

# Fuentes de variación en la composición de la leche y niveles de urea en sangre y leche de vacas en sistemas de doble propósito en el trópico bajo de Colombia

H. D. Hess\*, H. Florez\*\*, C. E. Lascano\*\*\*, L. A. Baquero†, A. Becerra† y J. Ramos†

## Introducción

La producción de carne y leche en sistemas de producción de doble propósito es de gran importancia socioeconómica en América Latina tropical (Rivas, 1992). No obstante, los índices de producción y productividad de este sistema son generalmente bajos, aunque factibles de mejorar mediante la suplementación estratégica. Para el éxito en los programas de suplementación es necesario conocer la cantidad y la calidad del forraje básico consumido por los animales, los requerimientos de éstos y la calidad del suplemento. La evaluación de estas variables a nivel de finca es difícil y muchas veces poco confiable. Como alternativa para evaluar el estado de nutrición de los animales se han propuesto varios parámetros sanguíneos, lo cuales sirven, a su vez, para ajustar el nivel y el tipo de suplementación (Payne et al., 1970; Lee et al., 1978; Kronfeld et al., 1982; Hammond, 1998). Uno de los indicadores más promisorios es el nivel de nitrógeno ureico en la sangre (BUN) y en la leche (MUN). Se ha demostrado que el nivel de estos indicadores refleja el balance de proteína degradable y energía fermentable en el rumen (Hammond, 1998). Esto es de gran importancia porque: (1) los excesos en el consumo de nitrógeno pueden afectar el desempeño reproductivo de la hembra bovina (Ferguson et al.,

1993; Butler et al., 1996; Larson et al., 1997), probablemente a través de cambios en el pH uterino (Elrod y Butler, 1993; Elrod et al., 1993), alteraciones de los tejidos del útero y efectos tóxicos en el embrión (Carroll et al., 1988); (2) la conversión de nitrógeno sobrante en urea que debe ser eliminado a través de la orina o la leche, representa un costo metabólico para el organismo e incrementa los requerimientos de energía (Greaney et al., 1996); (3) la proteína generalmente es el componente nutritivo más costoso y, por lo tanto, su utilización debe ser óptima; y (4) las deficiencias de nitrógeno degradable en el rumen reducen la digestibilidad y el aprovechamiento del forraje (Leng, 1990). Por lo anterior, es probable que el uso del BUN o MUN como herramienta para ajustar el suministro de energía y proteína puede ayudar a reducir los costos de alimentación y mejorar los índices de producción y reproducción. Hammond et al. (1993) mostraron claramente que la respuesta en ganancia de peso de bovinos en pastoreo a una suplementación proteica, se reduce a medida que se incrementa el nivel de BUN. En vacas en sistemas de doble propósito se encontró una relación similar entre la respuesta en producción de leche a la introducción de leguminosas en la pastura y el nivel de MUN (Lascano, 1996). Cuando el nivel de MUN fue inferior o similar a 9 mg/100 ml, la producción de leche mejoró con la presencia de leguminosas, pero cuando el nivel de MUN fue superior a este valor, no se observó un mejoramiento significativo en la producción de leche.

Para ajustar y poner en práctica el uso de BUN y de MUN como herramienta para guiar la suplementación de vacas en sistemas de doble propósito en pasturas tropicales, es indispensable conocer las fuentes de variación bajo condiciones de fincas comerciales. El presente trabajo tuvo como objetivo principal cuantificar el efecto de diferentes factores de los alimentos y del animal sobre los niveles de BUN y MUN, y la composición de la leche en fincas de productores.

\* Ing. Agrónomo, Dr. sc. nat., Asesor Técnico-Científico de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), A.A. 240142 Las Palmas, Santafé de Bogotá, Colombia.

\*\* Médico Veterinario Zootecnista, MSc., Programa Nacional de Ecofisiología Animal, CORPOICA, A.A. 3129, Villavicencio, Colombia.

\*\*\* Coordinador del Proyecto Gramíneas y Leguminosas Tropicales, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), A.A. 6713, Cali, Colombia.

† Investigadores Grupo Pecuario, Corpoica Regional 3, Creced Norte del Cesar, Valledupar, Colombia.

## Materiales y métodos

### Localización y selección de fincas

Durante 1997 y 1998 se realizaron dos períodos de muestreos en nueve fincas comerciales, localizadas en el valle del Cesar en el norte de Colombia, entre las coordenadas 9° 31' hasta los 10° 58' de latitud norte y desde los 72° 48' hasta 74° 05' de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Esta región corresponde a un ecosistema semiárido con una precipitación anual promedio entre 700 y 1400 mm, distribuida en dos épocas lluviosas, de abril a mayo y de agosto a octubre. La evapotranspiración, promedio anual, es de 2000 mm y se presenta un déficit hídrico durante 10 meses del año. La temperatura promedio es de 27 a 30 °C. La altura sobre el nivel del mar oscila entre 110 y 180 m.

Se seleccionaron fincas con diferentes niveles tecnológicos con el fin de obtener resultados representativos para un amplio rango de sistemas de producción que variaron desde extensivo mejorado hasta intensivo. Se espera, de esta manera, obtener resultados extrapolables a otras regiones de Colombia

del trópico en general. Las características importantes para la determinación del nivel tecnológico fueron la alimentación (tipo y calidad de pastura, tipo de suplementación) y el nivel promedio de producción de leche. En el Cuadro 1 se presenta un resumen de los parámetros tecnológicos y de producción de las fincas seleccionadas.

### Mediciones en los animales

En cada finca se escogieron 12 vacas en buen estado de salud que se sometieron a prueba de mastitis y control de ecto y endoparásitos. Dentro de ellas se incluyeron vacas en diferentes fases de lactancia entre 0 y 90 días, 91 y 180 días, y más de 180 días.

**Producción y composición de la leche.** La producción diaria de leche se midió el mismo día de la toma de muestras. En las fincas con doble ordeño se realizaron dos muestreos, uno por la mañana y otro por la tarde. Con el fin de determinar la composición de la leche de cada vaca, se tomaron aproximadamente 250 ml de leche de todos los cuartos. De esta cantidad, se utilizaron 50 ml para medir los contenidos de grasa,

Cuadro 1. Parámetros tecnológicos y de producción de las fincas experimentales.

Finca (no.)	Tipo de pastura	Tipo de suplemento	Vacas en ordeño (no.)	Producción por vaca (kg/día)	Ordeños por día (no.)	Peso corporal vaca (kg)	Grupo racial
1	Gramínea + leguminosa	Salvado de trigo, semilla de algodón y concentrado comercial	44	5.8	2 (1) <sup>a</sup>	394 ± 44	Holstein x Cebú Pardo Suizo x Cebú
2	Gramínea <sup>b</sup>	Concentrado comercial en época de sequía	425	3.6	1	392 ± 68	Pardo Suizo x Cebú
3	Gramínea + leguminosa	—	110	4.3	1	406 ± 71	Pardo Suizo x Criollo Pardo Suizo x Cebú Ramosinuano x Cebú Ramosinuano x Criollo
4	Gramínea + leguminosa	Semilla de algodón en época de sequía	201	3.7	1	342 ± 53	Cebú x Criollo Pardo Suizo x Cebú
5	Gramínea <sup>b</sup>	—	72	3.0	1	366 ± 30	Holstein x Cebú Pardo Suizo x Cebú
6	Gramínea + leguminosa <sup>c</sup>	Salvado de trigo, salvado de maíz y concentrado comercial	89	5.0	1	461 ± 38	Cebú x Criollo Holstein x Cebú Pardo Suizo x Cebú Pardo Suizo x Criollo
7	Gramínea <sup>c</sup>	Salvado de arroz, semilla de algodón y concentrado comercial	80	4.5	2 (1) <sup>a</sup>	353 ± 43	Pardo Suizo x Cebú
8	Gramínea + leguminosa	—	59	6.0	1	380 ± 46	Pardo Suizo x Cebú
9	Gramínea	Salvado de trigo, torta de palmiste y concentrado comercial	36	8.5	2	409 ± 37	Holstein x Cebú

- a. Dos ordeños en época de lluvias y un ordeño en época de sequía.  
 b. Pastoreo en época de lluvias y heno de gramínea en época de sequía.  
 c. Pastoreo en época de lluvias y pastoreo más heno en época de sequía.

proteína, lactosa y sólidos totales. Estos análisis se realizaron utilizando un autoanalizador (Milko-Scan 133, FOSS ELECTRIC, Dinamarca) en el Laboratorio de Calidad de Leche de la empresa Cicolac en Valledupar (Colombia).

El contenido de MUN se determinó en el suero lácteo. Para la obtención de este suero se adicionaron 0.5 ml de una solución de cuajo comercial (10 ml de cuajo líquido en 90 ml de agua destilada) a 200 ml de leche y se incubaron en un baño con agua a 38 °C por varias horas. Posteriormente, se extrajo el suero con pipetas Pasteur estériles, se pasó a tubos de ensayo y se centrifugó por 15 min a 6000 r.p.m. A continuación se extrajo el suero puro de los tubos y se almacenó en viales de 1.5 ml bajo congelamiento a -20 °C, hasta el momento del análisis. El contenido de MUN se determinó utilizando un 'kit' comercial de urea de marca Sera-Pak® (Bayer, Alemania). El principio de este kit se basa en la división enzimática de la urea en NH<sub>3</sub> y CO<sub>2</sub> y la posterior determinación colorimétrica del NH<sub>3</sub> en un espectrofotómetro (Bayer Co.).

**Parámetros sanguíneos.** En cada una de las vacas seleccionadas se tomó una muestra de sangre de la vena coccígea utilizando agujas desechables y tubos con anticoagulante (K-EDTA). El contenido de hematocritos (Hto) se determinó mediante centrifugación en tubos capilares con heparina por 5 min a 10000 r.p.m. Para el análisis del contenido de BUN, las muestras se centrifugaron por 15 min a 3500 r.p.m. para separar el plasma sanguíneo. Posteriormente, el plasma puro se almacenó en viales de 1.5 ml bajo congelamiento a -20 °C, hasta su procesamiento. El contenido de BUN se determinó utilizando el kit anteriormente mencionado.

**Peso y condición corporal de las vacas y peso del ternero.** El peso de las vacas y los terneros se determinó después del ordeño utilizando una báscula electrónica portátil. Para determinar la condición corporal se utilizó una guía para vacas en sistemas de doble propósito, con puntajes de 1 a 6, donde 1 corresponde a una condición muy pobre, 4 a una buena y 6 a una obesa (Hess et al., 1999).

## Mediciones en pasturas, forrajes y suplementos

**Disponibilidad y composición botánica de la pastura.** El mismo día de la toma de muestras de sangre y leche, se determinaron la disponibilidad de forraje y la composición botánica en las pasturas ocupadas por las vacas en ordeño. Para el efecto, se tomaron en cada pastura 30 muestras con un marco de 0.25 m<sup>2</sup>, distribuido homogéneamente en todo el

potrero. El forraje dentro de cada marco se cosechó a 2 cm sobre el suelo y se separó en las diferentes especies. De cada especie se tomaron dos submuestras de 300 g de forraje verde y se secaron en horno a 60 °C, para estimar la cantidad y la proporción de cada una de ellas, con base en materia seca (MS).

**Calidad de los forrajes.** De las tres especies forrajeras predominantes en cada pastura se tomaron muestras en forma manual, simulando el pastoreo del animal. Dos submuestras de 300 g de cada especie se secaron en horno a 60 °C y, posteriormente, se pasaron por un molino de laboratorio con una malla de 1 mm. A estas muestras se les determinó el contenido de proteína cruda (PC) mediante el método de micro-Kjeldahl (AOAC, 1980), el contenido de proteína soluble en buffer (PS) (Licitra et al., 1996), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA) y lignina (LDA) (Van Soest et al., 1991). El contenido de materia orgánica (MO) se determinó por incineración a 600 °C y el contenido de grasa (EE) por extracción con éter. El contenido de carbohidratos no estructurales (CHNS) se calculó de la manera siguiente:

$$\text{CHNS}(\%) = \text{MO}(\%) - \text{PC}(\%) - \text{EE}(\%) - \text{FDN}(\%)$$

Adicionalmente se determinó la digestibilidad in sacco de la MS a 48 h. Para este fin, se utilizaron bolsas de nilón con poro de 50 mm y un área efectiva de 0.1 cm<sup>2</sup>/mg de MS.

## Cantidad y calidad de los suplementos

**suministrados.** En las fincas donde se suministró algún tipo de suplemento, se registró la cantidad ofrecida por vaca y de cada material se tomaron dos muestras de aproximadamente 300 g para realizar los análisis químicos y biológicos antes mencionados.

**Selectividad de los animales.** En las fincas con pasturas asociadas con leguminosas o en sistemas silvopastoriles, pero sin suministro de suplementos, se determinó la proporción de leguminosa en la dieta seleccionada por las vacas, mediante la metodología de δ<sup>13</sup>C (Jones et al., 1979). Para este fin, se tomaron muestras de las gramíneas y las leguminosas y de la materia fecal de cinco vacas por finca. Las muestras de materia fecal se tomaron directamente del recto o inmediatamente después de la deposición. Estas muestras se secaron a 60 °C y se pasaron por un tamiz con malla de 1 mm. Posteriormente, se remitieron al laboratorio del CIAT en Cali, donde se realizó el análisis de δ<sup>13</sup>C en un espectrómetro de masas de flujo continuo (Europe Scientific Anca-Tracermass). La proporción de leguminosa en la dieta seleccionada se tuvo en cuenta para estimar la calidad de la dieta y el consumo total de nutrimentos.

**Consumo total de nutrimentos.** Para estimar el consumo de MS a partir de forraje se asumió arbitrariamente un consumo de 1.4 kg de FDN por 100 kg de peso vivo animal (PV). El consumo estimado de MS se multiplicó por la concentración de los distintos nutrimentos en el forraje, teniendo en cuenta su composición botánica. A este consumo se sumó el aporte de los suplementos, para llegar al consumo total.

El contenido de energía neta para lactancia (ENL) en los suplementos se estimó con la fórmula siguiente (FAG, 1994):

$$\text{ENL (MJ/kg MO)} = -13.67 + 0.0226 \text{ PC (g/kg MO)} + 0.0358 \text{ EE (g/kg MO)} + 0.0074 \text{ FC (g/kg MO)} + 0.022 \text{ ENN (g/kg MO)}$$

El contenido de fibra cruda (FC) no se determinó directamente, pero se asumió que era similar al contenido de celulosa en el concentrado y se calculó como la diferencia entre FDA y lignina. El contenido de extracto no nitrogenado (ENN) se calculó de la manera siguiente:

$$\text{ENN (g/kg MO)} = 1000 - \text{PC (g/kg MO)} - \text{EE (g/kg MO)} - \text{FC (g/kg MO)}$$

Para estimar el contenido de ENL en el forraje se utilizó la ecuación:

$$\text{ENL (MJ/kg MS)} = k_L \times \text{EM (MJ/kg MS)} \times 0.975 \text{ (FAG, 1994)}$$

donde:

$k_L$  = es el coeficiente de conversión de energía metabolizable (EM) en ENL y se calcula así:  $k_L = 0.463 + 0.24q$ , donde  $q$  es el coeficiente de conversión de energía bruta (EB) a EM.

El contenido de EB se estimó mediante la ecuación:

$$\text{EB (MJ/kg MS)} = 0.0188 \text{ MO (g/kg MS)} + 0.0078 \text{ PC (g/kg MS)} \text{ (FAG, 1994)}$$

El contenido de EM mediante la ecuación:

$$\text{EM (MJ/kg MS)} = \text{ED (MJ/kg MS)} \times 0.82 \text{ (Minson, 1990)}$$

donde ED es la energía digerible, valor que se obtuvo mediante la multiplicación de la EB por la digestibilidad de la MS.

**Análisis de la información.** Para determinar las fuentes de variación en producción y composición de leche, los parámetros sanguíneos y la ganancia de peso de los terneros, se generó una base de datos (ver Cuadro 2). Dependiendo de la variable de respuesta, se tuvieron en cuenta diferentes fuentes de variación (variables independientes).

Debido a la gran heterogeneidad genética de los hatos, no fue posible determinar con exactitud el grupo racial de todas las vacas. Además, el número de observaciones fue muy diferente entre grupos; por esta razón, el grupo racial no se tuvo en cuenta como fuente de variación.

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SAS versión 6.0 (SAS, 1989). Inicialmente se realizó un análisis de regresión lineal y de correlación entre todas las variables, para determinar el grado de asociación entre ellas. Posteriormente se realizó un análisis de regresión 'multietápica', con el procedimiento STEPWISE, para definir incidencia de las variables independientes en el modelo.

Cuadro 2. Fuentes de variación en producción y composición de leche, valores sanguíneos y ganancia de peso de los terneros incluidos en el análisis estadístico.

VARIABLES dependientes	VARIABLES independientes
Producción de leche	Edad, número de partos, fase de lactancia (días postparto), condición corporal, peso vivo, calidad nutritiva del forraje (PC, PS, FDN, CHNS, ENL, PC, proteína:CHNS), disponibilidad de biomasa en la pastura y consumo total de nutrimentos.
Composición de la leche	Edad, número de partos, fase de lactancia, producción de leche, condición corporal, peso vivo, calidad nutritiva del forraje, disponibilidad de biomasa en la pastura y consumo total de nutrimentos.
Parámetros sanguíneos	Edad, número de partos, fase de lactancia, producción de leche, condición corporal, peso vivo, calidad nutritiva del forraje, disponibilidad de biomasa en la pastura y consumo total de nutrimentos.
Ganancia de peso del ternero	Edad de la madre, número de partos, fase de lactancia, producción y composición de leche, condición corporal y peso vivo de la madre, calidad nutritiva del forraje y disponibilidad de biomasa en la pastura.

## Resultados y discusión

### Fuentes de variación en producción de leche

Como era de esperar, prácticamente todas las variables de calidad nutritiva y consumo de nutrimentos presentaron correlaciones significativas con la producción de leche. Además, el número de partos, la fase de lactancia y la disponibilidad de biomasa en la pastura tuvieron efectos significativos sobre la producción de leche. Debido a la presencia de correlaciones entre varias de estas variables independientes, finalmente se incluyeron el número de parto, la fase de lactancia, el consumo total de PC y de ENL, la relación PC:ENL y la disponibilidad de biomasa, en el modelo para el análisis de regresión multietápica (Cuadro 3). Estas variables independientes únicamente explicaron el 31% de la variación total en producción de leche. Es probable que si en el modelo se hubiera incluido el grupo racial como fuente de variación, se habría explicado una mayor proporción de la variabilidad en producción de leche. Por ej., Lascano et al. (1997) observaron que en sistemas de doble propósito, el grupo racial tiene un gran efecto sobre la producción de leche. Además, el consumo de nutrimentos se calculó independientemente del nivel de producción y su relación con el peso vivo de las vacas, siendo probable que de esta manera se haya subestimado el consumo de vacas con mayor producción.

La información recopilada en las fincas que practicaban doble ordeño, permitió comparar la producción de leche por ordeño con la producción total por día. Se encontró una correlación ligeramente superior entre la producción total por día y la leche medida en la mañana ( $r^2 = 0.94$ ) que con la leche medida en la tarde ( $r^2 = 0.87$ ) (Figura 1). En general, la cantidad de leche obtenida en la mañana superó la obtenida en la tarde. Las vacas con mayor producción (6 a 14 kg/día) produjeron, aproximadamente, 57% de la producción diaria de leche en la mañana y el 43%

Cuadro 3. Fuentes de variación en la producción diaria de leche en vacas en sistemas de doble propósito en el trópico bajo colombiano.

Fuente de variación	$r^2$ parcial	$r^2$ del modelo
Consumo total de proteína cruda	0.091	0.091
Número de partos	0.052	0.143
Disponibilidad de biomasa	0.035	0.178
Fase de lactancia	0.030	0.209
Relación proteína:energía	0.020	0.229
Consumo total de energía	0.085	0.314

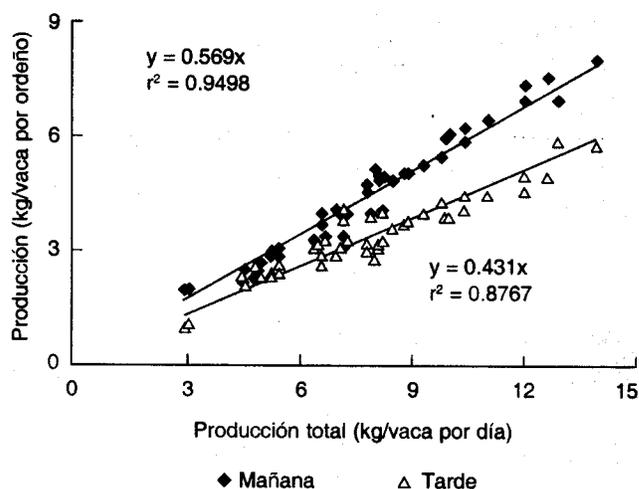


Figura 1. Relación entre la cantidad de leche por ordeño (mañana y tarde) y el total de leche producida en el día por vacas en sistemas de doble propósito en el trópico bajo colombiano.

restante en la tarde. Sin embargo, en vacas de baja producción (3 a 5 kg/día), las producciones obtenidas en la mañana y la tarde fueron similares.

Estos resultados sugieren que si se trabaja en explotaciones con sistemas de doble propósito con ganado en doble ordeño, la producción diaria se podría estimar midiendo únicamente la leche de la mañana.

### Fuentes de variación en contenido de grasa, proteína y lactosa de la leche

En general, la composición de la leche mostró poca variación debido a factores de la alimentación (Cuadro 4). Esto fue particularmente cierto en el caso del contenido de grasa y lactosa que no fue afectado por las variables de calidad nutritiva y consumo de nutrimentos. El contenido de proteína, sin embargo, presentó una leve y significativa relación ( $P < 0.0001$ ) con la concentración de proteína soluble (PS) en el forraje ( $r^2 = 0.12$ ) y el consumo total de PS ( $r^2 = 0.07$ ).

La variable que más afectó la composición de la leche fue la fase de lactancia. El nivel promedio de grasa aumentó desde 3.5% al inicio de la lactancia hasta 5.6% a los 300 días. En el mismo período, el nivel promedio de proteína incrementó de 2.8% a 3.7%. En ambos casos, la fase de lactancia explicó, aproximadamente, el 30% de la variación total. El comportamiento del nivel de lactosa fue diferente, siendo el contenido promedio de éste al inicio de la lactancia de 5.1% y de 4.7% a los 300 días ( $r^2 = 0.17$ ,  $P < 0.0001$ ).

Otras variables independientes que estuvieron asociadas con variaciones en la composición de leche

Cuadro 4. Fuentes de variación en el contenido de grasa, proteína y lactosa de la leche en vacas en sistemas de doble propósito en el trópico bajo colombiano.

Variable dependiente	Fuente de variación	r <sup>2</sup> parcial	r <sup>2</sup> del modelo
Grasa	Fase de lactancia (días postparto)	0.294	0.294
	Disponibilidad de biomasa	0.025	0.319
Proteína	Fase de lactancia	0.327	0.327
	Consumo de proteína soluble	0.121	0.448
	Edad de la vaca	0.028	0.476
Lactosa	Fase de lactancia	0.168	0.168
	Disponibilidad de biomasa	0.044	0.213
	Edad de la vaca	0.029	0.242

fueron la edad de la vaca, que afectó negativamente el contenido de proteína y lactosa, y la disponibilidad de biomasa, que tuvo un efecto positivo sobre el contenido de lactosa y grasa. No obstante, el aporte de estas variables al modelo fue bajo ( $r^2$  parcial < 0.03).

El análisis de regresión multietápica mostró que las variables independientes incluidas en modelo explicaron el 32% de la variación total de grasa en la leche, el 47% en la variación total de proteína y el 21% en la variación total de lactosa.

De acuerdo con estos resultados se puede concluir que en ensayos de pastoreo o de suplementación en fincas no es necesario determinar la composición de la leche, porque el efecto de los parámetros nutritivos sobre la composición es mínimo. Sin embargo, la gran variación observada entre animales, especialmente en el contenido de grasa (entre 1.22% y 8.82%) sugiere que es importante determinar esta variable, con el fin de corregir la producción de leche por contenido de grasa.

La comparación de la composición de la leche ordeñada en la mañana y en la tarde, mostró que los contenidos de grasa, proteína y lactosa fueron similares en ambos ordeños. Los coeficientes de determinación variaron entre 0.83 y 0.93 y se observaron coeficientes de regresión entre 0.98 y 1.00. Esto indica que es suficiente tomar una muestra en la mañana, para analizar la composición de la leche.

### Fuentes de variación de nitrógeno ureico en la sangre (BUN) y en la leche (MUN)

Varios investigadores han propuesto el nivel de BUN o MUN como indicador del índice de nutrición en bovinos (Lascano et al., 1997; Hammond, 1998). Para trabajos experimentales en general, y en experimentos a nivel de fincas comerciales en particular, la cuantificación del MUN presenta una gran ventaja sobre el BUN, porque se puede determinar mediante métodos no-invasivos. La muestra de leche es más fácil de tomar, produce menos estrés en la vaca, es económica y se adapta

mejor al manejo por los productores (Moore y Varga, 1996). No obstante, su importancia depende, en gran medida, del grado de asociación con el BUN. Como se observa en la Figura 2, en este estudio se encontró una relación lineal entre los niveles de MUN y BUN, con un alto grado de asociación ( $r^2 = 0.92$ ). El coeficiente de regresión fue similar a 1, lo cual indica que por cada unidad que aumentó el BUN, el MUN también incrementó 1 unidad. El intercepto fue de -2.09, lo cual muestra que, en promedio, los niveles de MUN fueron aproximadamente 2 mg/100 ml inferiores a los niveles de BUN. Estos resultados concuerdan con los de Roseler et al. (1993), Baker et al. (1995) y Broderick y Clayton (1997), quienes encontraron una alta correlación entre MUN y BUN ( $r^2$  entre 0.79 y 0.93) y niveles de MUN inferiores a los de BUN.

La comparación de los niveles de MUN medidos en la leche obtenida en el ordeño de la tarde con aquellos medidos en el ordeño de la mañana, mostró una alta correlación ( $r^2 = 0.88$ ,  $P < 0.0001$ ), siendo el coeficiente de regresión de 1.11, e indicando que los niveles de MUN en la leche ordeñada en la tarde fueron,

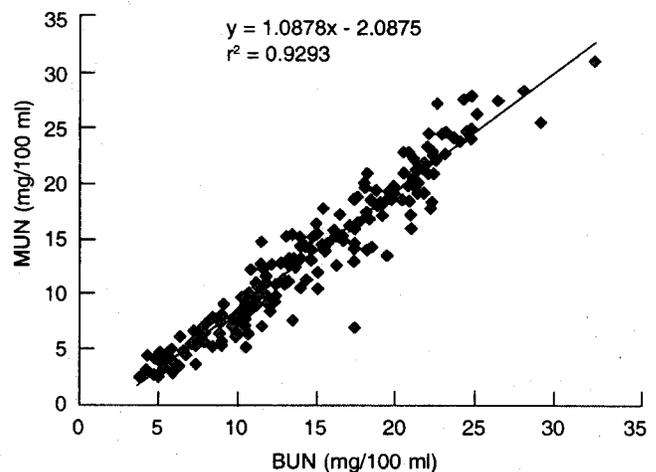


Figura 2. Relación entre el contenido de nitrógeno ureico en la leche (MUN) y en la sangre (BUN) en vacas de sistemas de doble propósito en el trópico bajo colombiano.

aproximadamente, 11% superior a los niveles de MUN en la leche de la mañana. Esto sugiere que en fincas donde se practica doble ordeño es necesario medir MUN en ambos ordeños.

Los niveles de BUN y MUN difirieron considerablemente entre animales de las diferentes fincas. Los promedios de MUN por finca y muestreo variaron entre 4.55 y 24.92 mg/100 ml, con coeficientes de variación entre 10% y 50%. El análisis de regresión simple mostró que prácticamente todos los factores de alimentación estuvieron asociados con variaciones de BUN y MUN. Contrario a esto, de los factores animales —edad, número de partos, nivel de producción, fase de lactancia, peso vivo y condición corporal— solamente el nivel de producción y el peso de la vaca mostraron efectos significativos sobre BUN y MUN. Debido a la presencia de correlaciones entre varias de las variables independientes, finalmente se incluyeron en el modelo para el análisis de regresión multietápica únicamente el nivel de producción, el peso de la vaca, el consumo total de proteína y de energía y la relación proteína:energía (Cuadro 5). Al considerar todos los datos, estas variables independientes explicaron solamente el 35% de la variación de BUN y un 37% de la variación de MUN. Sin embargo, cuando se eliminaron los datos de las vacas que recibieron forrajes conservados, el modelo explicó aproximadamente el 60% de la variación de BUN y MUN en las vacas en pastoreo. El efecto del tipo de forraje podría estar relacionado con cambios en la calidad del forraje durante el proceso de conservación y que no son detectados mediante los análisis químicos y biológicos realizados en el presente estudio.

La relación proteína cruda:energía neta para lactancia (PC:ENL) en el total de la dieta consumida fue el factor en la alimentación de mayor efecto sobre el nivel de MUN en vacas en pastoreo. Esta variable explicó el 55% de la variación en MUN. Como se puede observar en la Figura 3, generalmente los niveles de MUN menores que 10 mg/100 ml estuvieron asociados con relaciones de PC:ENL inferiores a 20 g/MJ, valor que se considera como mínimo para

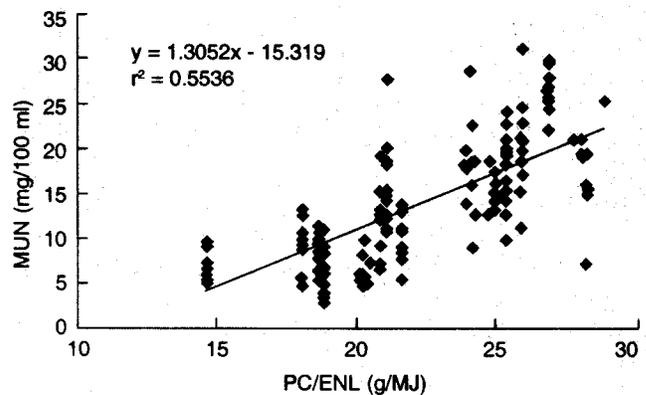


Figura 3. Relación entre el nivel de nitrógeno ureico en la leche (MUN) y la relación proteína:energía (PC:ENL) en la dieta consumida de vacas en sistemas de doble propósito en el trópico bajo colombiano.

garantizar una eficiente fermentación ruminal (FAG, 1994). Esto podría explicar por qué en vacas de doble propósito se encontró una respuesta positiva en producción de leche, a la introducción de leguminosas en la pastura (mayor suministro de proteína), cuando el nivel de MUN fue similar o inferior a 9 mg/100 ml, pero no cuando el MUN fue superior a este valor (Lascano, 1996). Por otro lado, en la misma Figura 3 se observa que valores de MUN superiores a 20 mg/100 ml están asociados con relaciones de PC:ENL mayores que 25 g/MJ, lo que indica un exceso de proteína o una deficiencia de energía disponible a nivel ruminal. Cuando hay un exceso de proteína, el proceso de digestión ruminal da lugar a una intensa producción de amoníaco, se presenta sobrecarga del hígado y se producen alteraciones hepáticas subclínicas (Dehning, 1988), siendo más severa esta condición cuando se acompaña de una deficiencia de energía. Además, se ha demostrado que niveles de MUN superiores a 19 mg/100 ml pueden estar asociados con problemas en reproducción en la hembra bovina en forma de un mayor número de días abiertos, bajas tasas de concepción y repetición de calores (Ferguson, 1991; Ferguson et al., 1993; Butler et al., 1996; Larson et al., 1997). Todo lo anterior sugiere que el rango óptimo de

Cuadro 5. Fuentes de variación en el contenido de nitrógeno ureico en la sangre (BUN) y en la leche (MUN) en vacas en sistemas de doble propósito en el trópico bajo colombiano.

Variable dependiente	Fuente de variación	r <sup>2</sup> parcial	r <sup>2</sup> del modelo
BUN	Relación proteína:energía	0.274	0.274
	Peso de la vaca	0.022	0.296
	Consumo de energía	0.058	0.352
MUN	Relación proteína:energía	0.238	0.238
	Consumo total de proteína	0.057	0.295
	Peso de la vaca	0.056	0.351
	Producción de leche	0.023	0.371

MUN para vacas en sistemas de doble propósito en pastoreo se encuentra entre 10 y 19 mg/100 ml.

## Fuentes de variación del peso vivo del ternero

En sistemas de producción de doble propósito, el peso del ternero al destete es de importancia económica. En el presente trabajo no fue posible evaluar el peso al destete, pero se determinó el peso en el momento del muestreo y se asumió que este peso está asociado con el peso al destete. Como era de esperar, la fuente de variación de mayor importancia fue la fase de lactancia, o mejor, la edad del ternero (Cuadro 6). Otros factores relacionados con el peso del ternero fueron la edad y el peso de la madre. Vale la pena resaltar que la producción total de leche de la madre no afectó el peso del ternero, pero la producción de leche corregida (ECM) sí tuvo un efecto positivo sobre el peso de la cría. Entre los factores de la alimentación, el contenido de PC en el forraje presentó una relación significativa con el peso del ternero. El análisis de regresión multietápica mostró que el modelo explicó el 66% de la variación en el peso del ternero.

## Fuentes de variación en el contenido de hematocritos

El consumo total de PC fue el único factor de la alimentación que se asoció con variaciones en el contenido de hematocritos. Esto concuerda con los datos de Manston et al. (1975), quienes encontraron que en hatos lecheros el nivel de hematocritos es menor cuando se presenta un nivel bajo de PC en la dieta. Sin embargo, en el presente estudio la correlación ( $r^2$  parcial) de este factor fue de sólo 0.02, lo cual significa que únicamente explicó el 2% de la variación en el nivel de hematocritos. Entre los factores del animal, la edad tuvo un efecto negativo y la condición corporal un efecto positivo sobre el contenido de hematocritos. Se ha demostrado que la edad es un factor para la variación de hematocritos y que vacas de

Cuadro 6. Fuentes de variación del peso vivo del ternero en sistemas de doble propósito en el trópico bajo colombiano.

Fuente de variación	$r^2$ parcial	$r^2$ del modelo
Fase de lactancia	0.486	0.486
Peso de la vaca	0.105	0.590
Proteína en el forraje	0.046	0.637
Producción de leche corregida <sup>a</sup>	0.027	0.664

a. Leche corregida (kg) =  $[(0.038 \times \text{grasa (g/kg)} + 0.024 \times \text{proteína (g/kg)} + 0.017 \times \text{lactosa (g/kg)}) \times \text{kg leche}] / 3.14$ .

primer parto tienen mayores niveles de éstos que vacas de 2 o más partos (Ingraham y Kappel, 1988), posiblemente por los cambios normales de la cantidad de células eritroides en la médula ósea (Florez, 1993). En total, el modelo explicó solamente el 12% de la variación total en hematocritos. Esto indica que el contenido de hematocritos no ayuda en la evaluación del estado de nutrición de vacas en producción.

## Conclusiones

Los factores involucrados en la alimentación de las vacas mostraron poco efecto sobre la composición de la leche, pero se observó una alta variabilidad entre animales, especialmente en el contenido de grasa. Esto sugiere que en ensayos con vacas en sistemas de doble propósito se debe determinar esta variable, para corregir la producción láctea de acuerdo con su contenido de grasa.

El factor más asociado con las variaciones en BUN y MUN fue la relación proteína:energía en el total de la dieta consumida. En vacas en pastoreo, este factor explicó el 55% del total de variación en MUN y el 52% en BUN. Esto confirma que ambos parámetros son buenos indicadores del estado de nutrición de los animales y sirven como herramienta para ajustar el suministro de proteína y energía en la dieta de vacas en sistemas de doble propósito en pastoreo.

Los resultados del presente estudio sugieren que el rango óptimo de MUN para vacas en este sistema se encuentra entre 10 y 19 mg/100 ml. Generalmente, valores inferiores a 10 mg/100 ml están asociados con deficiencias de proteína en la dieta y es probable que vacas con estos niveles respondan a la suplementación proteica. Por otro lado, niveles superiores a 19 mg/100 ml indican excesos de proteína o deficiencias de energía en la dieta.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo Nacional de Ganado de Colombia y al Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Francisco José de Caldas (Colciencias) la financiación parcial del presente trabajo. A la empresa Cicolac por los análisis de las muestras de leche, y a Claudia Ariza por el análisis estadístico de la información.

## Summary

During 1997 and 1998, samples were collected during two seasons on nine commercial farms located in the Cesar valley in northern Colombia (between 9° 31' and 10° 58' N latitude and between 72° 48' and 74° 05' W longitude). Samples were used to quantify the effect of

different nutritional and animal factors on urea levels in blood (BUN) and milk (MUN) and on milk composition. The Cesar valley corresponds to a semiarid ecosystem located at 110 to 180 masl. Average annual rainfall ranges between 700 mm and 1400 mm, and is distributed in two rainy seasons: from April to May and from August to October. Average annual evapotranspiration is 2000 mm, and water stress occurs during 10 months of the year. Average temperature ranges from 27 to 30 °C. Farms with different technological levels were selected to obtain representative results for a wide range of production systems. Important characteristics for determining the technological level were feeding (pasture type and quality, type of supplementation) and average milk production level.

On each farm, 12 healthy cows were selected, covering different phases of lactation: between 0 and 90 days, 91 and 180 days, and more than 180 days. Daily milk production was measured the same day of the sampling. Two samplings were carried out on those farms that performed two milkings, one in the morning and the other in the afternoon. To determine milk composition for each cow, approximately 250 ml milk were taken from all teats and 50 ml of this milk was used to measure fat, protein, lactose, and total solids contents. MUN content was determined in milk serum. Daily milk production was measured the same day of the sampling. A blood sample was taken from the coccygeal vein of each selected cow using disposable needles and tubes with anticoagulant (K-EDTA). Hematocrit content (Hto) was determined by centrifugation in capillary tubes with heparin for 5 min at 10000 r.p.m. To analyze BUN content, samples were centrifuged for 15 min at 3500 r.p.m. to separate blood plasma.

The factors involved in cow nutrition showed little effect on milk composition, but a high variability was observed among animals, especially regarding fat content, suggesting that this variable should be determined in trials with cows in dual-purpose systems to correct milk production according to fat content. The protein:energy ratio in total dietary intake was the factor most related with variations in BUN and MUN. In grazing cows this factor accounted for 55% of total variation in MUN and 52% of total variation in BUN. This confirms that both parameters are good indicators of the nutritional status of animals and may serve as tools to adjust protein and energy supply of cows grazing in dual-purpose systems. Study results indicate that the optimal MUN range for cows in dual-purpose systems is between 10 and 19 mg/100 ml. Values below 10 mg/100 ml are usually associated with dietary

protein deficiency, and cows at these levels will probably respond to protein supplementation. Levels higher than 19 mg/100 ml indicate an excess of protein or a deficiency of energy in the diet.

## Referencias

- Baker, L. D.; Ferguson, J. D.; y Chalupa, W. 1995. Responses in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:2424-2434.
- Broderick, G. A. y Clayton, M. K. 1997. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentration of milk urea nitrogen. *J. Dairy Sci.* 80:2964-2971.
- Butler, W. R.; Calaman, J. J.; y Beam, S. W. 1996. Plasma and milk urea nitrogen in relation to pregnancy rate in lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 74:858-865.
- Carroll, D. J.; Barton B. A.; Anderson, G. W.; y Smith, R. D. 1988. Influence of protein intake and feeding strategy on reproductive performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 71:470-481.
- Dehning, R. 1988. Diagnóstico y mejoramiento de la fertilidad en el hato. CICADEP, Series Monográficas no. 2. Universidad de la Salle, ICA, GTZ. 53 p.
- Elrod, C. C. y Butler, W. R. 1993. Reduction of fertility and alteration of uterine pH in heifers fed excess ruminally degradable protein. *J. Anim. Sci.* 71:694-701.
- \_\_\_\_\_; Van Amburgh, M.; y Butler, W. R. 1993. Alterations of pH in response to increased dietary protein in cattle are unique to the uterus. *J. Anim. Sci.* 71:702-706.
- FAG. 1994. Forschungsanstalt für viehwirtschaftliche Produktion, Posieux, Suiza. Fütterungsempfehlungen und Nährwerttabellen für Wiederkäuer. 3a. edición. 328 p.
- Ferguson, J. D. 1991. Nutrition and reproduction in dairy cows. *Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice* 7(2):483-506.
- \_\_\_\_\_; Galligan, D. T.; Blanchard, T.; y Reeves, M. 1993. Serum urea nitrogen and conception rate: The usefulness of test information. *J. Dairy Sci.* 76:3742-3746.
- Florez, H. 1993. Evaluación de la función hemática y hepática y su relación con producción de leche y fertilidad de vacas lecheras. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. 242 p.
- Greaney, K. B.; Reynolds, G. W.; Ulyatt, M. J.; Mackenzie, D. D.; y Harris, P. M. 1996. The metabolic cost of hepatic ammonia detoxification. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 56:130-132.

- Hammond, A. C. 1998. The use of BUN and MUN as guides for protein and energy supplementation in cattle. *Revista de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica)* 2(2):44-48.
- \_\_\_\_\_; Kunkle, W. E.; Bates, D. B.; y Sollenberger, L. E. 1993. Use of blood urea nitrogen concentration to predict response to protein or energy supplementation in grazing cattle. En: *Proceedings of the XVII International Grassland Congress, Palmerston North, Nueva Zelanda.*
- Hess, H. D.; Díaz, T. E.; y Florez, H. 1999. Guía para la evaluación de la condición corporal de vacas en sistemas doble propósito. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica)*, Bogotá, Colombia.
- Ingraham, R. H. y Kappel, L. C. 1988. Metabolic profile testing. *Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice* 4(2):391-411.
- Jones, R. J.; Lundlow, M. M.; Troughton, J. H.; y Blunt, C. B. 1979. Estimation of the proportion of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plant species in the diet of animals from the ration of natural <sup>12</sup>C and <sup>13</sup>C isotopes in the faeces. *J. Agric. Sci.* 92: 91-100.
- Kronfeld, D. S.; Donoghue, S.; Copp, R. L.; Stearns, F. M.; y Engle, R. H. 1982. Nutritional status of dairy cows indicated by analysis of blood. *J. Dairy Sci.* 65: 1925-1933.
- Larson, S. F.; Butler, W. R.; y Currie, W. B. 1997. Reduced fertility associated with low progesterone postbreeding and increased milk urea nitrogen in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 80:1288-1295.
- Lascano, C. E. 1996. Oportunidades y retos en la utilización de leguminosas arbustivas como forraje suplementario en sistemas de doble propósito. En: Clavero, T. (ed.). *Leguminosas forrajeras arbóreas en la agricultura tropical. Centro de Transferencia de Tecnología en Pastos y Forrajes, Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela.* p. 29-40.
- \_\_\_\_\_; Avila, P.; Ramírez, G.; y Amézquita, M. C. 1997. Fuentes de variación en la producción de leche de vacas en un sistema de pastoreo secuencial. En: Lascano, C. E. y Holmann, F. (eds.). *Conceptos y metodologías de investigación en fincas con sistemas de producción animal de doble propósito. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.* p. 3-14.
- Lee, A. J.; Twardock, A. R.; Bubar, R. H.; Hall, J. E.; y Davis, C. L. 1978. Blood metabolic profiles: Their use and relation to nutritional status of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 61:1653-1670.
- Leng, R. A. 1990. Factors affecting the utilization of 'poor-quality' forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutr. Res. Rev.* 3:277-303.
- Licitra, G.; Hernández, T. M.; y Van Soest, P. J. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57:347-358.
- Manston, R.; Russel, A. M.; Dew, S. M.; y Payne, J. M. 1975. The influence of dietary protein upon blood composition y dairy cows. *Veterinary Record* 96:497-502.
- Moore, D. A. y Varga, G. 1996. BUN and MUN: Urea nitrogen testing in dairy cattle. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian* 18(6):712-721.
- Payne, J. M.; Dew, S. M.; Manston, R.; y Faulks, M. 1970. The use of metabolic profile test in dairy herds. *The Veterinary Record* 87:150-158.
- Rivas, L. 1992. El sistema ganadero de doble propósito en América Latina Tropical: Evolución, perspectivas y oportunidades. Trabajo presentado en el simposio Internacional sobre Alternativas y Estrategias en Producción Animal. Abril 6-9 de 1992. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Roseler, D. K.; Ferguson, J. D.; Sniffen, C. J.; y Herrera, J. 1993. Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 76:525-534.
- SAS (Statistical Analysis System). 1989. SAS Institute, Inc. *SAS/STAT® User's Guide, Version 6, Fourth Edition.*
- Van Soest, P. J.; Robertson, J. B.; y Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.