

## Capítulo 2

### UTILIZACIÓN DEL NITRÓGENO POR LOS RUMIANTES

*Luisa M. Giraldo, Zoot, Esp<sup>1</sup>; Gloria E. Medina, Zoot, Esp<sup>2</sup>;  
Fernando Osorio, Zoot<sup>3</sup>*

#### Resumen

*Es de vital importancia la comprensión total de los procesos relacionados con el uso del nitrógeno en el rumiante, pues éstos afectan directamente el desempeño productivo y reproductivo. Particularmente en el ganado de leche, las alteraciones en el metabolismo proteico, como los excesos de amoníaco en rumen, desbalances en la relación energía:proteína y las deficiencias de proteína no degradable, se presentan como consecuencia del manejo de las lecherías especializadas, con altas fertilizaciones nitrogenadas, pastoreos a edades tempranas del forraje, altas suplementaciones proteicas y bajos consumos de materia seca. En esta revisión se hace una recopilación de los reportes científicos sobre la utilización de las fuentes nitrogenadas, los efectos producidos por un desbalance en la relación energía:proteína, la importancia de la síntesis de proteína microbiana, y se presentan algunas estrategias para la optimización de la nutrición proteica en rumiantes.*

**Palabras clave:** *amoníaco, energía, proteína degradable, rumen, sincronización, urea.*

---

1 Departamento de asistencia técnica, COLANTA

2 Pérez y Cardona Ltda.

3 Finca S.A.

## Nitrogen use by ruminants

### Summary

*A complete understanding of the processes related to the use of nitrogen in ruminants, specially dairy cattle, is important since production and reproduction performance depends on an efficient nitrogen utilization. High nitrogen fertilization, early grazing, high protein supplementation and a low dry matter intake are related to high ruminal ammonia levels, unbalances in the energy to protein ratio and bypass protein deficiency. We reviewed the use of nitrogen sources, the effects of an unbalanced energy/protein ratio, the importance of microbial protein synthesis and present some strategies to optimize protein nutrition in ruminants.*

**Key words:** ammonia, degradable protein, energy, synchronization, rumen, urea

### Introducción

En 1991, Butler demostró que un exceso de proteína en la dieta, como estrategia para alcanzar un mayor rendimiento en la producción de leche, afecta negativamente el desempeño de la vaca. La anterior afirmación relaciona el estatus lactacional de la vaca y el balance de nitrógeno a nivel corporal, asumiendo un balance energético negativo y unos altos costos para la conversión de amoniaco en urea en el hígado (35).

Así mismo, se considera que las vacas en la etapa de lactancia son menos tolerantes a niveles altos de amoniaco y urea en plasma, lo cual se debe a una baja eficiencia en la utilización de la proteína degradable o al efecto negativo sobre el funcionamiento de hormonas clave como es la insulina. (41). Sin embargo, nuestras lecherías especializadas, en su afán por incrementar la producción de leche, han adoptado una serie de prácticas, como las altas fertilizaciones nitrogenadas (especialmente con abonos provenientes de excretas animales), además del cambio de pastos tradicionales y el uso de suplementos altamente proteicos; esto origina un fuerte desbalance en la relación energía/proteína y por consiguiente alteraciones en el desempeño reproductivo (abortos, bajos porcentajes de fertilidad) y un bajo rendimiento productivo (4) (15).

La producción eficiente en rumiantes, en esas condiciones, suele estar limitada por el consumo de energía y su utilización, y no por el suministro de proteína,

sobre todo de PDR (Proteína degradable en rumen) y a veces por déficit de PNDR (Proteína no degradable en rumen).

## Relación nitrógeno: suelo-planta-animal

El nitrógeno (N), conjuntamente con el carbono, el hidrógeno y el oxígeno, forman parte esencial de los organismos y de la materia orgánica del suelo. La fuente principal del N es el aire y de allí es tomado por los microorganismos, solos ó asociados con las plantas, para ser transformado de su forma  $N_2$  gaseosa a la forma de ion amonio ( $NH_4^+$ ). El Nitrógeno gaseoso es inerte y solo entra al sistema biológico, cuando es “fijado”, es decir, combinado con otros elementos, en especial carbono, hidrógeno y oxígeno (26).

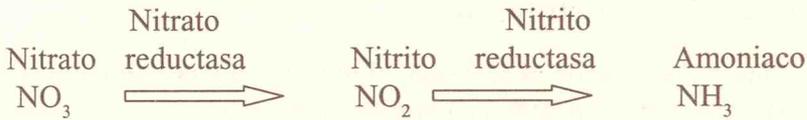
El primer paso de la fijación parte de la ruptura del triple enlace que une los dos átomos del nitrógeno gaseoso, seguido de la compensación de las cargas, por tres hidrógenos en cada átomo, para formar dos moléculas de amoníaco ( $NH_3$ ). Casi todo el amoníaco que llega al suelo, es pasado a ion nitrato por la acción de otras bacterias. Este proceso (llamado nitrificación) se realiza en dos partes: primero, unas bacterias del género Nitrosomas transforman el amoníaco en ion nitrito ( $NH_3 \rightarrow NO_2^-$ ) por nitrosación, y luego las del género Nitrobacter transforman el nitrito en nitrato por nitratación ( $NO_2^- \rightarrow NO_3^-$ ). El nitrato constituye la fuente principal de nitrógeno disponible en el suelo para las plantas superiores (33).

Asumiendo que existe suficiente agua en el suelo, los nitratos son absorbidos por las plantas y reducidos nuevamente a amoníaco, que posteriormente puede ser utilizado en la síntesis de proteína vegetal, que el animal consume con el alimento. Puede presentarse una acumulación de nitratos en la planta, lo cual puede originarse cuando existen altas cantidades en el suelo o se presentan factores que interfieren con el normal crecimiento de las plantas. Se encuentra que bajo condiciones de sequía se presenta una acumulación de nitratos en las plantas, los cuales disminuyen después de fuertes lluvias; otros factores climáticos como heladas, granizadas, días nublados, alteran el normal crecimiento de las plantas y pueden ocasionar acumulación de nitratos.

Para cerrar el ciclo, existe otro proceso llamado desnitrificación, que transforma el nitrato en nitrito y éste en nitrógeno molecular, que vuelve a la atmósfera. Este proceso lo realizan las “bacterias desnitrificantes”, como las del género *Pseudomonas*.

Los nitratos no son siempre tóxicos para los animales, la mayoría de los forrajes, contienen nitratos. Como el rumen es un medio reductor, estos nitratos son

convertidos a amoníaco en el rumen, por los microorganismos, como se muestra en la siguiente reacción :



La toxicidad de los nitritos es una función de la cantidad y la proporción a la cual el nitrato es consumido y, bajo ciertas condiciones, la tasa de conversión de nitritos a amoníaco es limitada y comienza su acumulación. Los nitritos son absorbidos por el rumen, oxidan el hierro de la hemoglobina de los glóbulos rojos y forman metahemoglobina, la cual no es capaz de transportar el oxígeno al tejido animal, y aparecen los síntomas de toxicidad de los nitratos (39). Algunos minerales como molibdeno, cobre, yodo, magnesio y manganeso, están implicados en la conversión de nitrato a amoníaco, y pueden prevenir su acumulación.

La toxicidad de los nitratos puede resultar en serias enfermedades o muerte del animal, debido a la pérdida de oxígeno en los tejidos. Los síntomas pueden ocurrir en una o dos horas después de comer o beber agua con altos contenidos de nitratos. La coloración café o chocolate de la sangre por la presencia de metahemoglobina, es un indicador de una severa toxicidad de los nitratos, la respiración progresivamente se vuelve mas dificultosa y se observa aumento de la frecuencia respiratoria. Otros síntomas incluyen, espuma en la boca, débil ritmo cardíaco, espasmos musculares, incoordinación, convulsiones y diarrea (40).

La disminución en la eficiencia reproductiva, incluyendo abortos y bajos pesos de las crías, pueden ser el resultado de intoxicación, aunque no de una forma muy obvia. Investigaciones en vacas lactantes indican que una ración que contenga 1.600 ppm (partes por millón) de nitratos, del total de la materia seca consumida, puede inducir a las vacas preñadas a tener bajos niveles de progesterona en sangre, la cual es necesaria para el mantenimiento de la preñez (40).

## Nitrógeno y medio ambiente

El actual interés en el medio ambiente proporciona una oportunidad para evaluar los sistemas de alimentación en las ganaderías de leche, donde los principales objetos de interés son el fósforo y el nitrógeno (10). El reto es, entonces, utilizar unas estrategias en la formulación de las dietas que minimicen la excreción de nutrientes al medio ambiente, pero que también llenen los requerimientos para unos altos niveles de producción de leche.

Existen unos elementos críticos que permiten hacer una evaluación del balance de nutrientes, su utilización por parte del animal y su relación con el medio ambiente. Estos elementos son: la excreción de nutrientes por parte del animal, el potencial de remoción por parte de las plantas, las pérdidas de nutrientes de los sistemas de manejo del estiércol, y el manejo de la fertilidad de los suelos para la producción de forrajes.

La excreción de nutrientes puede ser estimada a partir del estudio de los requerimientos de nutrientes y su relación con la nutrición y desempeño del animal. En estos términos, se debe tener en cuenta el contenido de nutrientes de los alimentos, el consumo de alimento (base seca), los requerimientos para diferentes estados de producción (mantenimiento, ganancia de peso -entendida como deposición de proteína en los tejidos- y producción de leche), además de la digestibilidad verdadera y la conversión de proteína a nivel postruminal (43). Con estas consideraciones se puede obtener un estimado de la excreción de nutrientes, particularmente del nitrógeno.

Las vacas de leche excretan N por la leche, la orina y las heces; el N de la leche representa el 30% del total del N consumido, el del estiércol es 30 a 40% y el de la orina 20 al 40%. En la Tabla 1 se presenta la excreción de N y P, para vacas Holstein, observándose claramente que las cantidades de N y P en las dietas, tiene un efecto dramático en la excreción de estos nutrientes.

Se puede entonces considerar la relación que existe entre el contenido de nutrientes en la ración y el consumo de nutrientes para llenar unos requerimientos. Al respecto Chase (10) presenta la relación entre el porcentaje de los requerimientos de proteína (National Research Council NRC, 1989) para vacas en producción, con diferentes niveles de proteína en la ración (ver Figura 1).

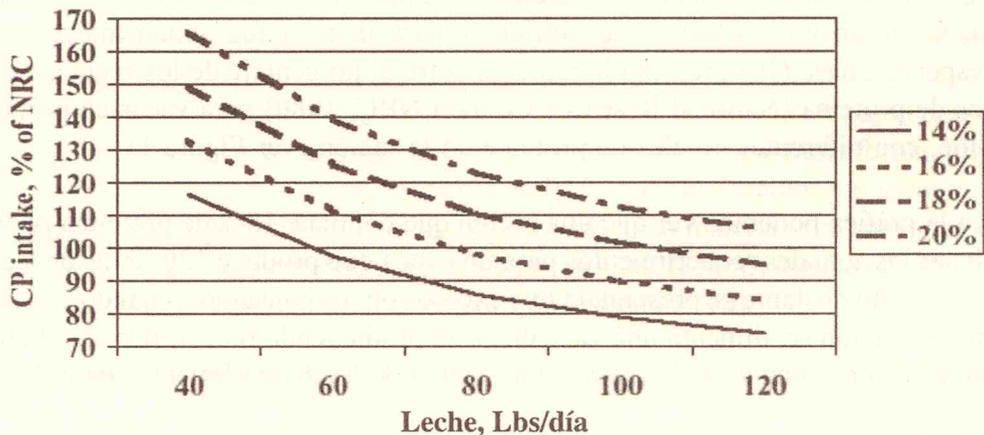
En la gráfica podemos ver que una ración que contiene 18% de proteína, podría llenar los actuales requerimientos para una vaca que produce 120 libras de leche por día; no obstante se presentan unos excesos en los consumos, cuando con esta misma ración se alimenta una vaca que está produciendo 60 Lbs por día; dichos excesos representan un 25 a 30% por encima de los requerimientos de la NRC.

Por último, dentro de las consideraciones acerca del nitrógeno y medio ambiente, no se debe olvidar que este elemento hace parte del sistema:suelo-planta-animal; y que inicialmente esas pérdidas de nitrógeno por parte del animal (heces y orina), llegan a un suelo donde interactúan muchas condiciones que favorecen o no la acumulación de este nutriente. Dichas condiciones obedecen a

**Tabla 1. Excreción diaria y anual, de N, P y K, de vacas Holstein de 700Kg de peso. Grant(14)**

	ASAE	0-30	31-100	101-305	60 Días	Total
	Standar	DMI	DMI	DMI	P. Seco	Anual
Leche Lbs/vaca		100	70	50	seca	21,750
DMI, Lbs/vaca		46.3	39.2	25.2	25.2	14,462
<b>Lbs N excretado/día</b>						Lbs/v/año
Total N(baja degrad.)	.63	.89	.73	.60	.36	223
Total N(Alta degrad)	.63	1.03	.85	.70	.44	260
<b>Lbs P excretado/día</b>						
.40% P en dieta	.132	.123	.115	.107	.101	40
.45% P en dieta	.132	.151	.138	.126	.103	46
.60 % P en dieta	.132	.235	.208	.185	.151	69
<b>Lbs K excretado/día</b>						
.80% K en dieta	.406	.296	.265	.239	.201	88
1.2% K en dieta	.406	.519	.450	.396	.302	146

**FIGURA 1. Consumos de proteína, con cuatro niveles de PC en la ración (Chase,10).**



factores climáticos, tipo de cultivo, aplicación de fertilizantes y de la dinámica del suelo como tal, que implica procesos de volatilización, fijación, nitrificación, pérdidas por erosión y escorrentía, para llegar finalmente a una contaminación de las aguas.

La pregunta que se puede hacer es: ¿Podemos alimentar para una alta producción de leche y una mínima excreción de nutrientes? Lógicamente que sí, pero para esto es necesario implementar una serie de estrategias, cuyos objetivos sean minimizar las pérdidas de nitrógeno y mejorar su uso por parte del animal (7).

## **Metabolismo de los compuestos nitrogenados**

A diferencia de los animales monogástricos, los rumiantes tiene la capacidad de utilizar las diferentes fuentes de nitrógeno para la síntesis de aminoácidos y la formación de proteína microbiana. Esta capacidad se la dan los microorganismos del rumen.

Se puede resumir el metabolismo del nitrógeno en rumiantes como la “capacidad de la población microbiana para utilizar el amoniaco y, en presencia de cantidades adecuadas de energía, sintetizar aminoácidos apropiados que necesitan para cubrir sus necesidades de proteína” (20). Así la fracción degradable de la proteína de los alimentos y de otras fuentes nitrogenadas entran en contacto con las bacterias del rumen, y éstas mediante la utilización de carbohidratos fermentables, proveen energía y ácidos grasos para formar la proteína bacteriana (21).

Las fuentes dietarias de nitrógeno incluyen ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, péptidos, aminos, amidas, nitratos y nitritos, urea y amoniaco. Y las fuentes endógenas incluyen descamación de las células, y la urea que reingresa al rumen a través del epitelio ruminal o en la saliva (16).

Con la excepción de algunas proteínas y el N asociado a la FDA, las fuentes de N son fácilmente solubles y susceptibles a la degradación en el rumen. La evolución de la simbiosis entre los microorganismos ruminales y su hospedero, como también la simbiosis de los propios microorganismos, ha llevado al amoniaco a ser el mayor componente del metabolismo nitrogenado en los rumiantes. Muchas de las bacterias celulolíticas, requieren N en forma de amoniaco, por lo tanto se crea un vínculo entre la transformación de las fuentes de N y la fermentación de la fibra.

La proporción y cantidad de amoniaco producido, reflejan la solubilidad y fermentabilidad de las fuentes de N, tanto de la dieta, como de origen endógeno; además de otros factores. Es así como la concentración de amoniaco puede disminuir con fuentes de N menos degradables, o por la presencia de ionóforos o factores que promuevan el uso de amoniaco, como es la sincronización de la energía fermentable y el nitrógeno (16).

Con relación a la proteína de la dieta, los actuales sistemas de evaluación de alimentos con aporte nitrogenado, hacen la distinción entre proteína que se degrada en el rumen y proteína que se escapa a la degradación ruminal (27). La degradación de la proteína a nivel ruminal depende de la estructura química de la proteína, de la presencia de enlaces azufrados y del tiempo de retención (12). La producción de amoníaco, mediante la desaminación de aminoácidos, es realizada por *Bacteroides ruminicola*, *Megasphaera elsdeni* y *Selenomonas ruminantium*, entre otras (45).

La porción de la proteína que resiste en el rumen (proteína pasante) pasa al tracto postruminal (abomaso e intestino delgado) donde sufre una digestión enzimática, y los aminoácidos liberados son absorbidos (23).

Con respecto a la utilización del nitrógeno no proteico, los microorganismos del rumen incorporan el N a la célula microbiana mediante la entrada de amoníaco a dichas células; éste es captado en forma de aminos como la glutamina y/o asparagina. Luego los grupos aminos son transferidos a otros esqueletos carbonados para la formación de proteína y ácidos nucleicos.

La utilización de amoníaco para el crecimiento de la población microbiana depende de la disponibilidad de energía generada por la fermentación de carbohidratos y la eficiencia en el crecimiento o  $Y_{ATP}$  (entendida, como los gramos de materia seca bacteriana que pueden ser sintetizados por una mol de ATP). Entonces, para que exista una máxima eficiencia en la producción animal, es necesario aumentar la síntesis de proteína microbiana; y así, reducir la necesidad de proteína íntegra de la dieta (30).

Las fuentes de energía para la síntesis de proteína microbiana, en el rumen, están dadas por los carbohidratos de la dieta. En efecto, su utilización es un factor determinante por su solubilidad; así la tasa de crecimiento es lenta cuando se usa celulosa como fuente energética, y es alta cuando la fuente energética son monosacáridos. Otro factor asociado con los carbohidratos, es su estructura química: los carbohidratos estructurales son degradados más lentamente cuando están asociados a la lignina, lo que implica una menor velocidad de crecimiento para los microorganismos y por tanto un aumento relativo de sus necesidades de mantenimiento.

La fuente de proteína aparece como otro factor que afecta la síntesis de proteína microbiana; es así como las bacterias utilizan sustancias que contengan nitrógeno de diferente origen, para la síntesis de proteína microbiana. En la mayoría de

los casos, el amoníaco actúa como la principal fuente de nitrógeno, lo cual está relacionado con las fuentes de carbohidratos que utilizan las bacterias para su crecimiento, presentándose una marcada diferenciación en términos de utilización del nitrógeno(12). Así, las bacterias que fermentan los carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa) utilizan exclusivamente el amoníaco para la síntesis de proteína, mientras que aquellas que degradan los carbohidratos no estructurales, utilizan amoníaco, péptidos o aminoácidos.

También la fuente de nitrógeno como tal, afecta el crecimiento microbial. Fuentes de proteína con alta degradabilidad (caseína, soya) se presentan como sustratos más eficientes para los microorganismos; al contrario fuentes de proteína que resisten la degradación ruminal, disminuyen la relación acetato:propionato y producen una concentración más baja de amoníaco en el rumen.

Por último la síntesis de proteína microbial está afectada por la cantidad de carbohidratos disponibles. Si existe el ATP suficiente, los aminoácidos son tomados por los microorganismos para ser incorporados a la proteína microbial, pero si no existe suficiente ATP, la cadena carbonada de los aminoácidos se utilizan como fuente de energía y el  $\text{NH}_3$  se acumula (12).

El exceso en la producción de  $\text{NH}_3$  en el rumen es particularmente importante, en vista del déficit de energía, lo que da lugar no solo a una deficiencia neta para el animal (menos síntesis de proteína microbiana) sino a un exceso de  $\text{NH}_3$ , que se refleja en un aumento de urea en plasma (44).

Por lo tanto, una deficiencia energética motiva una deficiencia proteica en el animal y un exceso de  $\text{NH}_3$  en el rumen; éste por su carácter tóxico, debe ser eliminado a través del hígado que lo convierte en urea, la cual es excretada por distintas vías, entre ellas la orina, las heces y la leche (17).

## **Carbohidratos y proteína**

Los desbalances en la relación energía:proteína provocan serios efectos en la salud de las vacas, afectando negativamente el desempeño productivo y reproductivo. Problemas como degradación del epitelio ruminal, intoxicación hepática, cetosis, neumonía, mastitis y laminitis, están con frecuencia asociados a este tipo de desbalances.

Cuando en la dieta hay más nitrógeno que energía se produce un desequilibrio tanto en el rumen como a nivel sistémico. La flora microbiana no puede seguir creciendo por falta de energía, por tanto las bacterias deben utilizar las proteína

como fuente de energía y al hacerlo producen amoníaco. Consecuentemente, la producción de proteína microbial en el rumen, depende de la disponibilidad de carbohidratos y nitrógeno. La sincronización de la tasa de fermentación de los carbohidratos y la degradación de la proteína ha sido el foco de atención para los nutricionistas como medida para optimizar el crecimiento microbial.

Estudios *in vitro* han demostrado cambios en la concentración de metabolitos en el rumen y en la composición y la producción de leche, cuando las concentraciones de carbohidratos degradables y de proteína en la dieta eran diferentes.

Una gran cantidad de alimentos fermentables en rumen, pueden causar fluctuaciones en las concentraciones de los metabolitos, a pesar de la sincronización de la materia orgánica y la proteína, como resultado de un bajo pH que reduce la síntesis microbial. Un incremento en la frecuencia de alimentación, puede contrarrestar este efecto y aumentar la utilización de nitrógeno en la dieta.

Al respecto, Shabi *et al* (37) determinaron el efecto de la sincronización ruminal de la materia orgánica degradable (RDOM), PC degradable (RDPC) y la frecuencia de alimentación, sobre la concentración de algunos metabolitos, síntesis microbial y urea en plasma.

Se utilizaron vacas Holstein multíparas, canuladas, a las cuales se les suministraron cuatro dietas diferentes, cada dieta fue suministrada 2 ó 4 veces por día. El maíz chancado fue utilizado para proporcionar una dieta baja en RDOM (LRDOM), granos de maíz expandido, para una dieta alta en RDOM (HRDOM); harina de soya para una dieta alta en RDPC (HRDCP) y harina de soya tratada con lignosulfonato, para una dieta baja en RDPC (LRDCP). Los otros componentes de la dieta, fueron similares, y la duración del experimento fue de 28 días: los primeros 14 días, las vacas fueron alimentadas 4 veces por día (0.600, 12.00, 18.00 y 24.00) y en el segundo período las vacas fueron alimentadas 2 veces por día (0.600, 18.00).

Shabi encontró que la concentración total de ácidos grasos volátiles no fue afectada por las dietas o la frecuencia de alimentación. Sin embargo las concentraciones de propionato fueron más altas en vacas alimentadas con harina de soya, lo cual podría ser el resultado de la solubilidad de la OM (33.5% de la harina, contra 32.4% de la harina tratada), la OM soluble es rápidamente fermentable en el rumen, lo que lleva a un aumento de propionato.

Respecto a las concentraciones de amoníaco, fueron más altas en vacas alimentadas con LRDOM y HRDCP. La concentración de amoníaco también se afectó

por la frecuencia de alimentación, las concentraciones fueron más altas en vacas alimentadas 4 veces al día. Lo anterior implica, que se reducen las fluctuaciones de amoníaco en el rumen y por tanto se da una mayor utilización de éste a nivel ruminal, con menos amoníaco absorbido por la sangre, lo que se refleja en unos niveles menores de urea en plasma (PUN). Se concluye que la concentración del PUN indica que la combinación de una frecuencia de alimentación de cuatro veces al día y una dieta con alta RDOM, mejora la utilización del N y conduce a un mayor flujo de N bacterial al intestino delgado.

## Degradabilidad de la proteína

En general, a todas las proteínas contenidas en los insumos para la alimentación animal se les reconoce un cierto porcentaje de efecto “pasante”. Un menor porcentaje de estas es degradable en el rumen y por lo tanto un mayor porcentaje son aprovechables (digeridas y absorbidas) directamente en el intestino; de allí que su valor nutricional pueda ser mayor que el de proteínas de alta degradabilidad.

Las proteínas altamente degradables en el rumen son descompuestas en  $\text{NH}_3$  (N), sea cual fuere su calidad; el amoníaco es la materia prima para las nuevas proteínas bacterianas de la flora ruminal, las cuales al pasar al intestino constituyen las proteínas de paso “naturales”, con calidad constante y que finalmente son digeridas y absorbidas por el animal (11).

En la actualidad es aún más relevante la necesidad de determinar con mayor precisión los requerimientos proteicos de los rumiantes, para diseñar sistemas de alimentación que maximicen la eficiencia de utilización de la proteína de la dieta. Los modelos propuestos para predecir estos requerimientos y relacionarlos con el contenido nitrogenado de la dieta, tienen en cuenta los requerimientos de nitrógeno degradable de microorganismos del rumen, y las necesidades de aminoácidos del animal (11).

La extensión de la degradación de las fuentes proteicas determina tanto la fracción de nitrógeno disponible para los microorganismos del rumen, como la proteína que puede ser utilizada para la digestión enzimática propia del animal (34). Sin embargo, es necesario considerar que la estimación de la proteína que escapa a la degradación en el retículo-rumen puede ser muy variable, pues está afectada por múltiples factores: diferencias entre las dietas, tiempo de retención en el rumen, y características propias de cada alimento (29).

Para determinar la degradación de las fuentes **proteicas existen dos métodos: uno** basado en la cantidad de proteína dietética que **ingresa al abomaso, con el inconveniente principal de que requiere de análisis complicados para separar la proteína microbiana de la proteína dietética no degradada en el rumen.** El otro método mide la desaparición de la proteína incubada **en el rumen, mediante la suspensión de bolsas de nylon; éste permite medir no solo la degradación, sino también la tasa a la cual la proteína desaparece en el rumen (25).**

De León (11) utilizando la técnica de suspensión *in situ*, **evaluó la degradación ruminal de la materia seca (MS) y del N, en diferentes sustratos. Incluyó harina de pescado, harina de carne, nuez, palma africana, algodón, coco, ajonjolí, maní, soya, girasol, canavalia, tártago y gallinaza; las muestras fueron tamizadas de tal forma que el tamaño de las partículas estuviese entre 2 y 0.1 milímetros. Se utilizaron dos bovinos provistos de fistula ruminal, con un régimen de alimentación basado en pasto elefante cortado verde, y 3 kgs de materia seca de granos fermentados de cervecera. En cada animal se colocaron 48 bolsas y se retiraron una por fuente a las 6,12, 24 y 48 horas; considerándose como tiempo cero el material inicial.**

Las tasas de degradación más bajas fueron **para la MS correspondientes a las harinas de pescado, carne y tártago; para el N las harinas de pescado y carne, la harina de coco y palma africana. Valores intermedios de degradación para la MS, corresponden a las harinas de algodón, palma africana, coco, gallinaza; para el N, además de gallinaza y algodón, el ajonjolí, maní y tártago. La degradación más alta de la MS se presentó en el maní, ajonjolí, canavalia, soya y girasol; y en el caso del N, solamente para las tres últimas fuentes proteicas.**

Es importante señalar que los constituyentes **diferentes de las fuentes de proteína, pueden influenciar, tanto la degradabilidad de la MS como la del N; tal es el caso del nivel de fibra y del contenido de grasa. Para el N existe una correlación entre el incremento del contenido de extracto etéreo y el tiempo medio de degradación del N.**

El efecto del incremento del nivel de **grasa en la dieta del rumiante ha sido relacionado con la disminución de la tasa de fermentación a nivel ruminal, particularmente en la producción de ácido acético y metano; igualmente la disminución de la degradabilidad de las fuentes proteicas con altos niveles de grasa, parecería estar relacionado con un efecto físico que limita la colonización de las partículas del sustrato por los microorganismos.**

Se hace necesario, entonces, analizar la proteína del forraje, por ser éste la base de nuestros sistemas de producción. La calidad de la proteína está dada por su disponibilidad para el crecimiento microbial en el rumen (proteína degradable) y por la disponibilidad de su proteína de paso (proteína que no se degrada en el rumen) (6). Normalmente, la mayoría de nuestros forrajes en trópico alto, tienen proporciones altas de proteína degradable (80% de la proteína) y bajas en proteína pasante (20%); estas proporciones pueden variar dependiendo de la madurez del forraje, de los programas de fertilización y de la permanencia del forraje en el rumen. Puesto que los forrajes, son la base de nuestros sistemas de alimentación, la consideración inevitable que se debe hacer es que la proteína del forraje es una excelente fuente de proteína degradable, y una fuente pobre de proteína no degradable (18). Igualmente es necesario considerar los altos requerimientos de proteína metabolizable de los rumiantes para crecimiento o lactancia, que usualmente no se llenan cuando la inclusión de forrajes en la dieta es alta.

La proteína degradable en rumen (PDR) es necesaria para alimentar las bacterias y asegurar una adecuada proteína microbial; pero la proteína no degradable en rumen (PNDR), también es importante (42). La proteína microbial es de alta calidad, y lo ideal es tener una buena producción en el rumen; la proteína no degradable pasa del rumen, sin sufrir ningún cambio, al intestino delgado para allí ser digerida. Por lo tanto es necesario que exista un complemento entre las dos, especialmente para vacas con altos niveles de producción.

Una relación ideal plantea un balance entre la PDR, PNDR y carbohidratos no estructurales, donde éstos últimos (azúcares y almidones) proporcionen la energía adecuada para los microorganismos del rumen. El NRC (24) predice el modelo de utilización para una vaca, que produzca 77 libras de leche por día (véase Tabla 2).

**Tabla 2. Modelo de utilización de la PDR y NDRP, para una vaca que produce 77 lbs por día (NRC,24).**

	RDP	RUP	
Ración , lbs/vaca/día	4.85	2.86	7.71
Absorbido, lbs/vaca/día	2.20	2.42	4.62
	Microbios	Sobrepaso	
% Absorbido	45	85	60

Excesos de PDR y PNDR resultan en pérdidas de N y excreción al medio ambiente. Únicamente el 45 % de la PDR es absorbida como aminoácidos en la proteína microbiana, el resto es principalmente excretado en la orina. Con relación a la PNDR, el 85% es absorbida, lo cual es un indicador de una eficiente utilización de la proteína.

## Estrategias nutricionales

El principal objetivo en la nutrición del ganado de leche es lograr una producción económica de productos lácteos de alta calidad nutricional para el hombre, con mínimo impacto negativo para la reproducción, para la salud del animal y para el medio ambiente. Para terminar esta revisión se expondrán algunas estrategias nutricionales que, combinadas con un adecuado manejo, propenden por el logro de tales metas.

**Incremento del consumo de materia seca.** El consumo de materia seca determina las concentraciones de nutrientes en la dieta, necesarios para reunir los requerimientos para el mantenimiento y la producción (9).

Muchos factores afectan el consumo voluntario de materia seca y para explicarlo existen varias teorías, desde el llenado físico del retículo-rumen, el consumo de oxígeno, la digestibilidad de los alimentos, el contenido de FDN (por las bajas tasas de digestión, y el efecto de llenado ). Además de otros factores de tipo físico, químicos y metabólicos y los inherentes al animal, como su habilidad para cosechar el alimento (24).

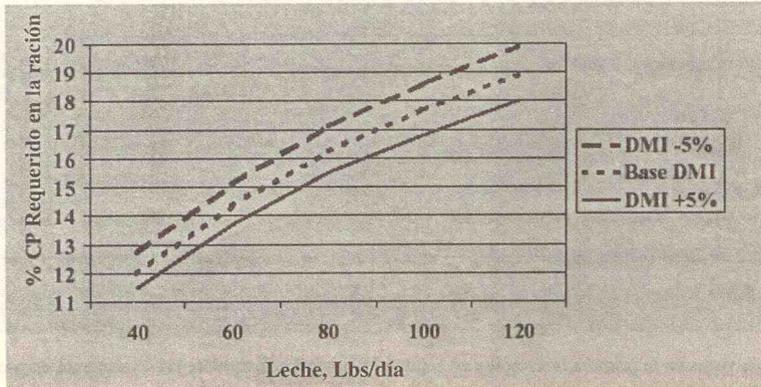
Para nuestros sistemas de producción, incrementar el consumo de materia seca implica un efecto benéfico, especialmente en la dinámica ruminal; ésto conlleva a una mejor utilización del alimento, y una menor excreción de nutrientes al medio ambiente (31).

Para el caso concreto de la utilización de las fuentes proteicas, se encuentra que el porcentaje de proteína requerido en una ración, para soportar un nivel específico de producción, varía con el consumo de materia seca. Al respecto, Satter (36) presenta el porcentaje de proteína requerido para 5 niveles de producción y 3 niveles de consumo de materia seca (ver Figura 2).

Se presenta una variación entre 1.3 a 2.1% de la proteína requerida, dependiendo del nivel de consumo de materia seca. Así, al incrementar el consumo de materia seca en un 5%, el porcentaje de proteína requerida en la ración es menor

en un 1% para obtener el mismo nivel de producción; lo que representa una disminución en las pérdidas de N y una mejor utilización de las fuentes proteicas.

**Figura 2. Porcentaje de CP requerido en la ración para 3 niveles de DMI<sup>1</sup> (Satter, 36).**



<sup>1</sup> La figura está basada en los requerimientos del NRC 1989

Como se dijo al principio, el consumo de materia seca está determinado por una serie de factores que interactúan dentro de un sistema de producción. Por lo tanto, esos factores se convierten en objetivos principales de las estrategias para lograr el aumento en dicho consumo.

Dentro de las estrategias a utilizar está el manejo adecuado de grupos de animales (vacas adultas de segunda lactancia o más y vacas de primera lactancia). Es muy frecuente ver que las novillas de primer parto pastorean en lotes con vacas adultas, y por este manejo las novillas se ven relegadas a las partes de menor calidad del potrero, imponiéndose el tamaño y la jerarquía de las vacas adultas.

El NRC (24, 19) tiene en cuenta para la determinación de la ecuación de predicción de MSI, las diferencias que se presentan en el consumo entre las vacas de primer parto y las de segundo en adelante (ver figura 3). Las vacas en primera lactación muestran un lento y sostenido aumento en la MSI durante la primera fase de la lactancia, alcanzando una meseta a las 16 semanas y permaneciendo constante durante el resto de la producción. En contraste, vacas de mayor edad incrementan rápidamente el MSI durante la primera semana de lactación, alcanzando un pico a las 5-6 semanas; a partir de ahí, se da un lento descenso a medida que la lactación progresa. Por lo anterior, es clara la importancia del agrupamiento y de la alimentación separada de vacas en primera lactación.

Figura 3. CMS de vacas en la primera lactación o en segunda y posteriores durante las 48 semanas de producción (NRC, 24).

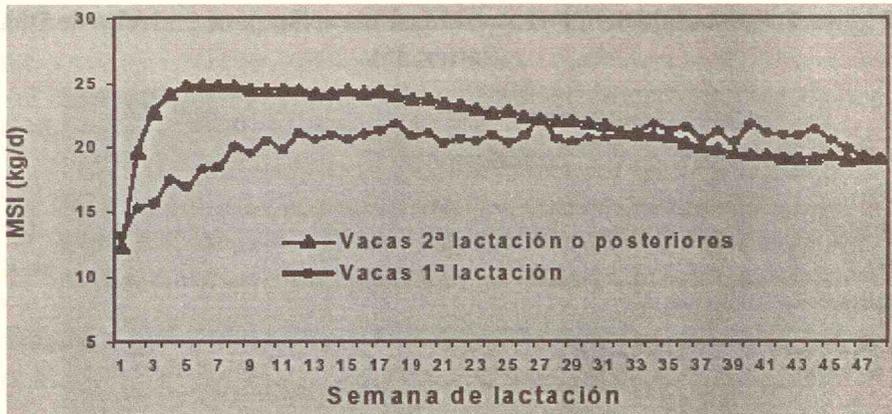


Figura 3. CMS de vacas en la primera lactación o en segunda y posteriores durante las 48 semanas de producción (NRC, 24).

**Manejo y calidad del forraje.** Los sistemas de producción de trópico alto se caracterizan por ser en general, en unidades de explotación muy pequeñas (28) lo que conlleva a que el ganadero se vea en la obligación de tener una mayor productividad por hectárea, y para esto recurre a una serie de prácticas que pueden afectar la producción y la salud del animal, además de afectar considerablemente los costos de producción. La principal práctica, que tal vez resume los problemas que se presentan en el trópico alto, es la excesiva fertilización nitrogenada; de ésta se deriva una serie de consecuencias que afectan negativamente el animal: pastoreo a edades más tempranas, lo que ocasiona un aumento en el contenido de nitrógeno soluble (5), un promedio en carbohidratos no estructurales muy pobre (6.6%), altos contenidos de potasio y menores niveles de calcio y magnesio (27), bajos niveles de fibra efectiva, y un mayor porcentaje de humedad que afecta negativamente el consumo (una disminución en el MSI de 0.02% del peso corporal por cada 1% de aumento en el porcentaje de humedad) (24).

Debe quedar claro, entonces, que la calidad del forraje es la que define los parámetros digestivos de la dieta y el rendimiento del animal; y este debe ser el punto de partida para la presentación de propuestas nutricionales, combinado con una suplementación que tenga como función la de balancear la dieta.

Osorio (28) propone “que se debe llevar a cabo un programa de fertilización que racionalice la aplicación de nutrientes, especialmente el nitrógeno, para ofrecer

un pasto denso y más equilibrado en sus fracciones, que permita una óptima cosecha por parte del animal”. Al respecto presenta planes de manejo de fertilización nitrogenada (35 a 45 Kg de N por pastoreo, con una rotación entre 40 y 45 días) con un notable incremento en el contenido de materia seca, y una disminución del nivel de proteína cruda.

Otra propuesta que se debe considerar es la diversidad en la producción de forrajes. Sierra (38) en la revisión que hace del modelo de producción actual, propone la producción intensiva de una cadena de recursos forrajeros de alta calidad nutritiva, o sea la inclusión al nivel de finca de cultivos forrajeros de alto rendimiento como maíz, avena forrajera y leguminosas arbóreas como acacia negra.

Con lo anterior, el animal tiene la posibilidad de balancear mejor su dieta, de una manera más limpia y sostenible con el suelo y el medio ambiente. Al manejar el concepto de diversidad, se logra tener mayores rendimientos de materia seca por hectárea (menos fertilización), mayor cantidad de proteína verdadera y menor cantidad de nitrógeno soluble (nitratos), mayor cantidad de carbohidratos solubles, mejor salud de los animales y por lo tanto una mejor calidad de la leche (32).

Es, necesario por lo tanto, establecer un monitoreo en la calidad y manejo de los pastos con el concepto claro de que el desempeño del animal es el mejor evaluador de la calidad del forraje.

**Sincronización energía:proteína.** La síntesis de la proteína microbial está en función, no solo de la cantidad de proteína y carbohidratos que se degraden en rumen, sino de la sincronía que exista tanto en la cantidad, como en la velocidad de degradación y en el momento en que se suministren al animal (22); de tal modo que la sincronía de estos tres niveles permita una alta eficiencia en el uso, tanto de los carbohidratos como de la proteína que se degrada en el rumen.

La suplementación energética de dietas basadas en forrajes frescos ha resultado en un incremento del flujo de N al intestino, una reducción de las concentraciones de  $\text{NH}_3$  a nivel ruminal y un mejoramiento en el desempeño del animal (2). Sin embargo, es necesario considerar que la suplementación energética, puede llevar a excesos tanto en cantidad como en calidad (tipos de carbohidratos inapropiados que tienen un efecto negativo en la fermentación ruminal).

Combinada con la suplementación energética, se encuentra la frecuencia de alimentación como factor que ayuda a la sincronización en la liberación de proteína degradable y carbohidratos en rumen, permitiendo incrementar la eficiencia

en el uso del N por parte de la vaca y una disminución en su excreción. El aumento en la frecuencia de alimentación beneficia tanto la digestión ruminal y el metabolismo tisular, como la producción de leche. Una oferta constante de forraje, asociada a carbohidratos solubles, facilitará la actividad microbiana involucrada en la degradación de la fibra. También reducirá las fluctuaciones de metabolitos, lo que resultará en una oferta más consistente de ácidos grasos volátiles y de aminoácidos al flujo sanguíneo y a la glándula mamaria.

Si consideramos las condiciones en las que se desarrolla la producción de leche en nuestro país, con forrajes cuyos contenidos de proteína son altos y de una rápida degradabilidad, resulta atractivo acompañar el pastoreo con fuentes de carbohidratos fermentables, de distinta degradabilidad, que aseguren un suministro de energía a nivel de rumen y al mismo tiempo ofrezcan una cierta cantidad de energía para ser aprovechada en el intestino.

Bach, *et al.* (2) evaluaron el efecto en la fermentación microbial, con la suplementación de diferentes tipos de carbohidratos en vacas alimentadas con forrajes frescos. Para esto se utilizaron cultivos de líquido ruminal proveniente de vacas canuladas, las cuales estaban consumiendo una dieta de alfalfa y pasto fresco (50: 50), los cultivos fueron alimentados con suplementos energéticos dos veces al día, con intervalos de 12 horas. Los tratamientos fueron: mezcla de gramínea y leguminosa sola, pasto más semilla de soya, pasto más pulpa de remolacha con melaza y pasto más maíz partido.

Al determinar el porcentaje de digestión de la materia orgánica (MO) se encontró que fue más alta en las dietas suplementadas energéticamente, comparada con la dieta de pasto solo. La digestión de la fibra en detergente neutro (FDN) fue más alta, con la dieta suplementada con semilla de soya, lo que se debe posiblemente a que la semilla contiene altas cantidades de celulosa (40 – 50%), pero es baja en lignina; la digestibilidad de la FDN de la dieta pasto más maíz fue más baja que la del pasto solo; éste se atribuye a la competencia que se presenta entre la degradación del almidón y la degradación de la celulosa por las bacterias, lo que origina una baja utilización de la celulosa.

La concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) fue más alta con las dietas suplementadas con semilla de soya y maíz, la proporción molar de acetato fue más alta para la pastura sola, y más alta la fracción molar de propionato para la dieta con maíz. Con relación a la degradación de la proteína cruda (PC), no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las dietas, pero las concentraciones de N amoniacal fueron menores con las dietas suplementadas,

presentando una mejor utilización del N por las bacterias; así, fue más eficiente una suplementación con pulpa de remolacha y maíz, seguido de la semilla de soya, la cual tiene un patrón de fermentación intermedio.

En nuestro medio también se ha trabajado con fuentes alternativas, aprovechando los recursos propios de la región. Montoya y Pino (22) evaluaron el efecto de la suplementación con tres niveles de papa en vacas Holstein en pastoreo de kikuyo, en el municipio de San Pedro. Las variables fueron los kilogramos de leche producida, proteína en leche, grasa, urea en sangre (BUN) y urea en leche (MUN), glucosa y colesterol. Los tratamientos consistieron en la suplementación con 0, 6 y 12 Kg de papa fresca durante el pastoreo. Ellos encontraron efectos significativos sobre la producción de leche, la concentración de N ureico en leche y la producción de PC y proteína verdadera; estos efectos solo se vieron cuando el suministro de papa fue de 6 Kg.

La respuesta al suministro de 6 Kg de papa, se debe posiblemente, a una sincronización entre el suministro de PDR a partir del forraje y carbohidratos no estructurales (CNS) a partir de la papa, durante el pastoreo, lo que permitió mejorar el uso de la proteína del forraje, con el consecuente incremento en la producción y en proteína en leche.

**Otras estrategias.** Por último, podrían considerarse otro tipo de estrategias que en el momento están siendo desarrolladas y que prometen resultados bien interesantes en nuestro sistema. La utilización simultánea de ensilajes y pasturas abre un nuevo espectro de posibilidades y desafíos en los sistemas de producción. El ensilaje es una práctica que tiene como objeto preservar, en lo posible, la mayoría de los nutrientes originales de las fuentes alimenticias, lo que se basa en un proceso de fermentación anaeróbica, en la que el material ensilado experimenta cambios bioquímicos que lo mantienen estable (39).

Las propuestas de ensilaje se basan en los mayores consumos que se logran, como también en la mayor disponibilidad de aminoácidos, almidón y AGV para mantenimiento y producción de leche. Corpoica en convenio con Fedepapa, propone el ensilaje con papa de desecho, para ofrecerlo como un alimento suplementario en la dieta del ganado (39). Para esto, se utilizan productos ricos en fibra, como pasto kikuyo, cañas o tusas de maíz seco, afrechos o salvados de trigo, además de tubérculos de papas, cortadas y deshidratadas, a las cuales se les incorpora una fuente de energía como melaza disuelta en agua o azúcar morena, para darle a los microorganismos la posibilidad de acelerar los procesos de fermentación y mejorar el contenido energético y la palatabilidad.

Igualmente, el silo de maíz, es otra alternativa que se ha venido implementando; la principal característica es el balance positivo a favor de los carbohidratos fácilmente fermentables. El almidón es probadamente un mejor recurso energético para las bacterias del rumen, ya que es fermentado más lentamente que los azúcares solubles, lo que hace más indicado para el crecimiento bacteriano (13).

Para terminar, consideremos el sistema de pastoreo inteligente que busca, ante todo, optimizar el consumo de materia seca. De esto se deriva una serie de beneficios ya expuestos en esta revisión y que merecen ser tenidos en consideración. El modelo combina aspectos tan importantes como aforo de potreros, estimado de capacidad de carga real, corte y premarchitado de forrajes de buena calidad, para finalmente ofrecer al animal de una forma constante, toda la cantidad de materia seca que él necesita.

El modelo ofrece muchas ventajas como un mayor consumo de materia seca, aumento del rebrote del pasto, aumento en capacidad de carga, mayor producción de litros/ha/año y una mejor relación hojas:tallos.

### **Consideraciones finales**

El aumento en la eficiencia productiva de las lecherías especializadas es fundamental para su sustentabilidad económica; particularmente, cuando el sector agropecuario está pasando por una aguda crisis. Por tal razón, el entendimiento de las condiciones y mecanismos del metabolismo nitrogenado aumentan la habilidad para manipular los alimentos utilizados en la nutrición animal, además de un mejor manejo de nuestros hatos, para una mayor eficiencia en la producción.

El resultado final del metabolismo proteico debe ser la optimización en la eficiencia con que se utiliza la proteína cruda, mediante la selección de fuentes tanto de proteína de los alimentos como NNP, que proporcionen el tipo y cantidades de RDP para llenar, mas no exceder las necesidades de los microorganismos para una máxima síntesis de proteína microbiana; y el tipo y cantidades adecuadas de RUP para optimizar el perfil y cantidad de aminoácidos absorbidos a nivel de intestino.

La proteína que es degradada por los microorganismos del rumen produce la liberación de amoníaco que, en presencia de cantidades adecuadas de energía, es tomado por las bacterias para transformarlo en proteína microbiana; y ésta dependiendo del nivel de producción, cubrirá, en un alto porcentaje, los requerimientos proteicos diarios de la vaca.

Pero cuando se presentan excesos de proteína degradable o un déficit de energía ruminal (situación muy común en nuestras ganaderías por los sistemas de producción intensivos con monocultivos de pastos cuya principal característica son los altos contenidos de proteína degradable, y bajos contenidos de CNE) se presenta una acumulación de  $\text{NH}_3$ , que por su carácter tóxico debe ser transformado por el hígado en urea, para finalmente ser eliminado a través de orina, heces y leche. Todo lo anterior implica un alto costo energético que va en detrimento de la eficiencia productiva del animal, además de afectar negativamente la reproducción y aumentar los niveles de excreción a los suelos, causando un alto grado de contaminación.

Todo lo anterior apunta a un manejo adecuado de la relación Energía/Proteína, con el fin de obtener una mayor síntesis de proteína microbiana, que se traduzca en salud y producción, además de una mejor relación con el medio ambiente.

## Referencias

- 1-Agudelo A. Utilice el pastoreo inteligente. En : El Colombiano, Medellín. 24 de marzo, 2002. p.7b
- 2-Bach A, Ion IK. Effects of type of carbohydrate supplementation to lush pasture microbial fermentation in continuous culture. En : Journal Animal Science. 1999; 82:153-160.
- 3-Butler WR, and Eirod CC. Nutrition and reproduction relationships in dairy cattle. En : Proc. Cornell nutr. Pp 73
- 4-Cadena C, Gómez A. Efectos de la fertilización orgánica de suelos sobre la salud general y reproductiva en un hato en el norte de Antioquia. Tesis, Universidad de Antioquia, Medellín. 1989
- 5-Carulla J. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la proteína del forraje. En : II Seminario Internacional sobre calidad de leche. Medellín, 1999 .
- 6-Carulla J. Evaluación de la calidad nutricional de los forrajes. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2001.
- 7-Chalupa W, Ferguson JD. Feeding high producing cow. En: Animal Science. 1990. p.48
- 8-Chalupa, Ferguson JD. Animal nutrition and management in the 21st century : dairy cattle. En : animal Feed Science Technology. 1996; 58 (1-18).
- 9-Chase LE. Phosphorus in dairy cattle nutrition. Cornell nutrition. Conferencia, Rochester, 1998.
- 10-Chase LE. Animal management strategies.-How will they change whit environmental regulations. Seminario Cornell University.2000
- 11-De León S. Degradación ruminal in situ de diferentes fuentes de proteína. En: Zootecnia Tropical. 1991; Vol 9 (1): 3-24.
- 12-Febel H, Fekete S. Factors influencing microbial growth and the efficiency of microbial protein synthesis. En: Acta Veterinaria Hungarica. 44 (1 ). 1996. pp.39-56
- 13-Gallardo M. Los silages como principal fuente de alimentación en el invierno. En : Infortambo. Junio 2000; Nro 137. pp108
- 14-Grant R. Feeding Dairy Cow to reduce Nitrogen, Phosphorus, and Potassium excretion into the environment. En: NebGuide, Extension Dairy Specialist. 2000.
- 15-Harris B. Protein Intake and Dairy cow Fertility. En : Dairy Production Guide. University of Florida. 1992
- 16-Huntington GB, Archibeque S.L. Practical Aspects of urea and ammonia metabolism in ruminants. American Society of Animal Science. 1999.
- 17-Jonker JS.; R A K, RA E. Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cow. En : Journal Dairy Science. 1998;79 : 2071.
- 18-Klopfenstein T J. Estimating forage protein degradation in the rumen. En: Journal Animal Science.2001; 79 (E. Suppl) : 208-217.
- 19-Linn J. Necesidades nutritivas del ganado vacuno lechero : Resumen de las normas del NRC (2001). XVII Curso de Especialización. Universidad de Minnesota. 2002
- 20-Maynard L. Nutrición Animal. Editorial McGraww-Hill. Séptima Edición. 1986. 640p.

- 21-Moncada E, Tabora N. La urea de la leche como expresión de la proteína verdadera. En : II Seminario Internacional sobre calidad de leche. Medellín, 1999.
- 22-Montoya N, Pino I. Efecto de la suplementación con diferentes niveles de papa sobre algunos parámetros productivos y metabólicos en vacas lactantes. Tesis. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 2001. 65p
- 23-Miller W. Nutrición del ganado lechero. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. 1989. 459p
- 24-NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of Dairy Cattle. Seventh Revised Edition. 2001. Washington, D.C.
- 25-Orskov O. Protein nutrition in ruminants. Academic press inc. London. 1982
- 26-Orozco F. Biología del Nitrógeno. Universidad Nacional de Colombia. 1999. 231p.
- 27-Osorio F. Efecto de la dieta sobre la composición de la leche. En : Primer Seminario Internacional sobre avances en nutrición y alimentación animal. Memorias. Medellín. 1999.
- 28-Osorio F. Régimen alimenticio de la vaca en producción y su impacto sobre la productividad. En : Finca Ganadera. 2002; Vol 2 (Nro 5). Pp 8-15.
- 29-Osorio F. La proteína en la alimentación del ganado de leche. FINCA. Medellín. 1993.
- 30-Owens F, Zinn R. Metabolismo de la proteína en los rumiantes. En: El Rumiante : Fisiología Digestiva y Nutrición . Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. 1993 .
- 31-Pell A. Rate and Extents of soluble carbohydrate digestion. En : Advanced Dairy Nutrition 2000. Seminary Cornell University.
- 32-Pérez A. Evaluación agronómica de la asociación Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov ) y trébol blanco (*Trifolium repens* L ) bajo pastoreo en el municipio de San Pedro de los Milagros (Antioquia). Tesis. Universidad de Antioquia. Medellín. 2000. 140p
- 33-Pérez S, Torralba A. La fijación del nitrógeno por los seres vivos. En : Seminario Fisiología Vegetal. 1997
- 34-Preston T, Leng R. Ajustando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles: Aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición del rumiante en el trópico. CONDRIT LTDA. Cali. 1989
- 35-Salamanca A, Petri H. 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. Tesis. Universidad Nacional de Colombia. 1998. 136p
- 36-Satter L D, Z W. New strategies in ruminant nutrition : Getting ready for nex millennium. Conf. Phoenix. 1999
- 37-Shabi A, Bruckental I. Effect of the Synchronization of the degradation of Dietary Crude Protein and Organic Matter and feeding frequency on ruminal fermentation and flow of digesta in the abomasums of dairy cows. En : Journal Dairy Science. 1998; 81: 1991-2000.
- 38-Sierra O. La competitividad en Ganado de leche hace revisar el modelo de producción actual. En: Cadena Láctea. Abril. 2002
- 39-SINAIPA. El correo de la papa. En : Boletín mensual. No 8, Abril 2002
- 40-Smith J W, Guthrie L D. Nitrate toxicity and Prussic Acid Poisoning in Dairy Cattle. En : Extension Dairy Scientist. 1999
- 41-Sinklair K D, Kuran M. Nitrogen metabolism an fertility in cattle. En: Journal of Animal Science. 2000; 78 (10 ) : 2677
- 42-Stallins Ch C. Rumen degradable protein. En: Dairy Scientis Nutrition. Virginia Cooperative Extension. January 2002
- 43-Van H, Newton G L, Kunkle W E. Ruminant Nutrition from an environmental Perspective. Factors Affecting whole-farm nutrition balance. En : Journal Animal Science. 1996; 74 (3082-3102 ).
- 44-Van Soest P. Nutritional ecology of the rumen. Cornell University. Segunda edición . 1994
- 45-Yocoyama J. Microorganismos del rumen. En : El rumiante, fisiología digestiva y nutrición. ED. Acribia. Zaragza. 1993