

MUN: HERRAMIENTA PARA MEJORAR proteína en leche

Introducción

Las proteínas de la leche bovina poseen un alto valor nutricional (*National Dairy Council, 2006*), nutraceutico (*National Dairy Council, 2006; Sukkar y Bounous, 2004*) e industrial (Verdier-Metz et al., 2001). En la tabla 1 se muestran los promedios de proteína en la leche reportados por nueve plantas de acopio de leche de La Cooperativa COLANTA, donde se aprecia que la leche que se recolecta en las zonas de trópico bajo (Puerto Boyacá, San Onofre, Barranquilla y Planeta Rica) es la que presenta los contenidos más altos. Por el contrario, la leche recolectada en las zonas frías de trópico alto (Yarumal, Funza, Santa Rosa, Medellín y San Pedro) es la que muestra los valores más bajos. Estas diferencias responden a factores asociados a la base genética pero sobre todo a los sistemas de alimentación que predominan en cada zona. Así, mientras que en las zonas de trópico bajo predominan animales cebuinos y cruzados que son alimentados con gramíneas tropicales con alto contenido de fibra y bajo contenido de proteína y reciben una escasa suplementación con alimentos concentrados, en las zonas de trópico alto predominan vacas de la raza Holstein que son alimentadas con gramíneas de menor contenido de fibra y mayor conte-

Héctor J. Correa C.

Zootecnista
– Universidad Nacional de Colombia
Maestría en Nutrición Animal
Doctorado Producción Animal
Docente Universidad Nacional de Colombia
hjcorreac@unal.edu.co
Colombia

Hugo E. Rojas W.

Zootecnista
Universidad Nacional de Colombia

Juan E. Carulla F.

Zootecnista MsC PhD
Grupo de Investigación en Nutrición Animal
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia
Universidad Nacional de Colombia

Juan M. Cerón A.

Zootecnista MsC
Departamento de Asistencia Técnica
Cooperativa COLANTA

Martha L. Pabón R.

Química
Departamento de Química
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional de Colombia

Tabla 1. Contenido de proteína en la leche reportado por nueve plantas de acopio de leche de La Cooperativa COLANTA durante las primeras 35 semanas del año 2010.

PLANTA	PC	
Puerto Boyacá	3,50 ± 0,09	a ¹
San Onofre	3,45 ± 0,17	b
Barranquilla	3,45 ± 0,13	B
Planeta Rica	3,42 ± 0,17	B
Armenia	3,20 ± 0,03	C
Frontino	3,13 ± 0,04	D
Yarumal	3,08 ± 0,05	E
Funza	3,08 ± 0,05	E
Santa Rosa de Osos	3,06 ± 0,05	e,f
Medellín	3,05 ± 0,05	e,f
San Pedro de los Milagros	3,02 ± 0,04	F

1 Promedios con literales diferentes son estadísticamente distintos a un $p < 0,0001$ según la prueba de Duncan.

nido de proteína y reciben una alta suplementación energética (Martínez y González, 2005).

No obstante la importancia de las proteínas de la leche, la eficiencia con la que la vaca transforma el nitrógeno (N) de la dieta en proteínas lácteas es muy baja con valores promedio que difícilmente superan al 30% (Kohn et al., 2005). Otras especies domésticas son más eficientes en transformar el N que consumen en proteínas de alto valor nutricional tal como sucede en los cerdos en crecimiento cuya retención del N puede representar más del 70% del N consumido (Fent et al., 2001) e incluso llegar hasta el 85% (Batterham et al., 1990) y en las aves de engorde en las que esta eficiencia puede alcanzar un poco más del 60% del N consumido (Petri et al., 2004).

Los datos reportados en sistemas especializados en producción de leche en Colombia muestran que esta eficiencia es mucho menor a la hallada en otros países, particularmente los de las zonas templadas. Así, mientras que Correa et al. (2008a) reportan valores promedio de 21,6% para hatos lecheros en Antioquia y León et al. (2008) valores que oscilaron entre 15,1 y 16,6% en la Sabana de Bogotá, Jonker et al. (1998) encontraron un rango que va entre 21,1 y 38% para hatos lecheros de Estados Unidos, en tanto que Lapierre et al. (2005) señalan un ran-

go para esta característica que fluctúa entre 22 y 44% para hatos americanos y europeos.

Cuando el cálculo de la eficiencia se hace a partir de la Proteína Metabolizable (PM), es decir la proteína que es digerida y absorbida a nivel intestinal (NRC, 2001), el asunto es menos desolador. La tabla 2 muestra que cuando la eficiencia en el uso del N consumido para la síntesis de proteínas lácteas se calcula a partir de la PM, ésta puede alcanzar valores similares a la de los no rumiantes indicando que la diferencia con la eficiencia calculada a partir del N consumido reside en los procesos metabólicos asociados a la fermentación ruminal poniendo en evidencia uno de los "lados más oscuros del rumen" (Van Saunt, 1999).

Tabla 2. Estimación de la eficiencia en el uso del nitrógeno para la síntesis de proteínas lácteas a partir de la proteína consumida total (Pct) y de la proteína metabolizable (PM)².

	PCI ³ /Pct	PCI/PM
Promedio	21,59	48,19
Máximo	26,72	70,79
Mínimo	15,97	31,44
C.V., %	15,40	22,34

2 Los cálculos se realizaron con base en los datos reportados por Mejía y Vargas (2004), Caro y Correa (2006) y por Monsalve (2004).

3 PCI = proteína cruda de la leche (N*6.38), Pct = proteína cruda ingerida total (N*6.25), PM = proteína metabolizable (Proteína microbiana + proteína no degradable en rumen digeridas en el intestino).

En el caso de los no rumiantes (cerdos y aves) un porcentaje muy importante del N consumido es absorbido como aminoácidos o péptidos, en tanto que en el caso de los rumiantes un porcentaje alto del nitrógeno de la dieta es transformado en amoníaco (N-NH₃) en el rumen y, como tal, es absorbido por las paredes ruminales e intestinales, representando un porcentaje tan alto como el 80% del N consumido (Mutsvangwa et al., 1999) siendo comunes los valores cercanos al 50% (Lapierre et al., 2005; Reynolds et al., 1994). Esta cantidad tan alta de N-NH₃ absorbido no es útil para el metabolismo nitrogenado del animal y durante su transformación en urea utiliza aminoácidos (Annison y Bryden, 1999; Mutsvangwa et al., 1999) y energía. Por ello cuando la eficiencia en el uso del N para la síntesis de proteínas lácteas se calcula a partir de la PM y no a partir del N consumido, dicha eficiencia arroja valores más altos que son comparables con los hallados en los no rumiantes. Otros autores han reportado resultados similares. Así, VanWieringen et al. (2005) estimaron que la eficiencia en el uso de la PM para la síntesis de proteínas lácteas oscila entre 58,2 y 60,2% mientras que en el informe sobre ganado lechero del Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (NRC, 2001) esta eficiencia se ha estimado en 67%.

Metabolismo de las proteínas en el rumen

La proteína de los alimentos se puede fraccionar en aquella que se fermenta en el rumen (Proteína degradable en el rumen: PDR) y la que escapa a la fermentación ruminal (Proteína no degradable en el rumen: PNDR) (NRC, 2001). La PDR, a su vez, está constituida por proteínas verdaderas y una fracción variable de nitrógeno no proteico (Bach et al., 2005). El porcentaje de PDR de un alimento depende de diversos factores entre los que se destacan la solubilidad de la proteína, el adosamiento de los microorganismos a las partículas de los alimentos y a la actividad de las proteasas extracelulares de los microorganismos ruminales (Bach et al., 2005). Se ha estimado que entre el 70 y el 80% de las poblaciones microbianas del rumen son capaces de adherirse a las partículas de alimentos (Craig et al., 1987) mientras que entre el 30 y el 50% de éstas tienen actividad proteolítica (Prins et al., 1983) las cuales actúan de manera sinérgica para degradar las proteínas de los alimentos (Bach et al., 2005; Wallace et al., 1997).

Los péptidos y los aminoácidos resultantes de la proteólisis extracelular son transportados al interior de las células mi-

crobianas donde participan en diversos procesos metabólicos. Así, los péptidos pueden ser degradados hasta aminoácidos y ser incorporados en proteínas microbianas o pueden sufrir una desaminación oxidativa y una descarboxilación hasta formar ácidos grasos volátiles (AGV), dióxido de carbono (CO_2) y N-NH_3 (Tamminga 1979).

El destino de los aminoácidos depende fundamentalmente de la disponibilidad de energía para el metabolismo microbiano proveniente de carbohidratos. Si la energía disponible es suficiente los aminoácidos serán incorporados en proteína microbiana, pero si ésta es limitada dichos aminoácidos serán fermentados para suministrar la energía que les falta a los microorganismos y, en consecuencia, se producirá N-NH_3 , AGV y CO_2 (Bach et al., 2005; Hedqvist, 2004). Los carbohidratos no estructurales (CNE) juegan un papel muy importante en este equilibrio. El NRC (2002) recomienda una relación entre CNE y PDR que varía entre 3,5:1,0 y 4,0:1,0. Así, mientras menor sea la proporción de CNE en la dieta frente a la PDR, menor será la síntesis de proteína microbiana y mayor la formación de amoníaco ruminal.

El pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), que es el más utilizado en los sistemas espe-

cializados en producción de leche en Colombia, presenta una relación CNE:PDR muy baja, cercana a 1,0:1,0 (Correa, 2006; Correa et al., 2008b) lo que podría constituirse en un enorme limitante para la síntesis de proteína microbiana y, por lo tanto, la eficiencia en el uso del N para la síntesis de proteínas lácteas.

Nitrógeno ureico en la leche

La urea es la principal forma química en la que los mamíferos excretan el nitrógeno (N) producto del metabolismo de las proteínas (Wright, 1995). En los rumiantes, sin embargo, juega un papel clave en el metabolismo energético y proteico (Correa y Cuellar, 2004; Marini et al., 2006). Aunque su vía de excreción más importante es la orina ya que entre el 60 y 80% del N en la orina es urea (Burgos et al., 2005; Correa et al., sin publicar) esta también se excreta a través de la leche. En este último caso se le conoce como urea en la leche y al nitrógeno asociado a esta urea se le denomina nitrógeno ureico en leche (NUL por sus siglas en español o MUN por sus siglas en inglés) (Roseler et al., 1993). En vacas Holstein la excreción de urea por la leche corresponde a valores que oscilan entre 1,8 (Burgos et al., 2007) y el 4% de la excreción total de urea (Correa et al., sin publicar) mientras que



el NUL representa entre menos del 5% del N de la leche (Correa et al., sin publicar). En la tabla 3 se aprecian los promedios del NUL y el porcentaje de N de la leche asociado al NUL reportado para nueve plantas de acopio de leche de La Cooperativa COLANTA durante las primeras 35 semanas del año 2010.

Al igual que el contenido de proteína en la leche, el de NUL se encuentra asociado a las condiciones de producción de la zona de influencia de cada planta de acopio de leche. Es así como en las zonas de trópico bajo (Puerto Boyacá, Planeta Rica y San Onofre) predominan los valores más bajos en tanto que en las de trópico alto (San Pedro, Medellín, Armenia y Santa Rosa) predominan los valores más altos. Aparecen dos casos muy particulares que son las plantas de Yarumal y Barranquilla. Mientras que la primera, que se halla ubicada en la zona de trópico alto del norte de Antioquia, presenta valores relativamente bajos de NUL, los de la planta de Barranquilla, ubicada en trópico bajo, reportan valores altos. Esto podría estar asociado al sistema de alimentación que predomina en cada zona.

En el caso de no-rumiantes, la urea se forma en el hígado a partir de aminoácidos de la dieta cuando ésta contiene proteína en exceso o un per-

Tabla 3. Contenido de NUL y porcentaje del N total en la leche como NUL (NULNL) reportado para nueve plantas de acopio de leche de La Cooperativa COLANTA durante las primeras 35 semanas del año 2010.

PLANTA	NUL			NULNL	
San Pedro de los Milagros	15,89	a ⁴¹		3,36	A
Medellín	14,84	b		3,10	B
Armenia	14,77	b,c		2,95	C
Santa Rosa de Osos	14,13	c,d		2,95	C
Barranquilla	13,86	d,e		2,57	E
Funza	13,35	e		2,76	d
Frontino	11,09	f		2,25	f
Puerto Boyacá	10,50	f,g		1,92	g
Planeta Rica	10,50	f,g		1,97	g
Yarumal	10,36	g		2,15	f
San Onofre	6,53	h		1,22	h

fil inadecuado de aminoácidos en cuyo caso los esqueletos de carbono son oxidados para producir energía o son almacenados como grasa y glicógeno mientras que el nitrógeno amino es excretado en forma de urea. Pero también se forma a partir de las proteínas tisulares cuando el consumo diario de alimentos no logra cubrir los requerimientos del animal o durante el recambio de proteínas tisulares. En tal caso, las proteínas del cuerpo son degradadas y los esqueletos de carbono de los aminoácidos son usados para proporcionar energía, incrementando así la cantidad de nitrógeno que debe ser excretado en forma de urea (King, 2010; Cheeke y Dierenfeld, 2010). En los rumiantes, como la vaca, a estas cuatro fuentes se debe añadir el N-NH₃ proveniente del ru-

men que se forma durante la fermentación de las proteínas. Como se mencionó anteriormente, es común que los rumiantes absorban cantidades apreciables del N en forma de N-NH₃ siendo muy común que esta forma de absorción supere a la de aminoácidos y péptidos (Hungington, 1986).

Esta situación es más frecuente en animales que consumen pastos frescos con alto contenido de PDR (Annison y Bryden, 1999; Mutsvangwa et al., 1999). Dicho N-NH₃ es un compuesto tóxico que luego de ser absorbido a través de las paredes del rumen y del intestino es conducido por el sistema porta hasta el hígado en donde es transformado en urea. Trabajos recientes han demostrado, sin embargo, que una fracción del N-NH₃ absorbido a nivel intestinal es detoxificado en las células epiteliales del duodeno al ser

4. Promedios con literales diferentes son estadísticamente distintos a un $p < 0,0001$ según la prueba de Duncan.

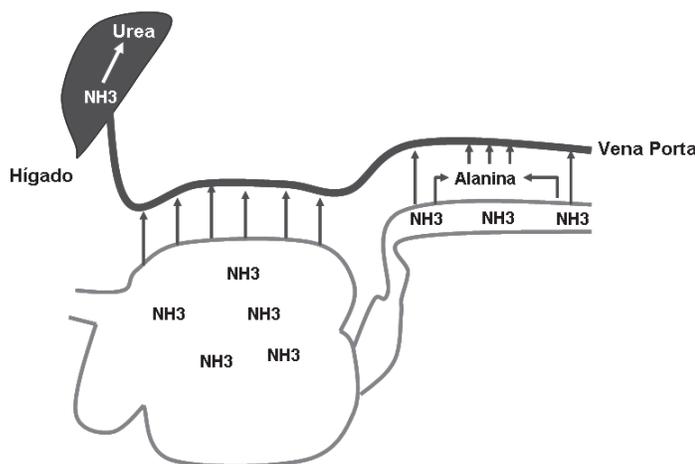


Figura 1. Destino del amoníaco formado en el rumen.

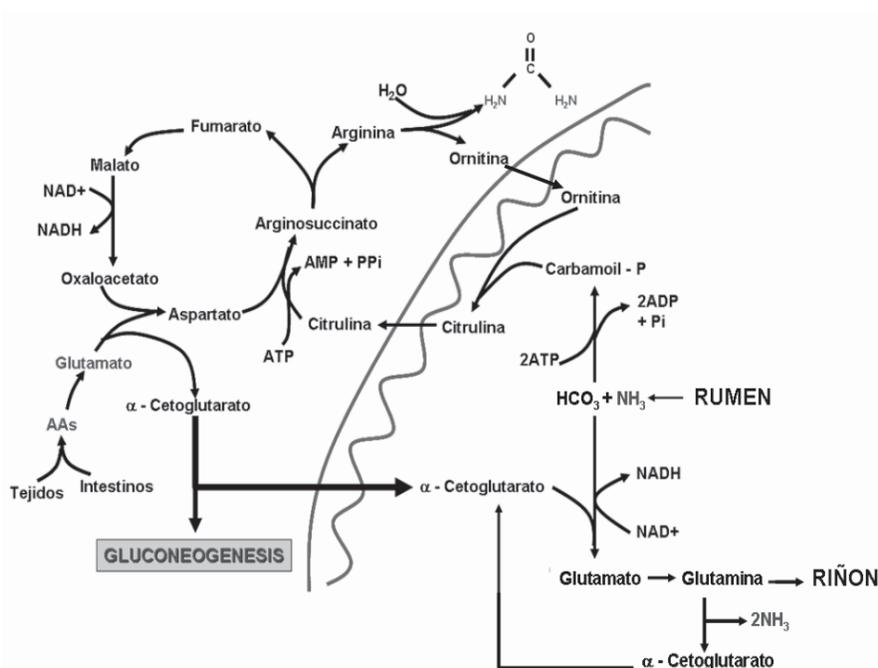


Figura 2. El ciclo de la urea y del α-cetoglutarato – glutamina (Adaptado de Correa y Cuellar, 2004).

transformado en Alanina y que el porcentaje que es detoxificado por esta vía depende de la cantidad de $N-NH_3$ y de glucosa absorbida a nivel duodenal (Oba et al., 2004; Oba et al., 2005). La detoxificación del $N-NH_3$ por esta ruta puede ser cuantitativamente tan im-

portante como la formación de urea en el hígado (Oba et al., 2005) (Figura 1).

La síntesis de la urea en el hígado a partir del $N-NH_3$ ruminal comienza con la formación del Carbamoil-P, un compuesto formado entre el $N-NH_3$ y

el ión bicarbonato con gasto energético. Posteriormente, dicho compuesto se une con la ornitina para formar la citrulina y luego ésta se une con el asparato para formar argininosuccinato. Este aminoácido se divide en fumarato y arginina la que, a su vez, se degrada formando urea y ornitina para dar comienzo a esta fase del ciclo de la urea (Nelson y Cox, 2000) (Figura 2). Cuando la cantidad de $N-NH_3$ que llega al hígado es mayor al que es posible transformar en urea, el $N-NH_3$ es ingresado a un nuevo ciclo que evita que éste salga al torrente sanguíneo: α-cetoglutarato-glutamina. En este ciclo el $N-NH_3$ es incorporado en una molécula de α-cetoglutarato para formar glutamato y luego en una segunda reacción química, el glutamato es transformado en glutamina la cual viaja hacia los riñones donde se revierten estas reacciones para liberar el amoníaco y formar el α-cetoglutarato, el cual regresa al hígado para repetir el ciclo (Correa y Cuellar, 2004; Katz, 1992) (Figura 2). La urea formada en el hígado, por su parte, es liberada a la sangre por un sistema de transporte facilitado (Stohrer et al., 2007) desde donde es excretada por la orina y la leche y, además, es reciclada hacia el rumen a través de la saliva o las paredes ruminales (Kennedy and Milligan, 1980; Reynolds y Kristensen, 2008; Stohrer et al., 2007).

Aunque la urea es una molécula pequeña, no atraviesa libremente las membranas como lo sugieren algunos autores (Jonker et al., 1999; Hossein y Ardalan, 2010; Nousiainen et al., 2004) debido a que es polar y, por lo tanto, incapaz de atravesar libremente la bicapalípídica de las células (Galluci et al., 1971). El transporte de la urea a través de las membranas y, por lo tanto, el destino que toma, depende de la acción de transportadores específicos (UT) localizados en diversos tejidos (Abdoun et al., 2010; Ludden et al., 2009, Simmons et al., 2009; Stohrer et al., 2007).

Otro mecanismo de transporte de la urea entre los tejidos se da a través de la arginina. Oba et al. (2004) demostraron que la actividad de la arginasa, la enzima que transforma la arginina en urea y ornitina, es mucho más alta en el epitelio ruminal que en el intestinal. Annison (1983) y Basch et al. (1997) habían hallado previamente la presencia de esta enzima en la glándula mamaria de vacas lactantes sugiriendo que su actividad contribuye a la formación de urea en este órgano.

Como se aprecia en la figura 2, durante la síntesis de la urea en el hígado se requieren aminoácidos para la formación del aspartato, particularmente cuando la disponibilidad del mismo se ve reducida en la sangre. Esta situación po-

dría presentarse en animales consumiendo forrajes con alto contenido de PDR y bajo contenido de CNE como lo es el pasto kikuyo (Correa et al., 2008b), lo que significa, entre otras cosas, que buena parte de los aminoácidos absorbidos en el intestino y que tienen su origen en la síntesis limitada de proteína microbiana en el rumen serían utilizados en la detoxificación del amoníaco ruminal (Correa y Cuéllar, 2004). Así, la cantidad de aminoácidos disponibles para la síntesis de proteínas de la leche se vería reducida.

Resulta bastante irónico, entonces, que praderas con alto contenido de proteína, pero sobre todo de PDR, produzcan leche con bajo contenido de proteínas pero con alto contenido de urea (Correa et al., sin publicar; Correa, 2007; González y Vázquez, 2002).

Con la discusión presentada anteriormente, sin embargo, se logra entender esta relación inversa entre el contenido de proteína en la leche y el contenido de NUL que han reportado varios autores entre los que se encuentran Cao et al. (2010) quienes analizaron 29.414 datos de cerca de 6.500 vacas ubicadas en 20 hatos lecheros en la China y establecieron que la relación entre el NUL y la proteína de la leche estaba explicada por la ecuación cuadrática $NUL(mg/$

$dL) = 24,18 - 1,42 * Proteína (%) + 0,019 * Proteína (%)^2$ ($r^2 = 0,97, p < 0,001$). Marques et al. (2006), por su parte, revisaron 7.006 datos de 855 vacas Holstein de un hato lechero del estado de Sao Paulo (Brasil) y reportaron que la relación entre el contenido de proteína en la leche y el NUL fue negativa y significativa ($NUL(mg/dL) = 19,73 - 2,09 * Proteína (%)$, $r^2 = 0,60, p < 0,0001$). Correa (2007) también encontró dicha relación ($NUL(mg/dL) = 29,11 - 4,14 * Proteína (%)$, $r^2 = 0,22, p < 0,003$) al analizar datos proveniente de varios hatos de Antioquia. Johnson y Young (2003), Ferguson et al. (1997) y Hojean et al. (2004) también reportaron una correlación negativa entre estas dos variables. Otros autores, por el contrario, han encontrado una correlación positiva entre el NUL y el contenido de proteína en la leche (Bonanno et al., 2008; Miglior et al., 2007, Salcedo, 1998; Stoop et al., 2007) o no hallaron ninguna correlación entre estas dos variables (Oudah, 2008; Roseler et al., 1993; Wood et al., 2003).

No es posible establecer con claridad las razones por las cuales la relación entre el NUL y el contenido de proteína en la leche es tan poco consistente entre los trabajos revisados. Es probable que esto se deba, entre otras cosas, a la gran variedad de factores que afectan el contenido de NUL como lo es el

origen del N-NH₃ (metabolismo tisular o ruminal de las proteínas), los cambios en la relación entre carbohidratos y proteína degradable en el rumen de la dieta, la existencia de varios mecanismos de detoxificación del amoníaco (síntesis de alanina en el epitelio intestinal, síntesis de urea y síntesis de glutamina en el hígado), a que existen varios mecanismos de transporte entre tejidos (urea, alanina y glutamina), a las diferencias en cuanto a la presencia y expresión de los transportadores de la urea en diversos tejidos y al efecto que ejercen los mecanismos de reciclaje a través de la saliva y las paredes ruminales (como arginina o como urea). Considerando la existencia de tantos factores asociados a la concentración del NUL, resulta entonces sorprendente encontrar relaciones tan altas entre el NUL y el contenido de proteína en la leche como la reportada por Cao et al. (2010) cuyo coeficiente de determinación fue 0,97.

El uso del NUL como herramienta para el mejoramiento del contenido de proteína en la leche

El NUL se ha considerado como una herramienta para hacer ajustes en la dieta del ganado lechero (Pardo et al.,

2008). Las recomendaciones que se hacen, sin embargo, se han orientado básicamente hacia los ajustes necesarios para reducir la incidencia de problemas reproductivos (Roy et al., 2011; Elrod y Butler 1993; Butler et al., 1996) o ambientales (Amorim, 2009; Burgos et al., 2007; Jonker et al., 1998; Kauffman y St-Pierre, 2001). Incluso así, algunos autores opinan que el NUL tiene limitaciones como herramienta para mejorar parámetros reproductivos en bovinos (Babashahi et al., 2004; Guo, 2004; Rehák et al., 2009) siendo más efectivo para estimar las pérdidas de N por orina (Burgos et al., 2007) o heces (Burgos et al., 2010).

La posibilidad de utilizar el NUL como una herramienta para mejorar la calidad de la leche, específicamente el contenido de proteína, es menos clara toda vez que la relación entre estas características no es consistente. Al respecto Cao et al. (2010) consideran que el NUL

y el contenido de proteína en la leche deben ser considerados simultáneamente y constituirse en una herramienta para hacer ajustes en la dieta en cuanto al contenido de energía y proteína. Roy et al. (2011), por su parte, luego de realizar una extensa revisión de literatura sobre el tema consideran que la utilidad del NUL como herramienta a nivel de hato depende de la posibilidad de hacer algunos ajustes en función de factores ambientales (estación del año, hora del día) y del animal (días en lactancia, número de partos) que afectan los valores del NUL.

No obstante, la gran variedad de factores que determinan el contenido de NUL, el análisis de los datos reportados por nueve plantas de acopio de leche de La Cooperativa COLANTA en diversas zonas del país, muestra que en ocho de ellas hay una relación inversa y negativa entre el contenido de NUL y la concentración de proteína en la leche (Tabla 4).

Tabla 4. Coeficientes de correlación entre el contenido de NUL y de proteína cruda en nueve plantas de acopio de leche de La Cooperativa COLANTA.

PLANTA	r	p
Planeta Rica	-0,75	0,0001
San Onofre	-0,75	0,0001
Santa Rosa de Osos	-0,70	0,0001
San Pedro de Los Milagros	-0,69	0,0001
Yarumal	-0,68	0,0001
Medellín	-0,62	0,0001
Frontino	-0,47	0,0040
Funza	-0,46	0,0050
Barranquilla	-0,33	0,0510
Puerto Boyacá	-0,33	0,0540
Armenia	0,29	0,0890

Sólo en la leche recolectada en la planta de Armenia, la correlación fue positiva aunque baja. Basado en este análisis y asumiendo que el NUL podría utilizarse como una herramienta para mejorar el contenido de proteína en la leche, ésta estaría restringida a aquellas zonas en donde la correlación entre estas dos variables fue significativa. Es así como, por ejemplo, en las regiones de influencia de las plantas de acopio de leche de Planeta Rica, San Onofre, Santa Rosa, San Pedro y Yarumal, habría una mayor posibilidad de mejorar el contenido de proteína en la leche haciendo ajustes necesarios en la dieta para reducir el contenido de NUL. Sin embargo, al analizar el contenido de NUL como porcentaje del N total en la leche, se puede observar que la leche recolectada en la planta de San Onofre, Planeta Rica e incluso la de Yarumal, el NUL no solo es relativamente bajo si no que, además, representa un porcentaje muy bajo del N total de la leche. Por lo tanto, en estos casos no tendría mucho sentido reducir el contenido de NUL para mejorar el contenido de proteína en la leche. Este análisis apoya la idea de Cao et al. (2010) quienes sugieren que el análisis simultáneo del NUL y la proteína en la leche es de mayor utilidad que el análisis separado de estas dos variables. Además, dicho análisis indica que es necesario que las

recomendaciones acerca del uso del NUL y del contenido de proteína en la leche se hagan de acuerdo al sistema y a las condiciones de producción que predominen en cada zona o finca en particular.

En rumiantes, las concentraciones de urea en sangre y en leche están estrechamente asociadas a los niveles de amonio en el rumen (Broderick y Clayton, 1997; Kennedy y Milligan, 1978; Pardo et al., 2008) lo que sugiere que una gran parte de la urea se origina del amonio absorbido en el tracto gastro-intestinal. Por tal razón, algunos nutricionistas han sugerido que la urea en sangre o leche puede servir como un reflejo del balance entre energía y proteína en el rumen tanto en sistemas de producción especializados (Nousiainen et al., 2004; Roseler et al., 1993) como en animales cruzados en trópico bajo (Hess et al., 1999; Pardo et al., 2008). El contenido de NUL, sin embargo, parece estar más estrechamente asociado con el contenido de proteína en la dieta que con el balance entre energía y proteína. Nousiainen et al. (2004) establecieron que el contenido de PC de la dieta fue la variable independiente que mejor predijo el NUL ($NUL_{mg/dL} = -14,2 + 0,17PC_{g/kg MS}$, $r^2=0,778$, $p<0,001$) y que la inclusión de la energía metabolizable (EM) solo incrementó el coeficiente de determina-

ción ligeramente ($NUL_{mg/dL} = 1,1 + 0,18PC_{g/kg MS} - 1,411EM_{Mj/Kg MS}$, $r^2=0.803$, $p<0.001$) sugiriendo que esta última variable tiene una menor relación con el NUL que a PC. Abreu y Petri (1998), al analizar una serie de datos provenientes del altiplano Cundiboyacence, reportaron un coeficiente de determinación más bajo que el hallado por Nousiainen et al. (2004) pero igualmente significativo al utilizar el contenido de PC en la dieta como predictor del contenido de NUL ($NUL_{mg/dL} = -5,105 + 1,01PC_{\% MS}$, $r^2=0,55$, $p<0,001$). Así las cosas, es razonable pensar que el contenido de NUL puede ser utilizado como un indicador de excesos en el contenido de PC en la dieta y, por lo tanto, una guía para hacer ajustes en la dieta. Un ejemplo sobre la manera en que se pueden interpretar los valores de NUL y que incorpora tanto los valores de NUL como de proteína en la leche es el que ofrecen Hutjens y Barmore (1995) y que se presenta en la Tabla 5.

Bibliografía

- ABDOUN, K. Et al. Modulation of urea transport across sheep rumen epithelium in vitro by SCFA and CO₂. In: Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol. Vol. 298 (2010) ; p. G190-G202.
- ABREU, A. And PETRI, H. A. Uso del MUN (Nitrógeno ureico en leche) para

Tabla 5. Interpretación de valores de NUL.

Proteína en la leche (%)	Contenido de NUL (mg/dL)		
	Bajo (<12)	Medio (12-18)	Alto (>18)
< 3.0.	Deficiencia proteica: bajo contenido de PDR y/o proteínas solubles.	Deficiencia proteica; deficiencia en CHOs degradables en rumen; deficiencia en aas.	Exceso en proteína: alto contenido de PDR y/o proteínas solubles; deficiencias en CHOs degradables en rumen; desbalance en aas.
> 3.2	Adecuado aporte de aminoácidos (aas); deficiencias en PDR y/o proteínas solubles; excesos en CHOs degradables.	Aporte balanceado de aas; aporte balanceado de CHOs degradables en rumen.	Alto contenido de PDR y/o proteínas solubles; deficiencias en CHOs degradables en rumen.

Adaptado de Hutjens y Barmore (1995).

diagnosticar balance proteína - energía en la dieta de vacas lecheras Holstein en pastoreo en el altiplano Cundiboyacense. Trabajo de grado Zootecnista. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, 1998. 134p.

AMORIN, N. Azoto Ureico no Leite (AUL/MUN), Uma ferramenta de gestão ambiental e nutricional. O caso de São Miguel. Dissertação de Mestrado em Ambiente Saúde e Segurança. Universidade Dos Açores, Departamento de Biología. 2009. 82 p.

ANNISON, E. F. Metabolite utilization by the ruminant mammary gland. *In: Biochemistry of Lactation.* Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Science Publishers B.V., 1983. P. 399-439.

ANNISON, E. F. and BRYDEN, W. L. Perspectives on ru-

minant nutrition and metabolism. II. Metabolism in ruminant tissues. *In: Nutr Res Rev.* Vol. 12 (1999) ; p. 147 – 177.

BACH, A.; CALSAMIGLIA, S. and STERN, M. D. Nitrogen Metabolism in the Rumen. *In: J. Dairy Sci.* Vol. 88 (2005). E. Suppl.P. E9–E21.

BABASHAHI, M.; GHORBANI, G. H. and RAHMANI, H.R. Relationship between blood and milk urea nitrogen and fertility in dairy cows. *In: Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources.* Vol. 8, no.3 (2004) ; p. 171 – 179.

BATTERHAM, E. S. et al. Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs: effect of dietary lysine concentration on efficiency of lysine retention. *In: British Journal of Nutrition.* Vol. 64 (1990) ; p. 81-94.

BASCH, J. J.; WICKHAM, E. D. and FARRELL junior, H.

M. Arginase in Lactating Bovine Mammary Glands: Implications in Proline Synthesis. *In: Journal of Dairy Science.* Vol. 80 (1997) ; p. 3241-3248.

BONANNO, A. et al. Relationships between dietary factors and milk urea nitrogen level in goats grazing herbaceous pasture. *In: Ital. J. Anim. Sci.* Vol. 7 (2008) ; p. 219-235.

BRODERICK, G. A. and CLAYTON, M. K. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *In: J. Dairy Sci.* Vol. 80 (1997) ; p. 2964–2971.

BURGOS, S. A.; FADEL, J. G. And DE PETERS, E. J. Prediction of ammonia emission from dairy cattle manure based on milk urea nitrogen: relation of milk urea nitrogen to urine urea nitrogen excretion. *In: J. Dairy Sci.* Vol. 90 (2007) ; p. 5499–5508.

BURGOS, S. A. et al. Prediction of ammonia emission from dairy cattle manure based on milk urea nitrogen: relation of milk urea nitrogen to ammonia emissions. *In: J. Dairy Sci.* Vol. 93, no.6 (2010) ; p. 2377-2386.

BUTLER, W. R.; CALAMAN, J. J. and BEAM, S. W. Plasma and milk urea nitrogen in relation to pregnancy rate in lactating dairy cattle. *In: J. Anim. Sci.* Vol. 74 (1996); p. 858-865.

- CAO, Z. et al. Effects of parity, days in milk, milk production and milk components on milk urea nitrogen in chinese Holstein. *In: Journal of Animal and Veterinary Advances*. Vol. 9, no.4 (2010) ; p. 688-695.
- CARO, F. y CORREA, H. J. Digestibilidad posruminal aparente de la materia seca, la proteína cruda y cuatro macrominerales en el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) cosechado a dos edades de rebrote. *In: Livestock Research for Rural Development*. Vol. 18, Article No.10. 2006.
- CHEEKE, P. R. and DIERENFELD, E. S. Comparative Animal Nutrition and Metabolism. *In: CABI Publishing*. 2010. 342 p.
- CORREA, H. J. y CUELLAR, A. E. Aspectos claves del ciclo de la urea con relación al metabolismo energético y proteico en vacas lactantes. *En: Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Vol. 17, no.1 (2004) ; p. 29-38.
- CORREA, H. J. Posibles factores nutricionales, alimenticios y metabólicos que limitan el uso del nitrógeno en la síntesis de proteínas lácteas en hatos lecheros de Antioquia. *In: Livestock Research for Rural Development*. Vol.18, no.3 (2006).
- CORREA, H. J. Producción de leche con base en pasturas: El caso de los hatos especializados en Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Doctorado en Ciencias de la Producción Animal. Seminario de Investigación. 2007. 21 p.
- CORREA, H. J.; PABÓN, M. L. y CARULLA, J. E. Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoehst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): II. Contenido de energía, consumo, producción y eficiencia nutricional. *In: Livestock Research for Rural Development*. Vol. 20, no. 4 (2008^a) . Article No.61.
- CORREA, H. J.; PABÓN, M. L. y CARULLA, J. E. Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoehst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I - Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. *In: Livestock Research for Rural Development*. Vol. 20, no. 4 (2008b). Article No.59.
- CORREA, H. J. et al. (Sin publicar). Efecto del nivel de suplementación sobre el balance y eficiencia en el uso del nitrógeno en vacas Holstein de primero y segundo tercio de lactancia bajo condiciones de pastoreo en el trópico alto de Antioquia. Doctorado en Ciencias de la Producción Animal. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
- CRAIG, W. M.; BRODERICK, G. A. and RICKER, D. B. Quantification of microorganisms associated with the particulate phase of ruminant ingesta. *In: J. Nutr.* Vol. 117 (1987) ; p. 56-62.
- ELROD, C. C. and BUTLER, W. R. Reduction of fertility and alteration of uterine pH in heifers fed excess ruminally degradable protein. *In: J. Anim. Sci.* Vol.71 (1993) ; p. 694-701.
- FENT, R. W. et al. Energy and Nitrogen Balance of Pigs Fed Four Corn Grains; Animal Science Research Report. Oklahoma Agricultural Experiment Station, Division of Agricultural Science and Natural Resources, Oklahoma State University. Paper 39. 2001.
- FERGUSON, J. D. et al. Pennsylvania DHIA milk urea testing. *In: J. Dairy Sci.* Vol. 80 Suppl. 1 (1997) ; p. 161.
- GALLUCI, E.; MICELLI, S. and LIPPE, C. Non-electrolyte permeability across thin lipid membranes. *In: Arch Int Physiol Biochim.* Vol.79 (1971) ; p. 881-887.
- GONZÁLEZ, A. and VÁSQUEZ, O. P. Milk urea content on supplemented grazing dairy cows in Galicia. FAO/CIHEAM, Interregional and Cooperative Research and Development Network for Pastures and Fodder Crop

- production. EU Technical Series (FAO). 1020-3737, no. 64. 2002. P. 251-254.
- GUO, K. Effects of milk urea nitrogen and other factors on probability of conception of dairy cows. Master of Science diss. Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park. 2004. 49 p.
- HEDQVIST, H. Metabolism of Soluble Proteins by Rumen Microorganisms and the Influence of Condensed Tannins on Nitrogen Solubility and Degradation. Doctoral diss. Dept. of Animal Nutrition and Management, SLU. In: Acta Universitatis agriculturae Suecia. Agraria. Vol. 501 (2004) . 40 p.
- HESS, D. et al. 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. En: Pasturas Tropicales. No.1 (Abr. 1999) ; p. 33-42.
- HOJMAN, D. et al. Relationships between milk urea and production, nutrition, and fertility traits in Israeli dairy herds. In: J. Dairy Sci. Vol. 87 (2004) ; p. 1001-1011.
- HOSSEIN, N. G. and ARDALAN, M. Genetic relationship between milk urea nitrogen and reproductive performance. In: Holstein Dairy Cows. Animal. (2010) ; p. 1-7.
- HUNTINGTON, G. B. Uptake and transport of nonprotein nitrogen by the ruminant gut. In: Fed. Proc. Vol. 45 (1986) ; p. 2272-2276.
- JONKER, J. S.; KOHN, R. A. and ERDMAN, R. A. Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. In: J. Dairy Sci. Vol. 81 (1998) ; p. 2681-2692.
- JONKER, J. S.; KOHN, R. A. and ERDMAN, R. A. Milk urea nitrogen target concentrations for lactating dairy cows fed according to National Research Council recommendations. In: J. Dairy Sci. Vol. 82 (1999) ; p. 1261-1273.
- JONSON, R. G. and YOUNG, A. J. The association between milk urea nitrogen and dhi production variables in western commercial dairy herds. In: J. Dairy Sci. Vol. 86 (2003) ; p. 3008-3015.
- KATZ, N. R. Metabolic heterogeneity of hepatocytes across the liver acinus. In: J. Nutr. Vol. 122 (1992) ; p. 843 - 849.
- KAUFFMAN, A. J. and ST-PIERRE, N. R. The relationship of milk urea nitrogen to urine nitrogen excretion in Holstein and Jersey cows. In: J. Dairy Sci. Vol. 84 (2001) ; p. 2284-2294.
- KENNEDY, P. M. and MILLIGAN, L. P. Transfer of urea from the blood to the rumen of sheep. In: Br. J. Nutr. Vol. 40 (1978) ; p. 49-154.
- KENNEDY P. M. and Milligan L. P. The degradation and utilization of endogenous urea in the gastrointestinal tract of ruminants – A review. Can. J. Anim. Sci. Vol. 60 (1980) ; p. 205-221.
- KING, M. W. Gluconeogenesis. Disponible en Internet <http://themedicalbiochemistrypage.org/gluconeogenesis.html>. 2010.
- KOHN, R. A.; DINNEEN, M. M. and RUSSEK-COHEN, E. Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goats, horses, pigs, and rats. In: J. Anim. Sci. Vol. 83 (2005); p. 879-889.
- LAPIERRE, H. et al. The route of absorbed nitrogen into milk protein. In: Animal Science. Vol. 80 (2005) ; p. 11 - 22.
- LEÓN, J. M. et al. Balance de nitrógeno y fósforo de vacas lecheras en pastoreo con diferentes ofertas de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) suplementadas con ensilaje de avena (*Avena sativa*). En: Rev Colomb Cienc Pec. Vol. 21 (2007) ; p. 559-570.
- LUDEN, P.A. et al. Effect of protein supplementation on expression and distribution of urea transporter-B in lambs fed low-quality forage. In: J. Anim Sci. Vol. 87 (2009) ; p. 1354-1365.
- MARINI, J. C.; SANDS, J. M. and VAN AMBURGH, M. E. Urea transporters and urea



- recycling in ruminants. *In*: Ruminant Physiology. Digestion, Metabolism and Impact on Gene Expression, Immunology and Stress. K. Sejrsen, T. Hvelplund, and M. O. Nielsen, ed. Wageningen Acad. Publ., Wageningen, the Netherlands. 2006. P. 155-172.
- MARQUES, P. et al. Fatores não-nutricionais e concentração de nitrogênio uréico no leite de vacas da raça Holandesa. *En*: R. Bras. Zootec. Vol. 35, no.3 Supl. (2006) ; p. 1114-1121.
- MARTÍNEZ, H. J. y GONZÁLEZ, F. A. La cadena de lácteos en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica: 1991 – 2005. Consejo Nacional Lácteo: Documento de Trabajo No. 98. Bogotá: Consejo Nacional Lácteo, 2005. 39 p.
- MEJÍA, D. y VARGAS, E. Efecto de diferentes regímenes de alimentación en vacas Holstein lactantes sobre el flujo de proteína microbiana al duodeno. Trabajo de grado de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2004. 31 p.
- MIGLIOR, F. et al. Genetic analysis of milk urea nitrogen and lactose and their relationships with other production traits in Canadian Holstein cattle. *In*: J Dairy Sci. Vol. 90 (2007) ; p. 2468-2479.
- MONSALVE, F. Comparación de dos métodos para estimar la digestibilidad posruminal de la proteína cruda del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Trabajo de grado de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2004. 18 p.
- MUTSVANGWA, T.; BUCHANAN-SMITH, J. G. and McBRIDE, B. W. Effects of in vitro addition of ammonia on the metabolism of 15N-labelled amino acids in isolated sheep hepatocytes. *In*: Can J Anim Sci. Vol. 79 (1999) ; p. 321-326.
- NATIONAL DAIRY COUNCIL. Emerging health benefits of dairy proteins. *In*: The Dairy Council Digest. Vol. 77, no.4 (2006) ; p. 19-24.
- NELSON, D. and COX, M. Lehninger principles of biochemistry. 3 ed. New York: Worth Publishers, 2000. 1152 p.
- NOUSIAINEN, J.; SHINGFIELD, K. J. and HUHTANEN, P. Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding. *In*: J. Dairy Sci. Vol. 87 (2004) ; p. 386-398.
- OBA, M. et al. Urea synthesis by ruminal epithelial and duodenal mucosal cells from growing sheep. *In*: J. Dairy Sci. Vol. 87 (2004) ; p. 1803-1805.
- OBA, M. et al. Metabolic fates of ammonia-n in ruminal epithelial and duodenal mucosal cells isolated from growing sheep. *In*: J. Dairy Sci. Vol. 88 (2005) ; p. 3963-3970.
- OUDAH, E. Z. M. Phenotypic relationships among somatic cell count, milk urea content, test-day milk yield and protein percent in dairy cattle. *In*: Livestock Research for Rural Development. Vol.20, no.8 (2008) .
- PARDO, O.; CARULLA, J. E. y HESS, H. Efecto de la relación proteína y energía sobre los niveles de amonio ruminal y nitrógeno ureico en sangre y leche, de vacas doble propósito en el pie de monte llanero, Colombia. *En*: Rev. Col. Cienc. Pec. Vol. 21 (2008) ; p. 387-397.
- PETRI, A. et al. Optimizing broiler nutrition with the ideal protein concept. AFMA FORUM, South Africa. 2004.
- PRINS, R. A., van Rheenen D. L. and van Klooster A. T. Characterization of microbial proteolytic enzymes in the rumen. *In*: A. van Leeuwenhoek. Vol. 49 (1983) ; p. 585-595.
- PEHÁK, D. et al. *In*: J. Anim. Sci.. Vol. 54, no.5 (2009) ; p. 193-200.
- RESEARCH COUNCIL NRC. The nutrient requirement of dairy cattle. 7 ed. Washington: National Academy Press, 2001. 381 p.
- REYNOLDS, C. K.; HARMON,

- D. L. and CECAVA, M. J. Absorption and delivery of nutrients for milk protein synthesis by portal drained viscera. *In: J Dairy Sci.* Vol. 77 (1994) ; p. 2787 – 2808.
- REYNOLDS, C. K. and KRISTENSEN, N. B. Nitrogen recycling through the gut and the nitrogen economy of ruminants: An asynchronous symbiosis. *In: J. Anim. Sci.* Vol. 86E. Suppl. (2008) ; p. E293–E305.
- ROSELER, D. K. et al. 1993. Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in holstein cows. *In: J Dairy Sci* Vol. 76 (1993) ; p. 525-534.
- ROY, B. et al. Evaluation of milk urea concentration as useful indicator for dairy herd management: a review. *Asian. In: Journal of Animal and Veterinary Advances.* Vol. 6, no.1 (2010) ; p. 1-19.
- SALCEDO, G. Efectos del tipo de proteína suplementada a vacas lecheras consumiendo ensilados de hierba de alta degradabilidad. *Invest. Agr. In: Prod. Sanid. Anim.* Vol.13 (1998) ; p. 55-67.
- SIMMONS, N. L. et al. Dietary regulation of ruminal bUT-B urea transporter expression and localization. *In: J Anim Sci.* Vol. 87, no.10 (2009) ; p. 3288-3299.
- STOHRER, R. M. et al. Expression and distribution of urea transporter-b in lambs fed increasing dietary protein. *In: Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science.* Vol. 58 (2007) ; p. 47-50.
- STOOP, W. M.; BOVENHUIS, H. and VAN ARENDONK, J. A. M. Genetic parameters for milk urea nitrogen in relation to milk production traits. *In: J. Dairy Sci.* Vol. 90 (2007) ; p. 1981–1986.
- SUKKAR, S. G. and G. BOUNOUS. The role of whey protein in antioxidant defence. *In: Rivista Italiana di Nutrizione Parenterale ed Enterale.* Vol. 22, no. 4 (2004) ; p. 193-200.
- TAMMINGA, S. Protein degradation in the forestomachs of ruminants. *In: J. Anim. Sci.* Vol.49 (1979) ; p. 1615–1630.
- VAN SAUNT, R. The Dark Side of Rumen Metabolism. *In: Student American Veterinary Medical Association (SAVMA) Symposium.* Washington: State University, 1999. 8 p.
- VAN WIERINGEN, L.M. et al. Manure management effects on grass production, nutritive content, and soil nitrogen for a grass silage-based dairy farm. *In: Journal of Environment Quality.* Vol. 34 (2005) ; p. 164–173.
- VERDIER-METZ, I.; COULONB, J-B. and PRADELEC, P. Relationship between milk fat and protein contents and cheese yield. *In: Anim. Res.* Vol.50 (2001) ; p. 365–371.
- WALLACE, R. J.; ONODERA, R. and COTTA, M. A. Metabolism of nitrogen-containing compounds. Pages 283–328 in *The Rumen Microbial Ecosystem.* 2nd ed. P. N. Hobson and C. S. Stewart, ed. Chapman & Hall, London, UK. 1997.
- WOOD, G. M. et al. Estimation of genetic parameters for concentrations of milk urea nitrogen. *In: J. Dairy Sci.* Vol. 86 (2003) ; p. 2462–2469.
- WRIGHT, P. A. Nitrogen excretion: three end products, many physiological roles. *In: The Journal of Experimental Biology.* Vol.198 (1995) ; p. 273–281.

