

Simulación del metabolismo del nitrógeno en vacas lactantes

Héctor J Correa, Zoot, MSc¹.

¹Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Departamento de Producción Animal.
hjcc_unal@hotmail.com

(Recibido: 13 febrero, 2003; aceptado: 15 agosto, 2003)

Resumen

Con la finalidad de simular algunos parámetros del metabolismo del nitrógeno en vacas lactantes se revisaron trabajos de investigación en los que aparecen publicados datos de las variables dependientes e independientes asumidas para el modelo. Se consideraron como variables independientes aquellas que pudiesen ser obtenidas en campo sin que exigiesen metodologías costosas y complicadas: producción de leche (PL), proteína cruda en la dieta (PCd), proteína cruda en la leche (PCI) y nitrógeno ureico en leche (NUL). Las dependientes fueron: Eficiencia en el uso del nitrógeno dietario para la producción de proteínas lácteas (Efic), proteína verdadera en leche (Pverd), nitrógeno no proteico en leche (NNPI), nitrógeno absorbido (Nabs), nitrógeno retenido (Nret), y nitrógeno urinario (Nuri). Aritméticamente y teniendo en cuenta el contenido de materia seca y proteína cruda tanto del forraje como del suplemento concentrado, se calculó el nitrógeno excretado en heces (Nexcr), el nitrógeno consumido (Ncons), la materia seca consumida total (MSCtotal), la materia seca consumida desde el suplemento (MSconc), la materia seca consumida desde el forraje (MSforr), y la materia verde consumida del forraje (MVforr). Para este fin se utilizaron 29 datos provenientes de seis trabajos publicados en revistas científicas de amplia circulación. Se analizaron ecuaciones de predicción lineal múltiple con el programa SAS para Efic, Pverd, Nabs, Nret y Nuri.

Palabras clave: balance de nitrógeno, eficiencia nutricional, modelos matemáticos.

Introducción

Durante las décadas que le han seguido a la segunda guerra mundial, la producción agropecuaria se ha hecho cada vez más especializada resultando en la aparición de grandes unidades ganaderas sobre pequeñas áreas. Uno de los factores que más ha contribuido a esta especialización, ha sido la producción a gran escala de fertilizantes nitrogenados de bajo costo (15). A esta situación no han escapado los sistemas de producción de leche en Colombia en los que el uso intensivo de fertilizantes nitrogenados es común. La popularidad en el uso de esta tecnología se debe a que permite por un lado, incrementar la producción de forraje y por lo tanto, la carga animal y, por el otro, cosechar los forrajes a edades más tempranas, ofreciendo beneficios en la calidad nutricional de los mismos, como el incremento en su digestibilidad (31).

El uso indiscriminado de esta tecnología, sin embargo, ha contribuido a la aparición de problemas metabólicos, reproductivos y productivos en las vacas (12), que se suman al incremento en el impacto negativo sobre el ambiente debido al uso menos eficiente del nitrógeno (N) de los forrajes (2, 3). Por estas razones el N se ha convertido en el nutriente que más atención ha recibido en los últimos años en los países en los que los sistemas intensivos de producción de leche son los que predominan (25, 33, 37) hasta el punto en que se ha convertido en una de las temáticas prioritarias para la investigación en nutrición y la fisiología del ganado lechero (28).

La producción de leche bovina en nuestro país se sustenta predominantemente en sistemas de producción bajo pastoreo (5) en donde la lechería especializada responde por más de la mitad de la producción total de leche (29) y esta basada en el uso de forrajes que como el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), son

Tabla 1. Características de los datos utilizados en la elaboración del modelo.

Variable ¹	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar, \pm	Coefficiente de variación, %
PL, kg/vaca/día	27.68	43.68	17.9	6.821	24.64
PCI, %	3.175	3.67	2.78	0.213	6.71
PCd, %	15.82	24.59	9.577	3.829	24.2
CMS, kg/vaca/día	19.2	24.9	15	2.43	12.7
Ncons, gr/vaca/día	492.4	803	270	156.9	31.87
Nexc, gr/vaca/día	182.4	282	114	41.35	22.67
Nabs, gr/vaca/día	310	545	141	125	40.31
Nuri, gr/vaca/día	162.3	331	42	87.01	53.61
Nret, gr/vaca/día	14.42	75	-27	23.98	166.3
Nleche, gr/vaca/día	133	218	93	36.03	27.14
Efic, %	27.84	36.03	17.74	4.811	17.28

¹PL = producción de leche; PCI = proteína cruda en leche; PCd = proteína cruda en la dieta; CMS = consumo de materia seca; Ncons = nitrógeno consumido; Nexc = nitrógeno excretado por heces; Nabs = nitrógeno absorbido; Nuri; nitrógeno urinario; Nret = nitrógeno retenido; Nleche = nitrógeno en leche; Efic = eficiencia en el uso del nitrógeno dietario para la formación de proteínas lácteas.

Resultados

En la figura 1 se presenta el diagrama de bloques que incluye las variables independientes y dependientes así como las interacciones que se establecieron entre estas. La Efic se constituyó en el punto de partida del modelo y fue estimada mediante una ecuación de regresión lineal múltiple a partir del contenido de PCd, la PL y la PCI. El contenido de PCd fue calculado aritméticamente teniendo en cuenta el contenido de materia seca del forraje (MSforr) y del suplemento alimenticio (MSconc) (identificados en el modelo como Alimento 1 y Alimento 2, respectivamente) así como del contenido de proteína cruda (PC) de los mismos.

A partir del valor estimado de la Efic y utilizando el Nleche, se calculó aritméticamente el Ncons y este, a su vez, fue utilizado para calcular el consumo de materia seca (CMS) mediante la relación aritmética entre el N ingerido (NI) y la PCd. El Ncons también fue utilizado para estimar el Nabs por una ecuación de regresión lineal, el que, a su vez, fue utilizado en la estimación del Nret a través de una ecuación lineal múltiple en la que también participó como variable independiente, el Nuri. Este último fue igualmente estimado por regresión a partir del Ncons y la PCd. El Nexc, se calculó aritméticamente como la diferencia entre el Ncons y el Nabs. Finalmente, el contenido de proteína verdadera de la leche (Pverd) se estimó a partir del

nitrógeno uréico en la leche (NUL) de acuerdo a las proporciones previamente establecidas (7).

Las características de los datos utilizados para la elaboración del modelo se presentan en la tabla 1 mientras que las relaciones porcentuales entre los componentes del balance de N, teniendo al Ncons como valor de referencia (100%), se presentan en la tabla 2. En ambas tablas se puede apreciar que el Nret es la variable de mayor variabilidad y que puede representar hasta el 15.5% del Ncons o ser eliminado en un valor tan alto como el 8.7% del Ncons. El uso del nitrógeno dietario para la formación de proteínas lácteas como porcentaje del Ncons (Efic), presentó una variación que abarcó valores bajos de 17.7% hasta valores altos de 36.6% y cuya variación fue mejor explicada por la PCd, la PL y la PCI (véase Tabla 3). Como se puede observar en las pendientes de la ecuación y como habría de esperarse, la Efic presenta una relación negativa con la PCd (-1.096) pero una relación positiva con la PL (0.215) y la PCI (4.692). De esta manera, mientras mayor sea el contenido de PCd menor va a ser la Efic. Al contrario, mientras mayor sea la PL y mayor el contenido de PCI, mayor va a ser la Efic. Se observó una relación negativa entre el contenido de NUL y la Pverd que manifiesta el aporte que hace el NUL a los componentes nitrogenados de la leche.

Tabla 2. Relaciones porcentuales entre los componentes del balance de N teniendo al Ncons como valor de referencia (100%).

Variable	Relaciones porcentuales entre los componentes del balance de N				
	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar, \pm	Coefficiente de variación
Nexc	38.6	55.6	25.7	7.24	18.8
Nabs	61.4	74.3	44.4	7.24	11.8
Nuri	30.9	49.8	15	8.49	27.5
Nret	2.59	15.5	-8.7	5.43	209
Nleche	27.8	36.6	17.7	4.81	17.3

Discusión

Los valores de PL, PCI, PCd y CMS que se presentan en la tabla 1 se encontraron dentro de valores normalmente reportados para estas variables (7, 22, 32) abarcando rangos lo suficientemente amplios para permitir que el modelo pueda ser utilizado en múltiples situaciones. El rango de valores de las variables que conforman el balance de N son igualmente amplios, donde el Nret se constituyó en la variable con mayor variabilidad en tanto que el Nexc, fue la de menor variabilidad. El rango de valores en el que osciló el Nret demuestra la importancia de incluir esta variable en la modelación del metabolismo del N en vacas lactantes, que es una de las deficiencias que presenta el modelo de Jonker *et al* (19).

La relación negativa entre los altos contenidos de PCd y la baja Efic, ha sido reportado (1.4) en un hato lechero del oriente del departamento de Antioquia en el que los niveles de producción de leche variaron entre 6.3 y 16.3 kg de leche/vaca/día, el contenido de N en la dieta fue superior a 19.0% y el contenido de PCI osciló entre 2.2 y 2.8%. En estas condiciones, la Efic osciló entre 8.96% y 23.18%, con un valor promedio de 14.84%. En este mismo trabajo, se pudo observar que la Efic varió lineal y positivamente con la PL.

Normalmente, la Pverd representa entre 95 y 97% de la PCI. La diferencia está constituida por compuestos nitrogenados no proteicos tales como urea amonio, creatinina, creatina, ácido úrico, ácido orótico, ácido hipúrico, aminoácidos y otros compuestos menores (13). La formación de urea y por tanto, su concentración en la leche y su aporte a la proteína cruda de esta, varía en función de diversos factores entre los que más se ha estudiado han sido los factores dietarios, particularmente el contenido de proteína degradable

en rumen (PDR) y su relación con los carbohidratos no estructurales (CNE) de la ración (7). Aunque en el modelo la Pverd se estimó a partir del NUL, la inclusión de otras variables tales como la relación PDR : CNE en la dieta, podrían mejorar la estimación de este parámetro por lo que se hace necesario considerarlos en futuras investigaciones sobre el tema.

El Nabs en la base de datos utilizada para la generación del modelo, se calculó como la diferencia entre el Ncons y el Nexc, de tal manera que se trata de un valor aparente. Para el modelo, por el contrario, se estableció la relación inversa, es decir que el Nexc se calculó como la diferencia entre el Ncons calculado y el Nabs estimado por regresión. Recientemente Kebreab *et al* (21) reportaron una relación positiva entre la cantidad de Ncons y el Nexc que es equivalente a la relación negativa entre el Ncons y el Nabs hallado en el presente trabajo (véase Tabla 3). El Nuri, por su parte presentó una relación positiva tanto con la PCd como con el Ncons, relaciones que son de esperarse si se considera la relación inversa entre la PCd y la Efic, con lo que se podría predecir que en la medida en que la PCd sea incrementada, una menor proporción del Ncons hará parte de la PCI y, por ende, se eliminará por orina o se retendrá en los tejidos. La retención del N de la ración, sin embargo, tiene una relación negativa con el Nleche y el Nuri, pero positiva con el Nabs.

En general, el coeficiente de determinación de las ecuaciones desarrolladas para el modelo, fue alto y, dado que abarcan un rango de valores relativamente amplio, es de esperarse que este modelo permita hacer predicciones adecuadas de los parámetros involucrados. La elaboración de modelos de simulación, como el presentado, tienen aplicabilidad tanto en el campo de la investigación, como en el campo de la producción

Tabla 3. Ecuaciones de regresión y relaciones aritméticas entre las variables que conforman el modelo

Variable dependiente	Ecuación de predicción	R ²	P
Efic, %	$24.017 + 0.215 \cdot PL - 1.096 \cdot PCd + 4.692 \cdot PCI$	0.84	1E-04
Pverd, % de la PCI	$(0.969 - 0.002 \cdot NUL) \cdot Nleche^1$	0.94	0.01
Nabs, gr/vaca/día	$-81.712 + 0.803 \cdot Ncons^2$	0.95	1E-04
Nuri, gr/vaca/día	$-160.793 + 8.091 \cdot PCd + 0.404 \cdot Ncons$	0.95	1E-04
Nret, gr/vaca/día	$-1.3 + 1.004 \cdot Nabs - 1.003 \cdot Nuri - 0.99 \cdot Nleche$	0.99	1E-04
Ncons, gr/vaca/día	$Nleche \cdot 100/Efic$		
Nexc, gr/vaca/día	$Ncons - Nabs$		
MSCtotal ³ , kg/vaca/día	$(Ncons \cdot 6.25/1000) \cdot 100/PCd$		
MSconc, kg/vaca/día	Kg de Concentrado consumido \cdot MSconc		
MSforr, kg/vaca/día	$MSCtotal - MSconc$		
MVforr, kg/vaca/día	$MSforr \cdot 100/Materia\ seca\ del\ forraje$		

¹ Nleche = $PCI \cdot PL/100$

² Ncons = nitrógeno consumido = $Nleche \cdot 100/Efic$

³ MSCtotal = materia seca consumida total

MSconc = materia seca consumida a partir del alimento concentrado

MSforr = materia seca consumida a partir del forraje

MVforr = materia verde consumida a partir del forraje

y en el de la planificación en el uso de los recursos nutricionales y su impacto sobre el ambiente (19).

En el campo de la investigación, el modelo puede hacer aproximaciones sobre el balance de nitrógeno cuando las condiciones de alimentación y de producción láctea se conocen. Sin embargo, al tratarse de un modelo empírico, éste tiene aplicabilidad a aquellas condiciones en las que los valores obtenidos no sobrepasan el rango de los valores con los que el modelo fue desarrollado (8). Baldwin (8) define un modelo empírico como aquel que es establecido con base en datos experimentales que describen las relaciones entre dos o más variables. Él enfatiza en que este tipo de modelos no implica la existencia de una base biológica subyacente para explicar la relación entre las variables, de tal manera que esta clase de modelos no se puede aplicar con confianza fuera del rango de valores para las variables independientes en las que estas fueron determinadas.

Al igual que el modelo de Jonker *et al* (19), el modelo presentado aquí puede ser utilizado en trabajos de investigación que requieran la estimación de la ingestión de proteína y del consumo de materia seca de la pastura. La precisión con la que el modelo realice las estimaciones de estos parámetros dependerá principalmente de la rigurosidad con la que se tomen las muestras de los alimentos que conforman la ración de los animales de tal manera que se haga un buen estimado del contenido de MS y PC de estos alimentos y que estas muestras sean representativas de lo que el animal consume tanto en sistemas de producción bajo

estabulación como en sistemas de producción bajo pastoreo.

En campo el modelo puede ser utilizado para obtener estimativos de la calidad de la dieta que se suministra a los animales y hacer ajustes en la misma. Valores de Efic demasiado bajos puede ser consecuencia de desequilibrios en la relación CNE : PDR en la dieta cuyo origen puede estar en excesos de PDR de la dieta acompañada con deficiencias en CNE (35). Cuando esto sucede se pueden tomar correctivos a estas condiciones reformulando las condiciones del sistema de alimentación y evaluando el efecto de estas modificaciones sobre la Efic y los demás parámetros que estima el modelo. También se pueden hacer estimativos en el CMS que podrían ser utilizados para la evaluación del programa de alimentación utilizando programas tales como el desarrollado por el National Research Council de los Estados Unidos para Ganado lechero (30).

Finalmente, el modelo puede ser utilizado para estimar la cantidad de N excretado por heces y orina y de esta manera, la contribución que hacen estos desechos al ambiente permitiendo planear el N adicional que sería necesario aplicar a los suelos a partir de fertilizantes nitrogenados (16, 23). Es de resaltar, por último, que el modelo se ha desarrollado a partir de datos originados en las condiciones que prevalecen en las zonas templadas por lo tanto su validez en otras condiciones, tales como las que prevalecen en zonas tropicales, dependerá de su validación a partir de trabajos en los que se establezcan

todas las variables que hacen parte del modelo. Como proceso metodológico, el modelo es válido para cualquier condición, sin embargo, en la medida en la que los datos con los que se desarrollen las ecuaciones que lo conforman sean obtenidos bajo las condiciones que prevalecen en el trópico, el modelo incrementará su relevancia. Aunque el modelo se desarrolló en base al contenido de PCd, el fraccionamiento de esta

proteína en la fracción degradable en rumen y aquella que escapa a la degradación ruminal, así como la determinación del contenido de CNE de los alimentos que conforman la ración, seguramente mejorarán la capacidad de estimación de este debido a las implicaciones que tienen dichos parámetros de la calidad nutricional de los alimentos sobre el metabolismo del N en rumiantes (35).

Summary

Nitrogen Metabolism simulation in lactating cows

To simulate some parameters of the nitrogen metabolism in lactating cows, some research articles about the independent and dependent variables included in the assumed model, were reviewed. Independent variables that can be measured in situ without expensive and complicated diagnosis methods, were considered: milk yield (PL), diet crude protein (PCd), milk crude protein (PCI) and milk ureic nitrogen (NUL). The dependent variables were: efficiency of nitrogen utilization to milk protein production (Efic), milk true protein (Pverd), milk non protein nitrogen (NNPI), absorbed nitrogen (Nabs), retained nitrogen (Nret), and urinary nitrogen (Nuri). Based on dry matter and crude protein contained in forage and also in concentrate supplement, the nitrogen excreted in feces (Nexcr), the nitrogen intake (Ncons), the total dry matter intake (MSCtotal), the dry matter intake from supplement (MScons), the dry matter intake from forage (MSforr), and the wet matter intake from forage (MVforr) were arithmetically calculated. To obtain this results, 29 values from six research articles published in scientific journals were used and lineal multiple equations were analysed with SAS software to Efic, Pverd, Nabs, Nret and Nuri.

Key words: *mathematic models, nitrogen balance, nutritional efficiency.*

Referencias

1. Alcaráz C, Alviar, D. Evaluación del modelo MUN para la predicción del consumo de materia seca en vacas Holstein lactantes. Trabajo de grado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, 2001. 57p
2. Alcaráz C, Alviar D, Correa H. Eficiencia en el uso de nitrógeno en vacas lactantes en un ható lechero del oriente antioqueño. Rev Col Cienc Pec 2001; 14 - Suplemento: 34.
3. Alcaráz C, Alviar D, Correa H. Excreción de nitrógeno por orina en vacas lactantes de un ható lechero del oriente antioqueño. Rev Col Cienc Pec 2001; 14 – Suplemento: 33.
4. Alcaráz C, Alviar D, Correa H. Evaluación del modelo MUN para la estimación del consumo de materia seca (CMS) en vacas lactantes. Rev Col Cienc Pec 2001; 14 – Suplemento: 33.
5. Aldana C. Productividad y rentabilidad en sistemas de producción bovina en Colombia. Coyunt Agrop 1990; 7:81-103.
6. Atkinson D, Watson C. The environmental impact of intensive systems of animal production in the lowlands. Anim Sci 1996; 63:353-361.
7. Baker L, Ferguson D, Chalupa W. Responses in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. J Dairy Sci 1995; 78:2424-2434.
8. Baldwin, R. Integration of computer technology into research. En: Computer applications in animal agriculture workshop. NDD - Advanced Computer Applications in Animal Agriculture: Proceedings of the conference University of Maryland 1992. http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/Agrenv/ndd/aca/a/I N T E G R A T I O N _ O F _ C O M P U T E R _ R E S E A R C H . h t m

9. Camell S, Sutton J, Beever DE, Humphries DJ, Phillipps, RH. The effect of crop maturity on the nutritional value of maize silage for lactating dairy cows. 1. Energy and nitrogen utilization. *Anim Sci* 2000; 71:381-390.
10. Carulla J. Efectos de la fertilización nitrogenada sobre la proteína del forraje. En: Cooperativa Lechera de Antioquia (eds), Simposio Internacional sobre la Proteína en la Leche. Medellín, 1999a;4p.
11. Carulla J. De la proteína del forraje a la proteína en la leche. Metabolismo del nitrógeno del forraje en la vaca lechera. . En: Cooperativa Lechera de Antioquia (eds), Simposio Internacional sobre la Proteína en la Leche. Medellín, 1999a; 9p.
12. Correa HJ, Cuellar AE. Aspectos claves del ciclo de la urea con relación al metabolismo energético y proteico en vacas lactantes. Monografía, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, 2001. 18p.
13. DePeters EJ, Ferguson JD. Nonprotein Nitrogen and Protein Distribution in the Milk of Cows. *J Dairy Sci* 1992;75:3192-3209.
14. France J, Kebreab E. Modelling of Nitrogen and Phosphorus Utilisation in Dairy Cows. Monografía, Reading University, 2001. <http://www.agric.rdg.ac.uk/Research/Biomaths/NP.htm>
15. Grieve DG, Wheeler EE, Yu Y, McCleod GK. Effects of dry or ensiled feeds and protein per cent on milk production and nitrogen utilization by lactating cows. *J Dairy Sci* 1980; 63:1282-1290.
16. Hart J M, Marx ES, Christensen NW, Moore JA. Nutrient management strategies. *J. Dairy Sci.* 1997; 80:2659-2666.
17. Heitschmidt, R K, Short RE, Gings EE. Ecosystems, sustainability, and animal agriculture. *J Anim Sci* 1996; 74:1395-1405.
18. Jarvis, SC, Wilkins RJ, Pain BF. Opportunities for reducing the environmental impact of dairy farming managements: a systems approach. *Grass Forg Sci* 1996; 51:21-31.
19. Jonker JS, Kohn RA, Erdman RA. Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 1998; 81:2681-2692.
20. Kalscheur KF, Vandersall JH, Erdman RA, Kohn RA, Russek-Cohen E. Effects of dietary crude protein concentration and degradability on milk production responses of early, mid, and late lactation dairy cows. *J Dairy Sci* 1999; 82:545-554.
21. Kebreab E, Allison R, Mansbridge R, Beever DE, France J. Linear models of nitrogen utilization in dairy cows. En: McNamara JP, France J, Beever DE (eds). Modelling nutrient utilization in farms animals. Wallingford, UK, CBIInternational, 2000. ; 347-352.
22. Kebreab E, Castillo AR, Beever DE, Humphries DJ, France J. Effects of management practices prior and during ensiling and concentrate type on nitrogen utilization in dairy cows. *J Dairy Sci* 2000; 83:1274-1285.
23. Kertz A F. Variability in delivery of nutrients to lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 1998; 81:3075-3084.
24. King KJ, Huber JT, Sadik M, Bergen WG, Grant AL, King VL. In fluence of dietary protein sources on the amino acid profiles available for digestion and metabolism in lactating cows. *J. Dairy Sci* 1990; 73:3208-3216.
25. Knowlton KF. Environmental implications of nutrition and feeding management. Monografía, Department of Dairy Science, Virginia Tech, 1998. <http://www.dasc.vt.edu/nutritioncc/knowlton98.pdf> 9p.
26. Kohn RA, Boston RC, Ferguson JD, Chalupa W. The integration and comparison of dairy cows models. En: Danfær A, Lescoat P (eds). Proceedings of Ivth International workshop on modelling nutrient utilisation in farm animals, Research Centre Foulum, Denmark, National Institute of Animal Science, 1995;117-128.
27. Meyer D. Dairying and the environment. *J Dairy Sci* 2000; 83:1419-1427.
28. Milligan LP, Journet M, Maeg WJ. Future areas of research and expected advances in the nutrition of herbivores. En: Journet M, Grenet E, Farce M-H, Thériez M, Demarquilly C (eds.). Recent developments in the Nutrition of Herbivores, Proceedings of the Ivth International Symposium on the Nutrition Herbivores, Paris, INRA Editions, 1995; 587-610.
29. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. Acuerdo de Competitividad de la Cadena Láctea Colombiana. Bogotá, 1999. 96p.
30. National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev Ad Nat Acad Sci, Washington, D.C 2001. 381p.

31. Robinson PH, Viera DM, Ivan M. Influence of supplemental protein quality on rumen fermentation, rumen microbial yield, forestomach digestion, and intestinal amino acid flow in late lactation holstein cow. *J Anim Sci* 1998; 78:95-105.
32. Rodríguez LA, Stallings CC, Herbein JH, McGuilliard ML. Effect of degradability of dietary protein and fat on ruminal, blood, and milk components of Jersey and Holstein cows. *J Dairy Sci* 1997; 80:353-366.
33. Rotz CA, Satter LD, Mertens DR, Muck RE. Feeding strategy, nitrogen cycling, and profitability of dairy farms. *J Dairy Sci* 1999; 82:2841-2855.
34. SAS/STAT User's Guide: Statistics, Version 6, 4th edition. 1989. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
35. Stokes, S. Balancing carbohydrates for optimal rumen function and animal health. Monografía, Alberta University, Alberta, 1996. <http://www.afns.ualberta.ca/wcds/wcd97/ch06-97.htm>
36. van Milgen J, Boston R, Kohn R, Ferguson J. Comparison of available software for dynamic modeling. *Ann Zootech* 1996; 45 (Suppl):257-273.
37. Vérité R, Delaby L. Relation between nutrition, performances and nitrogen excretion in dairy cows. *Ann Zootech* 2000; 49:217-230.
38. Wilkerson VA, Glenn BP, McLeod KR. Energy and Nitrogen Balance in Lactating Cows Fed Diets Containing Dry or High Moisture Corn in Either Rolled or Ground Form. *J Dairy Sci* 1997; 80:2487-2496.
39. Wright TC, Moscardini S, Luimes PH, Susmel P, McBride BW. Effects of Rumen-Undegradable Protein and Feed Intake on Nitrogen Balance and Milk Protein Production in Dairy Cows. *J Dairy Sci* 1998; 81:784-793.