

UREA EN LECHE: USO, INTERPRETACIÓN Y RELACIÓN CON LA PROTEÍNA LÁCTEA

ALEJANDRO CEBALLOS MÁRQUEZ

Médico Veterinario Zootecnista.

Candidato a Doctor en Ciencia Animal,

Universidad Prince Eduard Island, Canadá.

Profesor en la Facultad de Ciencias Agropecuarias,

Universidad de Caldas, Manizales y

Universidad de la Frontera, Temuco, Chile.

E-mail: aleceballos@upeu.ca

Colombia/Canadá

***“Debo informarle que puedo sintetizar urea sin el uso de los riñones,
bien sea en el hombre o en el perro. El cianato de amonio es la urea”***

Friedrich Wöhler (1828)

Introducción

La leche es un medio adecuado para el análisis de la salud y la eficiencia de la producción en la vaca lechera, entendida esta última, como eficiencia en la utilización de los alimentos que componen la dieta. Una muestra de leche en vacas individuales es fácil de tomar a través de un método no cruento y no invasivo, además podría tomarse directamente de la cantina o del tanque de enfriamiento para un análisis del hato. La frecuencia de toma de la muestra para el monitoreo sanitario y nutricional puede ser baja o alta, dependiendo de las necesidades del productor o del asistente técnico o tan frecuente como lo es la recepción de muestras para el control de calidad de la leche que recibe la industria, quien estaría llamada a realizar este análisis para mantener la oferta permanente de productos lácteos de calidad para el consumidor.

La proteína láctea ha venido recibiendo mayor importancia como un nutriente esencial para la alimentación humana, en detrimento de la atención que se



prestaba a la concentración de grasa en la leche. Además, los sistemas de pago por incentivo a la producción están dirigidos a favorecer la producción de proteína más que la de grasa.

Lo anterior ha llevado a un replanteamiento de las estrategias nutricionales para favorecer el incremento en la proteína láctea, dentro de las que se puede mencionar el uso de mayor cantidad de nitrógeno como fertilizante, el cambio hacia otras fuentes de proteína y el uso de suplementos con mayor contenido de la misma. Pero no siempre estos cambios producen los resultados esperados de proteína en leche.

El análisis de la composición química de la leche así como el conocimiento de las relaciones que hay entre sus diferentes componentes, ha sido usado para establecer la presencia de desequilibrios nutricionales en vacas y rebaños. La urea (NNP) es una de las tres porciones que contienen nitrógeno en la leche, siendo las otras dos la proteína verdadera (caseína) y la proteína del suero, correspondiendo la urea aproximadamente a un 5% del total de nitrógeno en la leche (Rowland, 1938 citado por DePeters y Ferguson, 1992).

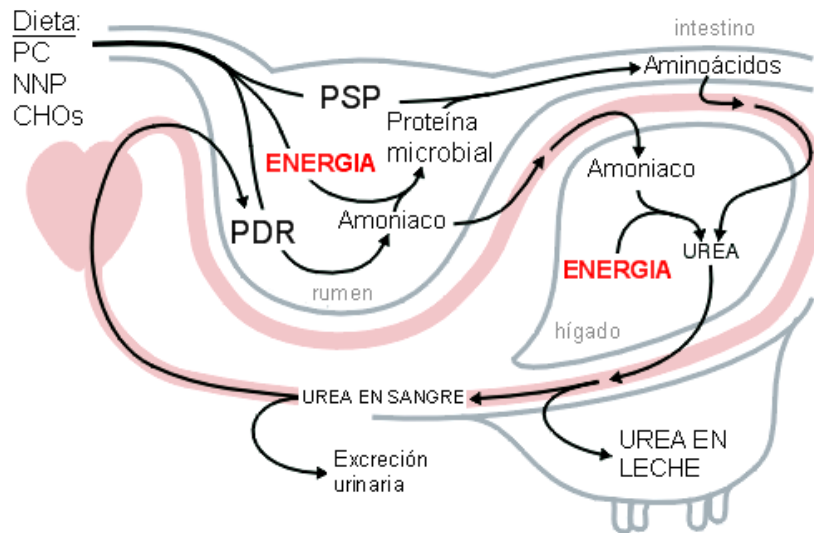
El conocimiento que se ha generado hasta el momento, aporta una evidencia clara acerca de la utilización de la urea en la leche como una herramienta útil para el diagnóstico de desequilibrios nutricionales en bovinos, especialmente aquéllos relacionados con el balance energía-proteína en la ración y con la eficiencia de utilización de la proteína en la vaca y del equilibrio energético-proteico de la dieta.

Adicionalmente, la urea en leche es útil para conocer el riesgo potencial de presentación de algunas patologías asociadas con el incremento en el consumo de proteína como laminitis y daños en la mucosa del rumen, siendo las alteraciones de la fertilidad las más ampliamente estudiadas (Butler, 2000). Recientemente, se ha señalado que la concentración de urea en la leche no tiene relación con el promedio de producción de leche y está asociada positivamente con el costo de la alimentación por vaca/día, pero no con el beneficio económico por vaca/día que puede recibir el productor; en otras palabras, los hatos con una alta concentración de urea en leche tienen la tendencia a tener un menor ingreso por el costo de alimentación por vaca/día (Godden y col., 2001).

Estudios en Estados Unidos donde han participado tanto productores como asesores, quienes han recibido información completa (resultados e interpretación) con respecto a los valores de urea en leche en sus hatos, han implementado los cambios correspondientes logrando no sólo la disminución de la urea en leche a valores objetivos, sino un ahorro en los costos de la alimentación de las vacas, disminuyendo también el impacto ambiental causado por el exceso en la excreción de nitrógeno, producto de dietas elevadas en proteína (Jonker y col., 2002). Estos autores estimaron que una reducción en la urea en la leche de 0,2 mmol/L corresponden a una menor emisión de nitrógeno al medio ambiente estimada en 9,2

Posteriormente, las bacterias usan el amoniaco que se ha liberado para su propio crecimiento (Figura 1); así, la proteína bacteriana es sintetizada al menos en un 70% a partir del amoniaco (Webster, 1993). Pese a lo anterior, la vaca requiere en su dieta algunos AAs para la síntesis bacteriana, siendo imposible mantener en óptimas condiciones el medio ruminal a partir de una dieta con NNP como única fuente de nitrógeno (Webster, 1993; NRC, 2001).

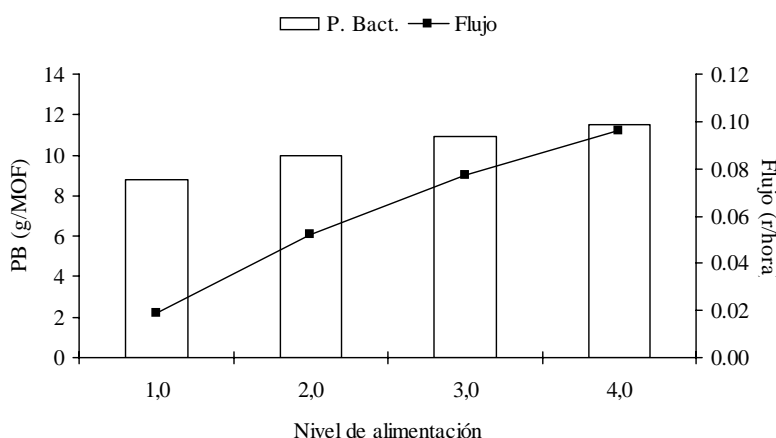
Figura 1.
Visión general del metabolismo de la proteína en el rumiante.



La síntesis de proteína bacteriana (SPB) es dependiente de la disponibilidad de energía en el rumen que, a su vez, proviene de la fermentación de los carbohidratos de la dieta, en promedio la SPB fluctúa entre 53 y 140 gramos por kilo de nutrientes digestibles totales consumidos por la vaca, con un valor promedio ajustado en 130 g/kg NDT (NRC, 2001). También se ha estimado según el consumo de carbohidratos, entre 6,5 y 25,3 gramos de proteína bacteriana cruda por 100 gramos de carbohidratos consumidos (Hutton y Annison, 1972). Esta proteína tiene una digestibilidad cercana al 80%, ya que hay una fracción que está constituida por ácidos nucleicos que son indigeribles, los que han sido usados como un indicador de la eficiencia de la utilización del nitrógeno de la dieta. No obstante, la SPB también depende de factores como la tasa de pasaje y el nivel de alimentación (Figura 2). Cuando el consumo de alimento se incrementa y la tasa de pasaje en el rumen aumenta (menor retención), la degradación de la proteína tiende a ser menor que la observada a consumos o tasas más bajas (Webster, 1993).

Otro factor que determina la eficiencia en la producción de proteína bacteriana, en otras palabras una menor concentración de amoniaco en rumen, es la sincronización en la degradación de las porciones rápida y lentamente degradables de la proteína con la energía liberada por la degradación ruminal de los carbohidratos

Figura 2.
 Producción de proteína bacteriana (g/MOF)
 y flujo del contenido ruminal (r/hora) en función del nivel de alimentación (L).



(Webster, 1993; Kolver y col., 1998; Dewhurst y col., 2000; NRC, 2001). Lo anterior significa que debe buscarse un balance en los patrones de fermentación ruminal tanto de la proteína como de los carbohidratos para lograr una menor acumulación de amoníaco, donde la SPB puede aumentar o al menos mantenerse (Tabla 1, Figura 3). El uso de un alimento de baja calidad (bajo en proteína y energía), como un heno de gramíneas, produce un incremento ruminal relativamente bajo en amoníaco y ácidos grasos volátiles (AGV) debido a una baja disponibilidad de sustratos para los microorganismos ruminales. En la Figura 3 (A) puede verse que la degradación de la proteína y los carbohidratos es lenta y prácticamente sincrónica.

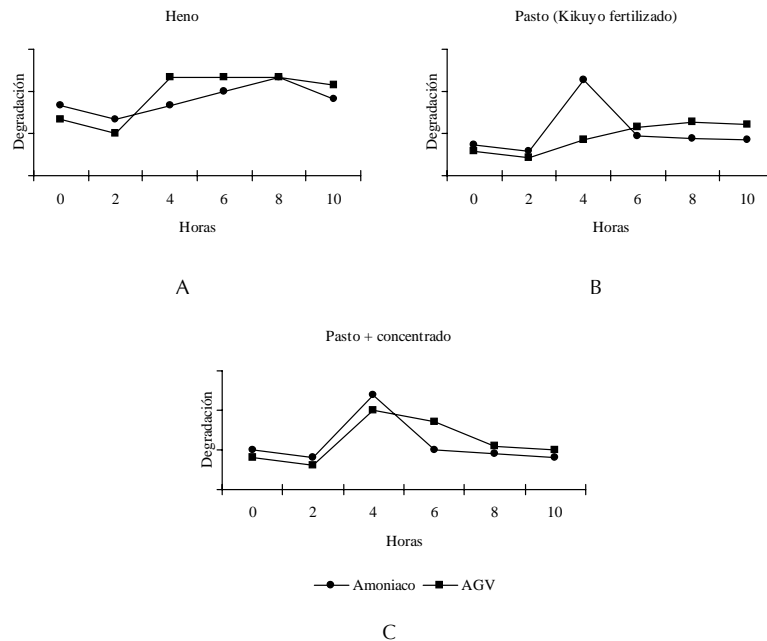
Tabla 1.
 Efecto de diferentes fuentes de carbohidratos sobre la producción de amoníaco ruminal y la síntesis de proteína bacteriana (SPB).

Carbohidratos	Amoniaco	SPB	Fuente
Cebada vs. maíz	SC ^a	↑	Martín-Orue y col., 2000
Cebada vs. maíz	↓	SC	Casper y col., 1999
Maíz molido	↓	SC	Callison y col. 2001
Maíz húmedo vs. maíz quebrado entero	↓		Broderick y col., 2002
Maíz hojuelado al vapor vs. maíz molido	↓	↑	Harvatine y col., 2002
^a SC: sin cambio.			

Figura 3.

Producción relativa y balance de amoniaco y ácidos grasos volátiles (AGV) en el rumen en tres tipos de dietas para vacas productoras de leche en función del tiempo después de la alimentación. Las unidades en el eje y son arbitrarias usadas sólo para ilustración.

Adaptado de: Webster, 1993.



La Figura 3 (B) presenta una situación hipotética en cuanto a la producción de amoniaco y AGV al consumir un Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) o cualquier otro pasto fertilizado. Bajo las condiciones actuales de producción en la mayoría de las explotaciones lecheras de zonas geográficas media a alta en Caldas, el Kikuyo puede alcanzar hasta un 20% de proteína cruda de la cual aproximadamente un 40% es PS y de esta última, prácticamente el 100% es NNP, lo que dependería de otros factores y no únicamente de la fertilización (Ceballos, A., datos sin publicar). Se ha señalado en otros estudios que el NNP es el principal componente nitrogenado de la PS en pastos jóvenes y sería menor en aquéllos más maduros (Huntington y Archibeque, 1999). Esta particularidad en la composición proteica del pasto genera un patrón de degradación diferente para la proteína y los carbohidratos, donde además no todo el nitrógeno que se libera como amoniaco puede ser captado por las bacterias para transformarlo en proteína bacteriana (Webster, 1993; Dewhurst y col., 2000; NRC, 2001). Rápidamente después de la ingestión del pasto se produce un incremento en la producción de amoniaco que no se compensa con los carbohidratos disponibles para las bacterias, así se aumenta la absorción de amoniaco a través de la pared del rumen, el que debe llevarse al hígado para su posterior transformación en urea (Figura 1).

Aproximadamente entre 1 y 2 horas después del consumo de este pasto, cuando la concentración de urea se eleva, los signos que presenta el animal son

habiéndose señalado también que el efecto puede estar determinado en forma individual por el tipo de carbohidratos o proteína (Dewhurst y col., 2000). El nitrógeno absorbido en forma de amoníaco puede alcanzar hasta un 73% del nitrógeno total consumido, varias veces más de lo que representa la absorción de nitrógeno a partir de AAs (Huntington y Archibeque, 1999).

No todo el amoníaco ruminal es utilizado en la SPB, ya que una fracción es absorbida a través de las paredes del rumen, en un mecanismo dependiente del pH ruminal (baja absorción en casos de acidosis) (Kertz y col., 1983), y transformada en urea en el hígado para eliminarlo en esta forma, ya que el amoníaco es un compuesto tóxico para el organismo. El amoníaco usado para la síntesis de urea también puede provenir del metabolismo postruminal de las proteínas o del amoníaco que se produce en el ciego y el colon (Hutton y Annison, 1972), el amoníaco postruminal representa hasta un 51% del captado en forma neta en la circulación portal (Huntington y Archibeque, 1999). La urea puede regresar de nuevo al rumen como una fuente de NNP y lo hace a través de la circulación sanguínea y la saliva; así, aproximadamente un 12% del nitrógeno que consume la vaca en la ración puede ser reciclado (Holmes y Wilson, 1984; Webster, 1993), pudiendo ser alrededor de 24 g de nitrógeno por día (Pfeffer y Hristov, 2005). De otra parte, la urea que se produce internamente puede reciclarse hasta en un 96% (Huntington y Archibeque, 1999). La absorción neta de amoníaco hacia el hígado puede llegar a ser más del 40% del nitrógeno total consumido, especialmente en aquellos casos en los cuales se excede la capacidad bacteriana para captar amoníaco y transformarlo en proteína bacteriana (Huntington y Archibeque, 1999; NRC, 2001). Este fenómeno ocurre cuando hay un exceso en el aporte de NNP, PDR, PS o se enfrenta una deficiencia de energía fermentable en la ración (NRC, 2001).

Por lo anterior, el objetivo de la alimentación del rumiante debe estar dirigido a maximizar la utilización del nitrógeno de la dieta y evitar su pérdida hacia el medio ambiente (excreción urinaria) o hacia la leche debido a una elevación inusual del contenido ruminal de amoníaco, lo que puede determinarse fácilmente con un análisis de la concentración de urea en leche, ya que esta última proviene de la urea en sangre la que a su vez se origina en la digestión de los compuestos nitrogenados de la dieta o de origen interno.

Nitrógeno ureico o urea en leche

El contenido de proteínas de un alimento se determina habitualmente usando el método Kjeldahl, entre otras técnicas, donde las proteínas son precipitadas usando ácidos; posteriormente, el nitrógeno es multiplicado por un factor que usualmente ha sido 6,25 (DePeters y Ferguson, 1992). Observaciones en estudios hechos con muestras de leche de hatos en la zona cafetera han indicado que este factor es en promedio $6,40 \pm 0,13$ (Ceballos, A., datos sin publicar). La fracción que no se precipita al someter la muestra a la acción del ácido, corresponde al NNP, incluyéndose la

urea en estos compuestos. Debe quedar claro entonces que, la urea no forma parte de la proteína verdadera de los alimentos, ya que esta molécula no se deriva de la proteína verdadera (precipitada).

La urea, también conocida como carbamida, es un compuesto que tiene la fórmula molecular $\text{CO}-(\text{NH}_2)_2$, con un peso molecular de 60,06 g/mol, donde el nitrógeno representa el 46,65% de la molécula de urea. La urea es sintetizada, en un proceso anabólico y demandante de energía, en el hígado y proviene del dióxido de carbono, agua, aspartato y amoniaco. Los grupos amino para su formación son donados por el amoniaco y el aspartato, con otras sustancias que actúan como intermediarias. El amoniaco que ingresa al ciclo de la urea en el rumiante proviene de la fermentación ruminal del nitrógeno de la dieta o del reciclaje interno, lo que fue previamente descrito.

Se ha señalado que la síntesis hepática de urea es una función directa del consumo de nitrógeno en la dieta (Huntington y Archibeque, 1999). Así, el consumo de nitrógeno explica hasta un 90% de la variación en la producción hepática de urea y esta síntesis es 0,74 veces el consumo de nitrógeno (Figura 4). Claramente se observa en esta figura que el flujo hepático de urea sería negativo frente a un déficit en el consumo de nitrógeno, mientras que un incremento en el consumo de nitrógeno eleva el flujo hepático de urea hacia la circulación sanguínea, especialmente a partir de 150 g/día que equivalen aproximadamente a un consumo de 938 gramos diarios de proteína cruda.

Figura 4.

Flujo hepático de urea en función del consumo diario de nitrógeno (g/día). El valor predicho está representado por (S) y los valores representan el resumen del aporte de nitrógeno en diferentes tipos de bovinos.

Adaptado de: Huntington y Archibeque, 1999.

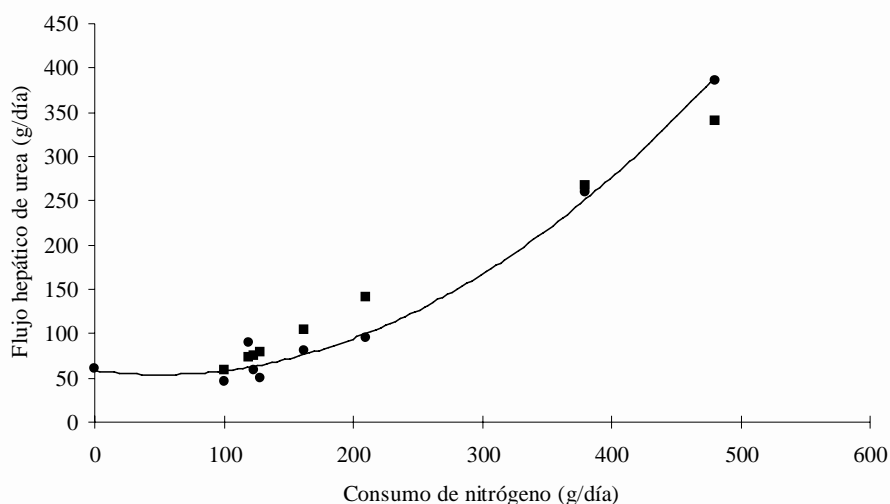


Tabla 2.

Promedio, desviación estándar y rango del porcentaje del nitrógeno total de la leche que corresponde al nitrógeno ureico en leche de muestras de tanques de frío en rebaños de cuatro regiones del occidente colombiano.

REGIÓN	Observaciones	Promedio±DE	Rango
Caldas	72	3,2±0,9	1,2 - 5,4
Quindío	42	3,8±1,0	1,5 - 5,5
Risaralda	35	3,4±0,9	2,2 - 5,7
Norte del Valle	52	3,4±1,0	1,2 - 5,7
Promedio general	201	3,4±1,0	1,2 - 5,7

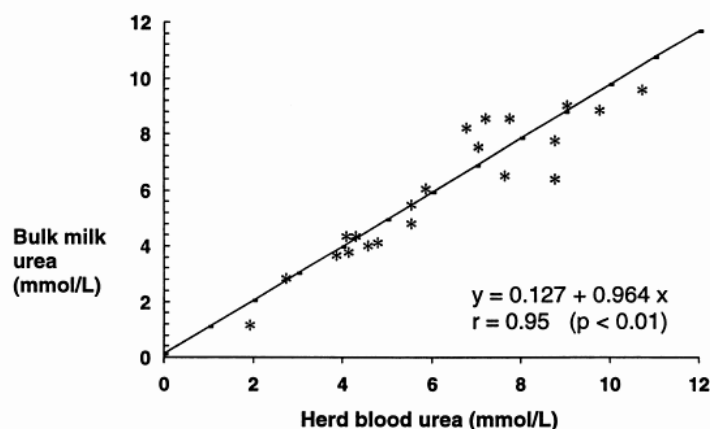
sanguínea son trasladados rápidamente a otros tejidos o fluidos en una relación positiva y lineal (Arunvipas, 2001); así, este mismo autor ha resumido las correlaciones observadas entre el nitrógeno de la urea sanguínea (NUS) y el NUL, observando valores entre 0,77 y 0,98. Lo anterior significa que mientras que la concentración sanguínea de urea aumenta, la concentración en leche igualmente estará elevada. El NUL puede estimarse a partir del NUS con la siguiente ecuación (Broderick y Clayton, 1997):

$$\text{NUL (mg/dL)} = 4,75 + 0,62 * (\text{NUS en mg/dL}) [1]$$

El modelo anterior explicó hasta un 84% de la variación en el NUL. La correlación entre NUL y NUS ha podido ser comprobada también entre los resultados en muestras de leche de tanque de frío y el análisis de urea sanguínea en los rebaños a los que pertenecía el tanque (Figura 6).

Figura 6.

Regresión entre la concentración de urea en leche de tanque de enfriamiento y la concentración sanguínea de urea en hatos lecheros.
 Tomado de: Wittwer y col., 1999 (Permiso de Publicación gestionado).



Siendo alta la correlación entre urea en leche de tanque de frío con la concentración sanguínea a nivel del rebaño (Wittwer y col., 1999; Arunvipas, 2001), el análisis en una muestra del tanque reflejaría la situación de las vacas lactantes con respecto a los nutrientes que afectan la concentración de este metabolito en sangre o en leche. Los resultados de esta prueba pueden usarse como un tamizaje para definir la necesidad de realizar análisis más detallados a nivel de individuo, si acaso se han observado alteraciones importantes, pudiendo señalarse que ellas están presentes cuando la concentración de urea se encuentre fuera del rango considerado como referencial. Además, todos los factores que produzcan cambios en la urea sanguínea lo harán en la urea en la leche.

De lo anterior se puede concluir que el NUL es un reflejo del NUS, el que a su vez proviene de la síntesis hepática a partir del amoníaco que se ha liberado en el rumen o de origen endógeno, como consecuencia del desdoblamiento de las proteínas en un proceso donde juega un papel importante la disponibilidad de energía. Por ello, el análisis de urea en la leche es un indicador confiable del consumo de proteína en la ración, de la calidad de la misma o de su balance con los carbohidratos fermentables de la dieta.

La expresión del contenido de nitrógeno en la leche asociado a la urea como NUL o urea en leche ha generado controversia y crea confusión en el uso de esta prueba y la interpretación de los resultados. En términos generales el NUL corresponde a la determinación cuantitativa del nitrógeno contenido en la molécula de urea no considerando los demás elementos (H, C, O), mientras que la urea total expresa la cuantificación de todos los elementos que forman la molécula; pero, manteniéndose constantes los elementos diferentes al nitrógeno, la urea entonces estaría entregando la misma información que la determinación de nitrógeno ureico. Es usual en los reportes de estudios hechos en Norteamérica el uso de nitrógeno ureico (NUL) expresado en mg/dL, mientras que en resultados derivados de estudios en Europa y el cono sur de América del Sur, se use urea expresada en mmol/L. De esta forma, se hace necesario definir muy bien cómo se está expresando el resultado y cuáles unidades se están utilizando para poder hacer las comparaciones del caso con los valores referenciales, los que igualmente deben estar expresados en las mismas unidades. En la Tabla 3 se describen los factores para hacer las conversiones necesarias. En adelante en esta revisión se hará uso de urea en leche expresada en mmol/L, debiendo referirse el lector a la Tabla para hacer las conversiones a los valores que tenga como referenciales.

Urea en leche y desequilibrios nutricionales

Anteriormente se indicó que la urea en leche proviene de la difusión alveolar de la urea sanguínea en la leche y que, a su vez, el origen es el NNP o la PS o PDR de la dieta (Figura 1). Así, la concentración de urea en leche está relacionada con aquellos factores nutricionales que la modifican (Pehrson, 1996; Wittwer y col., 1999;

Tabla 3.

Factores para la conversión de urea a nitrógeno ureico y viceversa.

Unidades convencionales	Operación	Factor	SIU ^a
Urea (mg/dL)	x	0.1665	Urea (mmol/L)
Urea (mg/dL)	x	0.0777	Nitrógeno ureico (mmol/L)
Nitrógeno ureico (mg/dL)	x	0.3570	Urea (mmol/L)
SIU			Unidades convencionales
Urea (mmol/L)	x	6.0553	Urea (mg/dL)
Nitrógeno ureico (mmol/L)	x	12.8747	Urea (mg/dL)
Urea (mmol/L)	x	2.8013	Nitrógeno ureico (mg/dL)

^aSIU: Sistema Internacional de Unidades.

Arunvipas, 2001; Pfeiffer y Hristov, 2005). El flujo del contenido ruminal así como la absorción de amoníaco a través de la pared ruminal, son los factores que más contribuyen a la elevación de la urea en sangre y en consecuencia en la leche. No debiendo dejarse de lado que hay otros factores no nutricionales que también pueden causar variaciones importantes y que deben considerarse cuando se vayan a interpretar los resultados (DePeters y Ferguson, 1992; Eicher y col., 1999; Arunvipas y col., 2003; Rajala-Schultz y Saville, 2003).

La relación que existe entre algunos factores nutricionales y el metabolismo de las proteínas con la concentración de urea en la leche, es alta y es posible usar esta última para evaluar la nutrición proteica en la vaca (Tabla 4). Puede observarse que la asociación entre la urea en leche y los factores descritos es alta; además, la concentración de urea en leche explicó una alta proporción de la variación en estos factores (Broderick y Clayton, 1997).

Tabla 4.

Valor de correlación entre la urea en leche y algunos factores relacionados con la proteína de la dieta o el metabolismo proteico como respuesta. Todos los valores de correlación fueron significativos a $P < 0,05$. Adaptado de: Broderick y Clayton, 1997.

NUTRIENTE	Correlación
Proteína cruda en la dieta (%)	0,92
PC por energía neta de lactancia (g/Mcal)	0,91
Exceso de nitrógeno (g/día)	0,88
Amoníaco ruminal (mg N/dL)	0,76

Por ejemplo, una concentración de urea en leche alta, media o baja está relacionada con un contenido de proteína en la ración que igualmente será alto, medio o bajo, respectivamente (Tabla 4, Figura 7). Así, la urea en leche es una herramienta útil para establecer desequilibrios en la nutrición proteica o en su relación con la energía (Broderick y Clayton, 1997).

Figura 7.

Guía para la interpretación de la urea o nitrógeno ureico en leche según la producción y el contenido de proteína cruda en la leche.

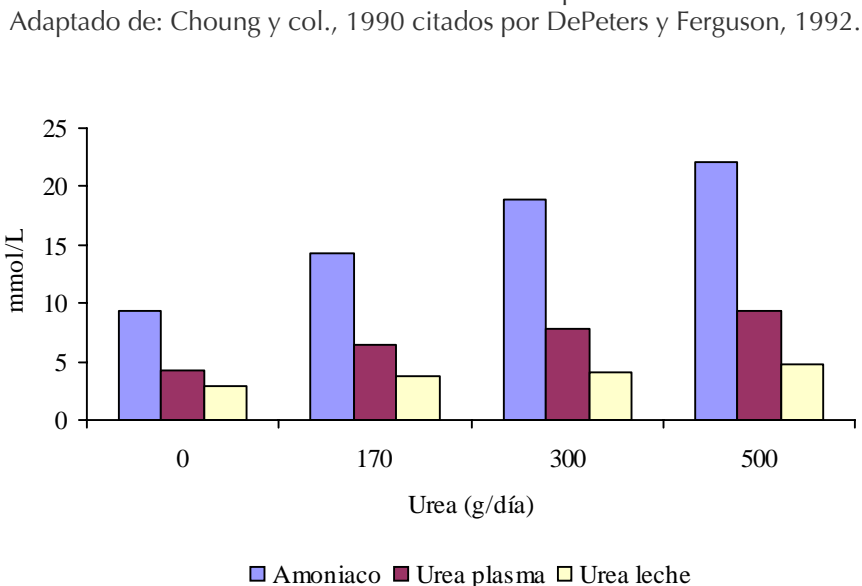
Proteína en leche (%)	Nitrógeno ureico en leche (mmol/L)														
	0,5	0,7	0,9	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5	3,7
5,0	ENERGÍA: ↑ Producción: <30 kg/día				ÓPTIMO NUTRICIONAL Producción: <30 kg/día					Proteína cruda: ↑ NNP: ↑ PDR: ↑					
4,5															
4,0					Producción: 30 - 35 kg/día					Producción: >35 kg/día					
3,7															
3,5					Bajo aporte de nutrientes Producción: media a alta					ENERGÍA: ↓					
3,3															
3,0	PC: ↓														
2,5															
2,0															
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	Urea en leche (mmol/L)														

Por lo anterior, diversas publicaciones han señalado que un mayor consumo de proteína cruda, PDR, NNP o una deficiencia de energía fermentable causarán alteraciones del contenido de urea en la leche. La suplementación con cantidades crecientes de urea, contribuirá a la elevación de su contenido en la leche, produciéndose un incremento en el amoniaco ruminal y de la concentración de urea en el plasma, mientras que en la leche no se observó un cambio en la misma proporción, ya que el valor se obtuvo a partir de la PC de la leche y del porcentaje de NNP calculado, el que aumentó de 5 a 8% (Figura 8). Estos mismos autores indicaron que una suplementación superior a 500 g de urea/día excedió la capacidad hepática para metabolizar el amoniaco formado.

Un mayor consumo de proteína cruda en la ración también está relacionado con cambios en la concentración de urea en la leche en vacas mantenidas en pastoreo. Gramíneas como Bromus (*Bromus inermis*), Ovillo (*Dactylis glomerata*) y Pasto azul (*Poa pratensis*) pueden llegar a un contenido de PC cercano a 20% y una PS de 23% con respecto a la PC después de una fertilización con 100 kg N/Ha/año, bajo estas condiciones las vacas tuvieron un consumo de PC entre 3,5 y 4,0 kg/día sin recibir suplementación con concentrados y su concentración de urea en leche estuvo entre 5,0 y 5,1 mmol/L (Bargo y col., 2002). Bajo estas mismas condiciones y después de

Figura 8.

Concentración de amoniaco en rumen y urea en plasma y leche frente a la suplementación con diferentes cantidades de urea en vacas productoras de leche.



suplementar con un concentrado (13% PC) a una tasa de 1 kg/4 kg de leche, se produjo una disminución en la urea en leche a valores entre 4,0 y 4,1 mmol/L, representando el NNP en la leche un 6% de la proteína cruda, mientras que sin suplementación con concentrados el NNP fue un 8% de la PC de la leche. No obstante, la concentración de urea en leche en ambos casos estaría dentro de los valores considerados referenciales (Figura 7). El estudio de Bargo y col. (2002) tiene otras implicaciones para la definición de la suplementación en pastoreo que no es del caso su discusión en esta revisión.

Igualmente, el tipo de forrajes así como la clase de carbohidratos usados en la suplementación para vacas en pastoreo produce efectos significativos en la concentración de urea en la leche (Robledo y Zuluaga, 2003; De Campaneere y col., 2006; Gehman y col., 2006). La concentración de urea en la leche varió con los cambios que se presentaron en el consumo total de PC en vacas mantenidas en pastoreo rotacional con Estrella (*Cynodon* sp.) fertilizada (PC: 16,3%), donde se sustituyeron hasta en un 25% los suplementos nitrogenados de la dieta control por diferentes tipos de carbohidratos aportados por azúcar grado alimentación animal, harina de yuca y cascarilla de soya con melaza (Robledo y Zuluaga, 2003). En la Tabla 5 puede observarse que la disminución en el consumo de PC afectó en forma significativa la concentración de urea en leche frente al valor observado en el grupo control; además, las vacas que consumieron la dieta con azúcar tuvieron una eficiencia de un 21% en el uso del nitrógeno frente a un 19% de eficiencia en las vacas en la dieta control, valores que son más bajos que los reportados en la literatura.

Tabla 5.

Efecto de la sustitución de los suplementos nitrogenados por diferentes fuentes de carbohidratos sobre la producción de leche, proteína en leche y concentración de urea en leche en vacas mestizas en pastoreo rotacional con Estrella (*Cynodon* sp.).

Adaptado de: Robledo y Zuluaga, 2003

	PC consumida (g/día)	Producción (kg/día)	PC en leche (g/día)	Urea en leche (mmol/L)
Dieta control	2380	13,9	454	6,3 ^a
Azúcar	2170	14,4	458	4,8 ^b
Harina de yuca	2220	13,4	427	4,7 ^b
Cascarilla de soya más melaza	2323	14,3	462	5,9 ^b
^{a,b} Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos (P<0,05).				

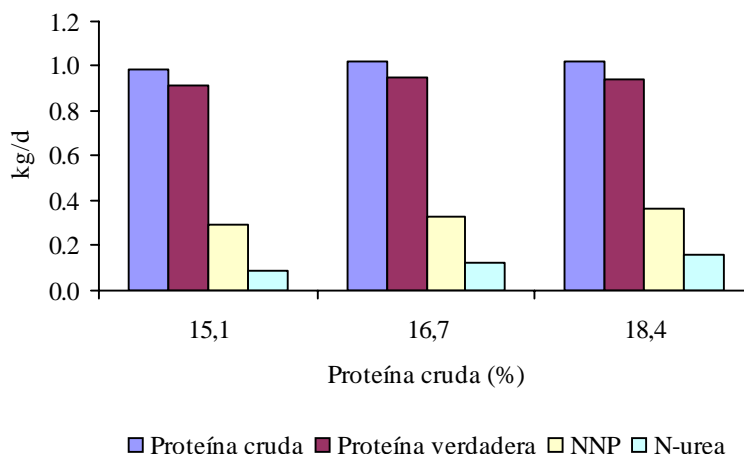
Experimentos realizados con diferentes niveles de inclusión de forrajes han señalado que la urea en leche es dependiente del tipo de forraje que se use (De Campaneere y col., 2006). En este estudio se ofrecieron a libre disposición un 100% de ensilaje de maíz, a partes iguales ensilaje de maíz y ensilaje de gramíneas y 100% de ensilaje de gramíneas, las vacas se suplementaron además con torta de soya y pulpa de cítricos. El mayor consumo de proteína digestible (PD) se obtuvo en las vacas que recibieron la base forrajera 100% ensilaje de maíz, mientras que el consumo fue más bajo en 100% ensilaje de gramíneas. Al igual que otros resultados previamente descritos, el contenido de urea en leche fue superior en la dieta donde hubo mayor consumo de proteína, obteniéndose un promedio de 3,8 mmol/L frente a 2,9 mmol/L en vacas que recibieron el ensilaje de gramínea. En este experimento, contrario a los resultados anteriores, se obtuvo una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno frente a un mayor consumo de proteína pero sin obtenerse diferencias significativas entre los tratamientos, lo que pudo deberse a una digestibilidad mayor en la PC de la dieta 100% ensilaje de maíz. Estos autores confirman que tanto la proteína como la energía en la ración tuvieron una significativa influencia en los valores de urea en leche.

El pasto Ryegrass (*Lolium* sp.) se ha venido popularizando en su uso en las lecherías de clima frío en Colombia, material que se caracteriza por un contenido de PC superior al de otras gramíneas para clima frío y por tener una tasa de degradación de la PC de un 9 a 14%/hora, mientras que sus carbohidratos se degradan a una tasa del 7%/hora, creando un medio ambiente ruminal asincrónico (Van Vuuren y col., 1991).

la ración con baja PC (15,1%) tenían una urea en leche promedio de 3,3 mmol/L frente a 5,7 mmol/L en el grupo de vacas que consumió una ración más elevada en proteína (18,4%). Igualmente se observaron variaciones significativas en la producción de proteína láctea y en la proporción de NNP en la leche (Figura 9). Por el contrario, el incremento de la energía de la ración (menor contenido de FDN) frente al mismo contenido de PC, produjo una disminución en la concentración de urea en la leche (Broderick, 2003).

Figura 9.

Producción diaria (kg/d) de proteína cruda, verdadera, NNP y N ureico en la leche de vacas alimentadas con diferentes concentraciones de PC en la ración. Adaptado de: Broderick, 2003.



Recientemente, el desarrollo de modelos han corroborado la utilidad del análisis de urea en la leche como una forma de evaluar el consumo de proteína en la ración (Nousiainen y col., 2004). En este estudio se ha encontrado una relación lineal positiva entre la concentración de PC (g/kg de materia seca) y el contenido de urea en la leche expresado como NUL en mg/dL, donde además la variación en la PC explicó hasta un 78% de la variación en la urea en leche según el modelo:

$$\text{NUL (mg/dL)} = -14,2 + 0,17 * (\text{PC en g/kg materia seca}) [2]$$

El coeficiente 0,17 disminuye a 0,14 cuando se ha ofrecido una gramínea en lugar de una leguminosa en la base forrajera de la dieta. El contenido de PC en la ración fue el principal factor que produjo cambios en la concentración de urea en leche, independiente de la manipulación que se haya dado en la dieta.

Estos mismos autores indicaron también que la concentración de urea en leche era una función del balance de proteína en el rumen, el que tiene un mayor efecto

la muestra de vacas lo más homogéneas posibles según el estado productivo y cuando requiera tomarse de las vacas, debe tomarse una muestra compuesta por leche de los cuatro cuartos de cada vaca y no de un sólo cuarto. Adicionalmente, el análisis de urea en leche tiene una alta variación entre las vacas de un mismo rebaño, por lo que no deben tomarse muestras individuales para hacer la evaluación y el resultado de una muestra no refleja la situación grupal. Los resultados deben ser evaluados en conjunto con un análisis detallado de la dieta y con una caracterización completa de las vacas, de otra forma no sería fácil encontrar el origen de la alteración en la urea en la leche.

En la Tabla 7 se resumen algunos resultados obtenidos en la evaluación de la composición de la leche de hatos lecheros de la zona del Viejo Caldas (Ceballos, A., datos sin publicar). Estos estudios fueron llevados a cabo por un período de seis meses y en cada finca las muestras fueron obtenidas del tanque de frío. Los análisis se realizaron en laboratorios de la Universidad de Caldas e INGECAL (Universidad Católica de Manizales). Es posible observar que los promedios para la concentración de urea son altos comparados con los reportes de la literatura internacional, fenómeno que posiblemente pueda estar asociado con las características de producción en esta zona del país, donde es posible observar pastoreos en praderas con alta fertilización o bajo período de recuperación del pasto, el uso de suplementos con altos contenidos de proteína y baja suplementación con alimentos energéticos o con bajo contenido de proteína, lo que requiere la realización de estudios posteriores para su comprobación.

Tabla 7.

Concentración de proteína cruda y urea en leche en muestras de tanque de frío en hatos lecheros de los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda y Norte del Valle.

Región	Observaciones	Proteína en leche (%)		Urea en leche (mmol/L)	
		Promedio±DE	Rango	Promedio±DE	Rango
Caldas	72	3,14±0,21	2,6 - 3,5	5,6±1,5	2,2 - 8,2
Quindío	42	3,22±0,23	2,8 - 4,0	6,7±1,6	2,9 - 9,9
Risaralda	35	3,17±0,27	2,8 - 4,2	6,1±1,4	3,9 - 9,6
Norte del Valle	53	3,17±0,28	2,4 - 3,8	6,0±1,9	2,0 - 10,1
Promedio General	202	3,17±0,25	2,4 - 4,2	6,0±1,6	2,0 - 10,1

relación que existe entre la proteína y la energía en vacas de alta producción, ya que se requiere más proteína por unidad de energía para producir que para mantenimiento (Oltner y col., 1985; Broderick y Clayton, 1997; Jonker y col., 1998). Se ha estimado que la urea en la leche puede aumentar entre 0,9 y 1,0 mmol/L por cada 2000 kg de aumento en la leche producida en la lactancia (Jonker y col., 1998; Jonker y col., 1999). Arunvipas y col. (2003) encontraron que este aumento corresponde a 0,02 mmol/L por cada kilo de leche de aumento en una lactancia corregida a 305 días, lo que viene a ser aproximadamente 0,12 mmol/L en 2000 kg de aumento por lactancia. Igualmente, se ha señalado que la urea en leche es más alta dos semanas después del pico de producción (78 días en leche) (Jonker y col., 1999; Arunvipas y col., 2003). En esta sección ya se ha discutido cuál es el efecto de un mayor consumo de proteína, que en vacas de alta producción no siempre estará equilibrado con la disponibilidad de energía para las bacterias ruminales.

El peso corporal ha sido otro factor que está relacionado positivamente con la urea en leche (Broderick y Clayton, 1997); sin embargo, previamente se había señalado que la relación entre la urea en leche y el peso era inversa (Oltner y col., 1985; Jonker y col., 1998). Posteriormente, se ha indicado que la relación no es lineal sino curvilínea, observándose que la relación fue inversa hasta aproximadamente 620 kilos y a mayor peso fue positiva (Hojman y col., 2005).

Otros factores que están relacionados con la urea en leche son la edad (disminuye con el número de lactancias) y la raza (mayor en vacas Holstein) (Oltner y col., 1985; Broderick y Clayton, 1997; Rodríguez y col., 1997; Jonker y col., 1999; Arunvipas y col., 2003); sin embargo, Arunvipas (2001) encontró valores más altos en ganado Milking Shorthorn y Jersey. Pese a los resultados anteriores, algunos estudios han aportado evidencia que señala que no habría efecto de estos factores sobre la urea en leche.

En esta sección se ha descrito cómo la urea en leche varía como respuesta a factores relacionados con la dieta, los que explican la mayor proporción en la variación en este indicador, siendo la PC y el balance con la energía, los principales determinantes. Otros factores no nutricionales pueden influenciar los resultados y explican en menor proporción la variación de la urea en leche. Es importante tener en cuenta que la utilidad del análisis está en las evaluaciones que se pueden hacer a nivel poblacional, pero no a nivel individual.

La interpretación de los resultados debe hacerse, en lo posible, considerando valores referenciales regionales y no usando los reportados en estudios hechos en otros países, ya que los diferentes sistemas empleados para la producción de leche y la alimentación pueden inducir variaciones en el rango considerado referencial para cada región y cada país. Bajo las condiciones actuales de producción de leche en Colombia, el rango referencial para la concentración de urea en leche puede ser levemente mayor al rango observado en otros países, ya que la producción basada

grano adicionales; así, sería justificable hacerlo siempre que el precio de venta de la leche devuelva la mayor inclusión de cereales en la ración. Además, la respuesta en PL no es lineal frente a una mayor suplementación con cereales, y el incremento de su uso puede traer otras consecuencias para el funcionamiento digestivo y la salud de la vaca que no son objeto de esta revisión.

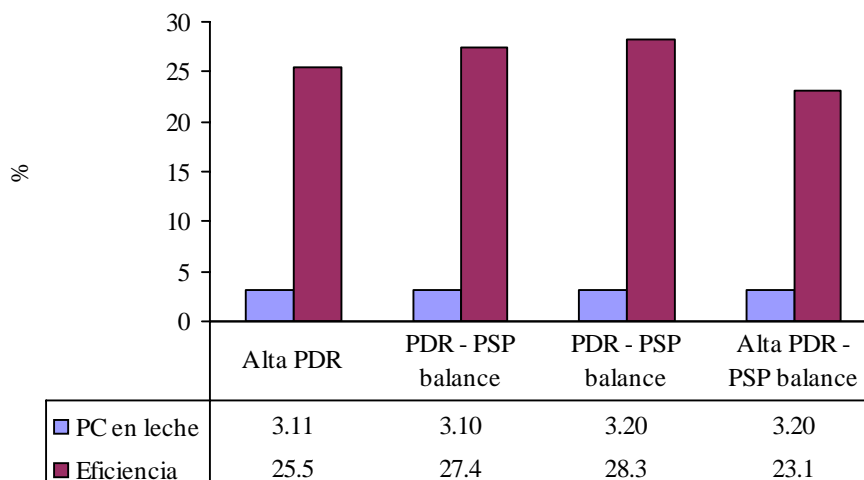
Si la proteína en la leche es una respuesta a la suplementación con EM, entre otros factores, entonces en este caso la urea en leche debe ser interpretada en conjunto con la PL (Figura 7) como un indicador del aporte de EM fermentable en la dieta, no debiendo dejarse de lado que también el consumo de proteína la afecta.

La PL también se puede modificar como respuesta a la suplementación con proteína en la dieta; pero, una inadecuada manipulación nutricional en este sentido, puede conllevar a un aumento de la producción de amoníaco en el rumen y a una pérdida de la eficiencia en el uso del nitrógeno (Casper y col., 1999; Bargo y col., 2003; Pfeffer y Hristov, 2005); en consecuencia, se producirá un aumento de la urea en leche y una mayor excreción urinaria de nitrógeno (Baker y col., 1995; Olmos Colmenero y Broderick, 2006). Baker y col. (1995) emplearon dietas con diferentes proporciones de PDR y PSP con respecto a los requerimientos nutricionales para vacas lecheras para esa época. Los resultados indicaron que la concentración de NNP y urea en la leche se afectaron significativamente, donde la elevación en el NNP se atribuyó al alza en el nitrógeno de la urea y fueron mayores en aquella dieta con una mayor proporción de PDR, concluyendo que la PL y la urea en la leche están influenciadas por la concentración de PC, por el tipo y la calidad de la proteína. Una mayor utilización de PDR (por ejemplo la proveniente de los pastos) incrementará la proporción de NNP en el nitrógeno total de la leche (menos proteína verdadera), y así un aumento del NNP se verá reflejado en un aumento de la urea en leche. Igualmente, de este estudio se puede extraer como conclusión que el aumento en la suplementación con PC con una mayor degradabilidad, produce una menor eficiencia en la incorporación del nitrógeno en la PV de la leche (Figura 10).

La suplementación con PC a vacas en pastoreo incrementa la concentración de amoníaco en el rumen, efecto que es más pronunciado cuando se usan adicionalmente suplementos proteicos de alta degradabilidad (Bargo y col., 2003), efecto que también se ha visto en dietas para vacas estabuladas y también basadas en una proporción mínima de un 50% de forrajes en la ración (Casper y col., 1999; Olmos Colmenero y Broderick, 2006). Esta suplementación no siempre conlleva a un incremento en la producción de leche o de proteína en la leche; pero, sí es posible observar una disminución en la eficiencia de uso del nitrógeno (Pfeffer y Hristov, 2005; Olmos Colmenero y Broderick, 2006). No obstante, la suplementación con PSP se requiere para vacas en pastoreo, ya que la degradabilidad del pasto no permite hacer un aporte adecuado según los requerimientos de la vaca (Bargo y col., 2003).

Figura 10.

Respuesta en proteína cruda (PC) en leche y eficiencia en el uso de la proteína después de la suplementación con diferentes proporciones de proteína degradable (PDR) y proteína de sobrepaso (PSP).
 Adaptado de: Baker y col., 1995.



En el estudio de Robledo y Zuluaga (2003) puede observarse que la eficiencia en el uso de la proteína se incrementó cuando se usaron fuentes de carbohidratos disponibles para las bacterias ruminales, esta mayor eficiencia se traduce en una disminución de la concentración de urea en leche debido a un menor contenido de nitrógeno en el NNP de la leche (Tabla 5); sin embargo, la producción y la concentración de PL no cambió entre los tratamientos en este estudio.

Estudios recientes, usando la última publicación de los requerimientos nutricionales para vacas productoras de leche (NRC, 2001), han indicado que en vacas Holstein la producción de leche está determinada por factores como el consumo de energía neta para lactancia, carbohidratos fermentables, PDR y PSP, mientras que la producción de PL es más compleja para señalar que un sólo factor nutricional puede estar determinando una mayor producción de proteína, lo que significa que no siempre la respuesta en PL será positiva aumentando la suplementación con un nutriente en particular; además se ha observado que el coeficiente para el efecto de algunas fracciones fermentables de los carbohidratos y la proteína degradable, es negativo (Hristov y col., 2004). Pese a lo anterior, en otros estudios se ha observado un efecto cuadrático para la misma fracción de carbohidratos y la proteína degradable (Hristov y col., 2005).

Es claro que la suplementación con una mayor concentración de PC donde la mayor parte sea aportada por NNP, PS o PDR no va a producir un efecto benéfico en la PL y, por el contrario, mientras no se equilibre este exceso con energía

fermentable, se va a producir un incremento lineal en la pérdida urinaria de nitrógeno y en la urea en la leche. De lo anterior se puede concluir que la relación que pueda existir entre la PL y la urea en leche, estaría dada por la eficiencia de la incorporación del nitrógeno en la proteína verdadera de la leche. La urea en leche es así una herramienta adecuada para establecer cuál es el contenido de PV en la leche y cuál es la eficiencia de uso del nitrógeno de la dieta.

El objetivo de la suplementación debe estar dirigido hacia la obtención de una leche con una concentración de urea entre 3,0 y 5,0 mmol/L y una concentración de proteína cercana a 3,2%, lo anterior estaría indicando que el NNP no sería superior a un 5% del total de nitrógeno, lo que estaría acorde con una adecuada eficiencia en su utilización.

Conclusiones

Ciertamente no es fácil presentar, en unas cuantas páginas, los resultados que se han obtenido hasta el momento en cuanto a la utilización del análisis de urea en leche y su relación con los desequilibrios nutricionales en la vaca lechera, así como tampoco es fácil abarcar todas las publicaciones que se han hecho hasta ahora relacionadas con el mismo tema. Por lo anterior, muchas publicaciones han sido omitidas en forma involuntaria, pero se ha tratado de mostrar un panorama lo más completo posible al respecto.

Es claro que la urea es una herramienta útil para establecer desequilibrios nutricionales relacionados con la proteína y la energía de la dieta para la vaca, así como también queda claro que es útil como indicador de la eficiencia en el uso del nitrógeno de la dieta y en forma indirecta del nitrógeno que se elimina al medio ambiente por parte del rumiante. Así, el objetivo del productor y su asistente debe apuntar a incrementar la eficiencia de utilización del nitrógeno de la dieta disminuyendo el impacto ambiental que genera una mayor excreción, y producir, cada vez más, una leche con un mayor contenido de proteína verdadera en beneficio del consumidor final.

Los resultados con respecto a las estrategias para mejorar la eficiencia en el uso del nitrógeno no son concluyentes y todavía se continúa investigando en el tema, pero podría decirse que hasta el momento incluyen:

- La utilización de fertilizantes nitrogenados debe racionalizarse con el fin de evitar una mayor proporción de PS o PDR, ya que el nitrógeno degradable en exceso que consuma la vaca y que no esté debidamente equilibrado con la energía, producirá un incremento lineal en su excreción urinaria, haciendo de la producción de leche un proceso ineficiente y contaminante.
- La disminución en el uso de suplementos altamente proteicos, en especial

- Baker, L.D., J.D. Ferguson, W. Chalupa. 1995. Responses in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:2424-2434.
- Bargo, F., L.D. Muller, J.E. Delahoy, T.W. Cassidy. 2002. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J. Dairy Sci.* 85:1777-1792.
- Bargo, F., L.D. Muller, E.S. Kolver, J.E. Delahoy. 2003. Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *J. Dairy Sci.* 86:1-42.
- Broderick, G.A. 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:1370-1381.
- Broderick, G.A., M.K. Clayton. 1997. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *J. Dairy Sci.* 80:2964-2971.
- Broderick, G.A., D.R. Mertens, R. Simons. 2002. Efficacy of carbohydrate sources for milk production by cows fed diets based on alfalfa silage. *J. Dairy Sci.* 85:1767-1776.
- Butler, W.R. 2000. Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Anim. Reprod. Sci.* 60-61:449-457.
- Callison, S.L., J.L. Firkins, M.L. Eastridge, B.L. Hull. 2001. Site of nutrient digestion by dairy cows fed corn of different particle sizes or steam-rolled. *J. Dairy Sci.* 84:1458-1467.
- Casper, D.P., H.A. Maiga, M.J. Brouk, D.J. Schingoethe. 1999. Synchronization of carbohydrate and protein sources on fermentation and passage rates in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:1779-1790.
- De Campeneere, S., D.L. De Brabander, J.M. Vanacker. 2006. Milk urea concentration as affected by the roughage type offered to dairy cattle. *Livest. Sci.* 103:30-39.
- DePeters, E.J., J.D. Ferguson. 1992. Nonprotein nitrogen and protein distribution in the milk of cows. *J. Dairy Sci.* 75:3192-3209.
- Dewhurst, R.J., D.R. Davies, R.J. Merry. 2000. Microbial protein supply from the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 85:1-21.
- Eicher, R., E. Bouchard, M. Bigras-Poulin. 1999. Factors affecting milk urea nitrogen and protein concentrations in Quebec dairy cows. *Prev. Vet. Med.* 39:53-63.
- Gehman, A.M., J.A. Bertrand, T.C. Jenkins, B.W. Pinkerton. 2006. The effect of carbohydrate source on nitrogen capture in dairy cows on pasture. *J. Dairy Sci.* 89:2659-2667.
- Godden, S.M., K.D. Lissemore, D.F. Kelton, K.E. Leslie, J.S. Walton, J. H. Lumsden.

- fermentation in beef cattle offered high-grain diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 88:59-77.
- National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. National Academy Press, Washington D.C.
- Nousiainen, J., K.J. Shingfield, P. Huhtanen. 2004. Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding. *J. Dairy Sci.* 87:386-398.
- Pehrson, B. 1996. Milk analysis as an indicator of the nutritional and disease status of dairy cows. En: Garnsworthy, P.C., J. Wiseman, W. Haresign. 1996. Recent advances in animal nutrition. Nottingham University Press, Nottingham, UK.
- Olmos Colmenero, J.J., G.A. Broderick. 2006. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:1704-1712.
- Oltner, R., M. Emanuelson, H. Wiktorsson. 1985. Urea concentrations in milk in relation to milk yield, live weight, lactation number and amount and composition of feed given to dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 12:47-57.
- Pfeffer, E., A. Hristov. 2005. Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle. CABI Publishing, Oxfordshire, UK.
- Rajala-Schultz, P.J., W.J.A Saville. 2003. Sources of variation in milk urea nitrogen in Ohio dairy herds. *J. Dairy Sci.* 86:1653-1661.
- Robledo, P.A., A.F. Zuluaga. 2003. Sustitución parcial del concentrado por fuentes energéticas y su efecto sobre la concentración de urea en vacas en producción. M.V.Z. Tesis, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.
- Rodriguez, L.A., C.C. Stallings, J.H. Herbein, M.L. McGilliard. 1997. Diurnal variation in milk and plasma urea nitrogen in holstein and jersey cows in response to degradable dietary protein and added fat. *J. Dairy Sci.* 80:3368-3376.
- Van Vuuren, A.M., S. Tamminga, R.S. Ketelaar. 1991. In sacco degradation of organic matter and crude protein of fresh grass (*Lolium perenne*) in the rumen of grazing dairy cows. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 116:429-436.
- Walker, G.P., F.R. Dunshea, P.T. Doyle. 2004. Effects of nutrition and management on the production and composition of milk fat and protein: a review. *Aust. J. Agric. Res.* 55:1009-1028.
- Webster, J. 1993. Understanding the dairy cow. 2nd ed. Blackwell Scientific Publications, London, UK.
- Wittwer, F.G., P. Gallardo, J. Reyes, H. Opitz. 1999. Bulk milk urea concentrations and their relationship with cow fertility in grazing dairy herds in Southern Chile. *Prev. Vet. Med.* 38:159-166.

Glosario

- ◆ AAs: Aminoácidos.
- ◆ AGV: Ácidos Grasos Volátiles.
- ◆ CMS: Consumo de Materia Seca (kg/día).
- ◆ EM: Energía Metabolizable.
- ◆ L: Nivel de Alimentación con respecto al Mantenimiento.
- ◆ MOF: Materia Orgánica Fermentada.
- ◆ NDT: Nutrientes Digestibles Totales.
- ◆ NNP: Nitrógeno No Proteico.
- ◆ NUL: Nitrógeno Ureico en Leche.
- ◆ NUS: Nitrógeno Ureico en Sangre.
- ◆ PC: Proteína Cruda: suma de toda la fracción nitrogenada de los alimentos multiplicada por un factor.
- ◆ PD: Proteína Digestible.
- ◆ PDR: Proteína Degradable en Rumen.
- ◆ PL: Proteína en Leche.
- ◆ PM: Proteína Metabolizable.
- ◆ PND: Proteína No Degradable.
- ◆ PS: Proteína Soluble.
- ◆ PSP: Proteína de Sobrepaso.
- ◆ PV: Proteína Verdadera: fracción nitrogenada precipitable después de acidificar la muestra (método Kjeldahl).
- ◆ r: Flujo por hora del contenido ruminal.
- ◆ SPB: Síntesis de Proteína Bacteriana.