>McCance y Widdowson (1978).

**Tabla No 2.**  
**Estimados de la proteína del forraje 1 utilizada (%) por una vaca lechera (600Kg) bajo diferentes escenarios de eficiencia microbiana y energía de la ración**

Energía de la ración (NDT <sup>2</sup> )	Eficiencia microbiana (g. PCM/100g TDN)			
	10	12	14	15
	% de proteína utilizada			
<b>55</b>	35.0	40.0	45.0	47.7
<b>65</b>	39.5	42.7	51.0	54.5
<b>75</b>	41.8	45.5	57.7	61.3

<sup>1</sup> Se asumió un Ryegrass con 22% de proteína de los cuales solamente el 10% es pasante.

<sup>2</sup> Nutrientes digeribles totales.

PCM Proteína cruda microbiana.





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



**Tabla No 3.**

**Proteína en leche (%) estimada por el modelo para una vaca de 600Kg. consumiendo un forraje de 22% de proteína, con diferentes niveles de producción de leche y energía de la ración**

Producción de leche	EFICIENCIA MICROBIAL (mg PCM/100g TDN)								
	10			12			14		
	TDN de la ración			TDN de la ración			TDN de la ración		
	60%	70%	80%	60%	70%	80%	60%	70%	80%
	% de Proteína en leche								
10 L/día	1.95	2.57	3.18	2.69	3.42	4.16	3.42	4.28	5.15
20 L/ día	1.43	1.79	2.16	1.87	2.31	2.76	2.31	2.83	3.35
30 L/ día	1.25	1.54	1.82	1.59	1.94	2.28	1.94	2.34	2.76
40 L/ día	1.16	1.41	1.65	1.46	1.75	2.05	1.75	2.10	2.44

\* Documento producido por: Juan Carulla<sup>1</sup>, Luis Castello<sup>2</sup> y Constanza Riveros<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia, <sup>2</sup> Nutryr Ltda.

### Bibliografía:

ABREU A. y H. S. Petri. Uso del MUN ( Nitrógeno Uréico en Leche) para Diagnosticar Balance Proteína-Energía en la Dieta de Vacas Lecheras Holstein en Pastoreo en el Altiplano Cundiboyacense. Santafé de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1998.

AFRC. Energy and Protein Requirements of Ruminants. Wallingford: UK CAB International. 1993.

ALGARRA O. A. y M. P. Mejía. Suplementación con Metionina protegida y su efecto en la calidad y cantidad de leche en vacas de hatos de alto potencial lechero de la Sabana de Bogotá. Santafé de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1996.

BACHMAN K. C. Managing Milk Composition. En: Large Dairy Herd Management. 1992.

HAMMOND, A. C. y C. C. Chase. Uso de indicadores en la sangre y la leche para determinar el estado nutricional y eproductivo del ganado vacuno, En: Lascano C.E.; Holmann F. 1997. Conceptos y Metodologías de Investigación en Fincas con Sistemas de producción Animal de Doble Propósito. Cali: CUAT, Consorcio TropicLeche, 285 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6ª. Ed. rev. Washington : National Academy of Science, 1989.

