



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Análisis multilaterales de la dieta suministrada a vacas lecheras en el trópico alto de Nariño

Gema Lucía Zambrano Burbano

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Palmira, Colombia
2019

Análisis multilaterales de la dieta suministrada a vacas lecheras en el trópico alto de Nariño

Gema Lucía Zambrano Burbano

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Doctor en Ciencias Agrarias:

Director:
D. Sc. Rómulo Campos Gaona

Línea de Investigación:
Producción Animal Tropical
Grupo de Investigación:
Hartón del Valle

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Palmira, Colombia

2019



(Dedicatoria o lema)

Quien ha sido el mejor compañero en este camino de conocimientos y experiencias, a Dios todopoderoso, mi eterno agradecimiento. Gracias a mi familia, la cual ha apoyado este proceso, con sus palabras de ánimo.

Gracias a mis ángeles, que me cuidan desde el cielo, César Danilo, Carmen Elisa, Esteban Ricardo.

Gracias amor de mi vida, Tú, sólo tú, serás siempre lo mejor que tengo.

Agradecimientos

Al Departamento de Nariño- Centro de Estudios Interdisciplinarios Básicos y Aplicados- CEIBA por el Programa: “Fortalecimiento de capacidades regionales en investigación, desarrollo tecnológico e innovación en el departamento de Nariño”, componente: doctorados, el cual financió mi formación académica.

Quizás las palabras no alcanzan para agradecer toda la paciencia y apoyo del Dr. Rómulo Campos Gaona, Director de este trabajo de investigación. Gracias a su compromiso con mis estudios, ha sido posible alcanzar esta meta. Valoro su exigencia y disciplina para conmigo, gracias, por tanto.

A mi profesor Edmundo Apráez Guerrero, gracias por la colaboración y apoyo en la formación. Gracias por su cariño y su amistad.

Por su apoyo y colaboración, a los propietarios de las ganaderías donde se desarrolló esta investigación: Dra. María Claudia Vela, finca La Guaira; Dr. Juan Guillermo Luna, finca San José; Dr. Manuel Guzmán, finca El Cerotal y Oscar Fernando Benavides Universidad de Nariño, Granja Lechera Chimangual.

A los maryordomos de las fincas, Faber Delgado, Fausto Chachinoy, Hugo Calpa y Humberto Guancha.

Dr. Mauricio Vélez Terranova, Docente Universidad Nacional de Colombia; Dra. Katia Benavides, Directora Clínica Veterinaria, Auxiliar de Laboratorio Clínico Jaime Quintana; Sandra Espinosa, profesional Laboratorio Bromatológico de Pastos de la Universidad de Nariño - UDENAR.

A los amig@s que me brindaron su apoyo incondicional Carmen Trejo, José Tabla, William Guzmán y Cristian Marcillo.

A todas aquellas personas que de una u otra manera brindaron su apoyo y colaboración en el proceso y culminación.

.

Resumen

Se evaluaron los componentes multifactoriales de la dieta suministrada a vacas lecheras en cuatro hatos lecheros (F1, F2, F3, F4) del departamento de Nariño, y las mediciones se realizaron en tres periodos de lactancia, así: durante el inicio de lactancia (4-10 días), determinado como P1, en el pico de lactancia (45-55 días), denominado P2 y al finalizar el segundo tercio de lactancia (185-200 días) identificado como P3. Se utilizaron 24 vacas Holstein de tres o más partos, seis animales por finca. Además, se cuantificó la producción y calidad de leche, peso corporal, condición corporal (CC), y el comportamiento reproductivo Intervalo Entre Partos (IEP), Días Abiertos (DA) y Servicios por Concepción (SC). Se determinó la composición bromatológica de los pastos, mediante muestras de pasto tomadas al azar con un cuadro de 1m². Así mismo para el análisis de los suplementos se tomaron muestras de los alimentos suministrados en cada sistema. El consumo de materia seca (CMS) del forraje se estimó mediante la técnica del óxido de cromo (Cr₂O₃), y del concentrado a una relación 5:1, es decir por cada cinco litros de leche, un kilogramo de concentrado. Estas variables se incorporaron al Modelo Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) con el fin de validar la información de CMS e identificar imbalances de la dieta, mediante el análisis de los requerimientos de Energía Metabolizable (EM), Proteína Metabolizable (PM), parámetros ruminales, y excreción de nutrientes. Adicionalmente, se analizaron los indicadores metabólicos ácidos grasos no esterificados (AGNE), beta-hidroxibutirato (BHB), colesterol, glucosa, triglicéridos, proteínas totales (PT) y nitrógeno ureico sanguíneo (BUN), y la interacción con indicadores productivos y reproductivos. Finalmente, con las variables productivas, reproductivas, metabólicas y las estimadas por el Sistema CNCPS, y mediante un análisis de regresión lineal múltiple, con coeficientes aleatorios, se planteó un modelo nutricional de la dieta suministrada a vacas lecheras, para las condiciones del trópico alto de Nariño. Los resultados obtenidos indicaron que no se obtuvieron diferencias para CMS estimados por Cr₂O₃ Vs predichos por el CNCPS. Para producción de leche, no hubo diferencias en el balance de EM por finca, pero por días de lactancia sí; mientras que para la PM hubo

diferencias tanto por finca como por días de lactancia. Los resultados revelaron que los niveles de Nitrógeno Ureico en Leche (MUN) y el costo energético para síntesis de urea, fueron significativos por finca y por días de lactancia. Para el caso de los metabolitos se observaron diferencias significativas para BUN, PT y triglicéridos para el análisis por sistema productivo. Frente al periodo de lactancia, hubo diferencias para glucosa, AGNE, BHB y colesterol. El análisis por sistema productivo de los indicadores reproductivos, indicó que no existen diferencias ($P>0.05$) para IEP y DA. No obstante, hubo diferencias ($P<0.05$) para SC. El análisis de correlación mostró que no existe relación entre los indicadores energéticos con las variables reproductivas. Entre las variables que inciden en la producción de leche se encuentran: proteína soluble (PS%MS), volumen de leche producida por proteína metabolizable (PM leche producida), proteína metabolizable requerida para producción de leche (PM requerida), aporte de proteína metabolizable (Aporte PM), en relación con la dieta compuesta por mezcla de pasturas más suplemento, balance de proteína metabolizable (Balance PM). La ecuación resultante, muestra que la variable PM requerida (-6.6×10^{-4}), indica las necesidades de PM a nivel ruminal, y que relacionados con los valores del aporte PM (7.4×10^{-4}), son compensados los requerimientos para la producción de leche. Los resultados de la comparación del volumen de leche observado con la estimación realizada por el modelo, indicaron que existe alta relación, con coeficiente de determinación R^2 de 0.9477 y 0.9324, respectivamente. Estos R^2 indican que el modelo explica entre el 94.77 y 93.24% de la producción de leche, y que este ajuste es posible dado que las variables en su mayoría fueron obtenidas, a partir del CNCPS.

Palabras clave: consumo de materias seca, CNCPS, Holstein, pastoreo, producción de leche, regresión lineal

Abstract

The multifactorial components of the diet supplied to dairy cows were evaluated in four dairy herds (F1, F2, F3, F4) of the Nariño department, and measurements were made in three lactation periods, thus: during the beginning of lactation (4-10 days), determined as P1, at the peak of lactation (45-55 days), called P2 and at the end of the second third of lactation (185-200 days) identified as P3. Twenty-four Holstein cows of three or more births were used, six animals per farm. In addition, production and quality of milk, body weight, body condition (CC), and reproductive behavior calving interval (IEP), Open Days (DA) and services per conception (SC) was quantified. The bromatological component of the pastures was determined by means of grass samples taken at random with a square tool of 1m². Likewise, for the supplement analysis, food samples from each system were taken. The consumption of dry matter (CMS) of the forage was estimated using the chromium oxide technique (Cr₂O₃), and the concentrate feed at a ratio of 5: 1, that is, for every five liters of milk, one kilogram of concentrate feed. These variables were incorporated into the Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) Model in order to validate CMS information and identifying imbalances within the diet, by analyzing the requirements of Metabolizable Energy (ME), Metabolizable Protein (PM), rumen parameters, and nutrient excretion. Additionally, metabolic indicators were analyzed non-esterified fatty acids (NFAE), beta-hydroxybutyrate (BHB), cholesterol, glucose, triglycerides, total proteins (PT) and blood urea nitrogen (BUN), and interaction between productive and reproductive indicators. Finally, with the productive, reproductive, metabolic variables and those estimated by the CNCPS System, and by means of a multiple linear regression analysis, with random coefficients, a nutritional model of the diet supplied to dairy cows was proposed, for the Nariño high tropic conditions. The obtained results indicated that no differences were obtained for CMS estimated by Cr₂O₃ Vs predicted by the CNCPS. For milk production, there were no differences in the MS balance per farm, but for lactation days, there was; while for the PM there were differences both by farm and by days of lactation. The results revealed that Ureic Nitrogen in Milk (MUN) levels and the energy cost

for urea synthesis were significant by farm and by days of lactation. In the case of metabolites, significant differences were observed for BUN, PT and triglycerides for the analysis by productive system. As for the lactation period, there were differences for glucose, AGNE, BHB and cholesterol. The analysis done by productive system of reproductive indicators, indicated that there are no differences ($P > 0.05$) for IEP and DA. However, there were differences ($P < 0.05$) for SC. Correlation analysis showed that there is no relationship between energy indicators and reproductive variables. Among the variables that affect milk production are: soluble protein in dry matter (PS% MS), volume of milk produced by metabolizable protein (PM milk produced), metabolizable protein required for milk production (PM required), contribution of metabolizable protein (PM contribution), in relation to the diet composed of pasture mix plus supplement, metabolizable protein balance (PM Balance). The resulting equation shows that the variable PM required (-6.6×10^{-4}), indicates the needs of PM at the ruminal level, and that related to the values of the contribution PM (7.4×10^{-4}), by the requirements for the milk production are compensated. The results of the comparison of the volume of milk observed with the estimation made by the model, indicated that there is a high relation, with coefficient of determination R^2 of 0.9477 and 0.9324, respectively. These R^2 indicate that the model explains between 94.77 and 93.24% of milk production, and that this adjustment is possible given that the variables were mostly obtained, from the CNCPS.

Keywords: dry matter intake, CNCPS, Holstein, grazing, milk production, linear regression

Contenido

| | |
|--|----|
| Resumen | 5 |
| Abstract | 6 |
| Introducción | 14 |
| Referencias | 17 |
| Capítulo 1. Revisión: Sistemas de producción lechera en pastoreo y factores determinantes de la productividad ganadera | 19 |
| 1.1 Introducción | 19 |
| 1.2 Nutrición y alimentación en vacas lecheras en pastoreo, asociado a la respuesta productiva y reproductiva | 20 |
| 1.2.1 uso de herramientas de modelación con fines de predicción productiva | 24 |
| 1.2.2 Indicadores metabólicos e influencia en la producción bovina | 26 |
| Capítulo 2. Caracterización nutricional en cuatro hatos lecheros, bajo condiciones de trópico alto de Nariño | 31 |
| 2.1 Resumen | 31 |
| 2.2 Introducción | 32 |
| 2.3 Pasto Kikuyo (<i>Cenchrus clandestinus</i> Hoschst ex Chiov) y Ryegrass (<i>Lolium</i> spp) | 34 |
| 2.4 Caracterización y análisis nutricional de pastos en condiciones de trópico alto del departamento de Nariño | 37 |
| 2.5 Conclusiones | 40 |
| 2.6 Referencias | 40 |
| Capítulo 3. Uso de técnicas indirectas y de predicción para el análisis nutricional de vacas Holstein pastoreando en condiciones de Trópico Alto de Nariño -Colombia | 43 |
| 3.1 Resumen | 43 |
| 3.2 Introducción | 44 |
| 3.3 Materiales y métodos | 45 |
| 3.3.1 Localización | 45 |
| 3.3.2 Selección de animales y tipo de alimentación | 46 |

| | |
|---|-----|
| 3.3.3 Determinación del consumo de materia seca (CMS) por el método de Cr_2O_3 | 46 |
| 3.3.4 Determinación de composición química de los forrajes | 47 |
| 3.3.5 Estimación del CMS con el modelo CNCPS | 48 |
| 3.4 Resultados y discusión | 54 |
| 3.5 Conclusiones | 64 |
| 3.6 Referencias | 65 |
| Capítulo 4. Balance energético proteico en vacas Holstein bajo pastoreo en el Trópico | 68 |
| 4.1 Resumen | 68 |
| 4.2 Introducción | 69 |
| 4.3 Materiales y métodos | 70 |
| 4.3.1 Localización | 70 |
| 4.3.2 Selección de animales y tipo de alimentación. | 70 |
| 4.3.3 Análisis estadístico de la información | 74 |
| 4.4 Resultados y discusión | 74 |
| 4.5 Conclusiones | 83 |
| 4.6 Referencias | 84 |
| Capítulo 5. Predicción de la producción de leche del trópico alto de Nariño, a través de regresión lineal múltiple de variables nutricionales | 88 |
| 5.1 Resumen | 88 |
| 5.2 Introducción | 89 |
| 5.3 Materiales y métodos | 90 |
| 5.4. Resultados y discusión | 94 |
| 4.5 Conclusiones | 99 |
| 4.6 Referencias | 99 |
| Conclusiones | 102 |
| Perspectivas | 103 |

Lista de figuras

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 3-1. Animal con arnés instalado para la recolección total de heces en pastoreo..... | 47 |
| Figura 5-1. Volumen de producción de leche observada y predicha por el modelo. | 95 |
| Figura 5-2. Volumen de producción de leche observada VS estimado por el modelo..... | 99 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 2.1. Predominancia del tipo de forrajes por hato lechero y época de muestreo..... | 38 |
| Tabla 2-2. Composición nutricional de la mezcla forrajera, por época y hato lechero | 39 |
| Tabla 2-3. Volumen de producción de leche por época y hato lechero..... | 39 |
| Tabla 3-1. Coordenadas geográficas y condiciones climáticas de los cuatros hatos seleccionados..... | 46 |
| Tabla 3-2.Composición química de la mezcla forrajera, por finca y periodo de lactancia..... | 48 |
| Tabla 3-3. Composición química del suplemento concentrado suministrado por cada finca..... | 49 |
| Tabla 3-4. Descripción general del componente ambiental por cada finca..... | 49 |
| Tabla 3-5. Variables incluidas en el modelo CNCPS, peso del animal, composición química de la leche y consumos estimados de materia seca para forrajes y concentrado por cada finca y por período de lactancia..... | 50 |
| Tabla 3-6. Principales nutrientes de la dieta, estimados por el modelo CNCPS, en cada finca y por periodo de lactancia | 50 |
| Tabla 3-6. Composición química del concentrado de acuerdo con la estructura del CNCPS por sistema de producción..... | 50 |
| Tabla 3-7. Composición química del concentrado de acuerdo con la estructura del CNCPS por hato | 52 |
| Tabla 3-8. Composición química de los forrajes de acuerdo con la estructura del CNCPS por finca..... | 53 |

| | |
|---|----|
| Tabla 3-9. Comparación por finca y periodo de lactancia del consumo de materia seca (CMS, kg/d) estimados por la técnica del óxido de cromo Vs predichos por el CNCPS | 55 |
| Tabla 3-10. Balance de la energía metabolizable para producción de leche. Predicciones realizadas con el modelo CNCPS para vacas Hostein en el trópico alto de Nariño..... | 56 |
| Tabla 3-11. Principales metabolitos asociados al metabolismo energético de vacas lecheras | 58 |
| Tabla 3-12. Balance de la proteína metabolizable para producción de leche. Predicciones realizadas con el modelo CNCPS | 59 |
| Tabla 3-13. Eficiencia en el aporte de N microbiano (ESNM), predicciones realizadas con el modelo CNCPS Para vacas Holstein en el Trópico alto de Nariño | 61 |
| Tabla 3-14. Balance de N en rumen, predicciones realizadas con el modelo CNCPS..... | 62 |
| Tabla 3-15. Media \pm desviación estándar (DE) de los indicadores metabólicos por sistema de producción y periodo de lactancia | 63 |
| Tabla 3-16. Excreción de Nitrógeno de las vacas lecheras del Trópico Alto de Nariño, Colombia | 64 |
| Tabla 4-1. Tipo de oferta forrajera suministrada en los hatos lecheros por periodo de lactancia | 71 |
| Tabla 4-2. Suplemento comercial suministrado por cada finca lechera..... | 72 |
| Tabla 4-3. Composición nutricional de la mezcla forrajera, por sistema de producción y periodo de lactancia..... | 72 |
| Tabla 4-4. Cuantificación del volumen total de leche, porcentaje de proteína por finca y periodo de lactancia..... | 73 |
| Tabla 4-5. Media y desviación estándar de los indicadores metabólicos y su significancia estadística por hato lechero y periodo de lactancia..... | 75 |
| Tabla 4-6. Media y desviación estándar de los indicadores reproductivos por hato lechero..... | 81 |
| Tabla 5-1. Variables regresoras (efectos fijos) y efecto aleatorio (finca)..... | 92 |
| Tabla 5-2. Selección de variables que predicen la producción de leche en condiciones de trópico alto de Nariño..... | 94 |

Tabla 5-3. Valores promedio de las variables seleccionadas en el modelo 96
nutricional por periodo de lactancia.....

Lista de Símbolos y abreviaturas

| Símbolo | Término |
|--------------------------------|---|
| MS | Materia seca |
| CMS | Consumo de materia seca |
| CMSF | consumo de materia seca del forraje estimado por Cr ₂ O ₃ |
| CMSC | Consumo de materia seca del concentrado observado |
| AGV | Ácidos grasos volátiles |
| CNE | Carbohidratos no estructurales |
| EE | Extracto etéreo |
| FDA | Fibra detergente ácida |
| FDN | Fibra detergente neutra |
| PC | Proteína cruda |
| PS | Proteína soluble |
| CNCPS | Sistema de Carbohidratos y Proteína Neta de Cornell |
| EM | Energía Metabolizable |
| PM | Proteína Metabolizable |
| NDIP | Proteína Insoluble en Detergente Neutra |
| ADIP | Proteína Insoluble en Detergente Ácido |
| aFDN | Fibra detergente neutra efectiva |
| MOVF | Materia orgánica verdaderamente fermentada en rumen |
| ESNM | Eficiencia en el aporte de N microbiano |
| CHOs | Carbohidratos |
| Cr ₂ O ₃ | Óxido de cromo |
| PS%MS | Proteína soluble en materia seca |
| PM leche producida | Volumen de leche producida por proteína metabolizable |
| PM requerida | Proteína metabolizable requerida para producción de leche |
| Aporte PM | Aporte de proteína metabolizable en relación con la dieta compuesta por mezcla de pasturas más suplemento |

| | |
|----------------|-----------------------------------|
| Balance PM | Balance de proteína metabolizable |
| AGNE | Ácidos grasos no esterificados |
| BHB | Beta-hidroxibutirato |
| PT | Proteínas totales |
| BUN | Nitrógeno ureico sanguíneo |
| MUN | Nitrógeno Ureico en Leche |
| IEP | Intervalo Entre Partos |
| DA | Días Abiertos |
| SC | Servicios por Concepción |
| CC | Condición corporal |
| ENI | Energía neta de lactancia |
| BEN | Balance energético negativo |
| R ² | Coefficiente de determinación |

cumplir con los requerimientos nutricionales de los animales en producción y por ende disminuir los costos de producción.

El modelo nutricional se obtuvo con una base de datos que estuvo constituida por 63 observaciones, con vacas lactantes de raza Holstein, durante tres periodos de lactancia. Por lo tanto, el modelo propuesto en esta investigación puede tener una aplicación limitada, a pesar del R^2 obtenido.

5.6 Referencias

- Apráez, G.J.E., Delgado, J.D. y Solarte, P.C. (2016). Evaluación In vitro de la producción de metano en variedades de pastos neozelandeses del altiplano de Nariño. *Veterinaria y Zootecnia*. 10:2. 90-105.
- Bahrami-Yekdangi, H., Khorvash, M., Ghorbani, G. R., Alikhani, M., Jahanian, R. y Kamalian, E. (2014). Effects of decreasing metabolizable protein and rumen-undegradable protein on milk production and composition and blood metabolites of Holstein dairy cows in early lactation. *Journal of dairy science*, 97(6), 3707-3714. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6725>
- Balzarini, M., Di Rienzo, J., Tablada, M., González, L., Bruno, C., Córdoba, M., Robledo, W. y Casanoves, F. (2012). Estadística y Biometría Ilustraciones del Uso de InfoStat en Problemas de Agronomía. Argentina. Editorial Brujas.
- Cadena, G.M.M., García, D.M.A., Meneses, B.D.H., Morales, M.S.P. y Castro, R.E. (2019). Adaptación de diez cultivares de *Lolium sp* en el trópico alto de Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 165-178. doi:10.15517/am.v30i1.34094
- Castillo-López, E. y Domínguez-Ordóñez, M. G. (2019). Factores que afectan la composición microbiana ruminal y métodos para determinar el rendimiento de la proteína microbiana. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(1). <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4547>
- Carrasco, C.M. (2016). Técnicas de regularización en regresión: implementación y aplicaciones. (Tesis de pregrado) Universidad de Sevilla, España. 1-52.

- Daniel, J. B., Friggens, N. C., Chapoutot, P., Van Laar, H. y Sauvant, D. (2016). Milk yield and milk composition responses to change in predicted net energy and metabolizable protein: a meta-analysis. *Animal*, 10(12), 1975-1985. doi:10.1017/S1751731116001245
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística –DANE. (2016). Informe de Coyuntura Económica Regional Departamento de Nariño. 16, 17, 54. www.dane.gov.co
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Di Rienzo, J.A., Macchiavelli, R.E. y Casanoves, F. (2012) Modelos lineales mixtos: aplicaciones en InfoStat. Grupo Infostat, Córdoba, Argentina.
- Doepel, L., Pacheco, D., Kennelly, J. J., Hanigan, M. D., Lopez, I. F. y Lapierre, H. (2004). Milk protein synthesis as a function of amino acid supply. *Journal of Dairy Science*, 87(5), 1279-1297. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73278-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73278-6)
- De Souza, R. A., Tempelman, R. J., Allen, M. S., Weiss, W. P., Bernard, J. K. y VandeHaar, M. J. (2018). Predicting nutrient digestibility in high-producing dairy cows. *Journal of dairy science*, 101(2), 1123-1135 <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13344>
- Chase, L. E., Higgs, R. J. y Van Amburgh, M. E. (2012). Feeding low crude protein rations to dairy cows-What have we learned. In *Proceedings of the 23rd Ruminant Nutrition Symposium*. University of Florida, Gainesville, FL (pp. 32-42).
- Gaviria, X., Rivera, J. E. y Barahona, R. (2015). Calidad nutricional y fraccionamiento de carbohidratos y proteína en los componentes forrajeros de un sistema silvopastoril intensivo. *Pastos y Forrajes*, 38(2), 194-201.
- Kebreab, E., Reed, K. F., Cabrera, V. E., Vadas, P. A., Thoma, G. y Tricarico, J. M. (2019). A new modeling environment for integrated dairy system management. *Animal Frontiers*. 9(2). <https://doi.org/10.1093/af/vfz004>
- LaPierre, A., Higgs, R. y Van Amburgh, M. (2018). Milk Like a Cow, Eat Like a Pig: Developments in Nitrogen Efficiency and Amino Acid Balancing for Dairy Cattle.

- Mertens, D.R. (2005). Rate and extent of digestion. Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism, 2, 13-47.
- Metcalfe, J. A., Mansbridge, R. J., Blake, J. S., Oldham, J. D. y Newbold, J. R. (2008). The efficiency of conversion of metabolisable protein into milk true protein over a range of metabolisable protein intakes. *Animal*, 2(8), 1193-1202. doi:10.1017/S1751731108002140
- Moraes, L. E., Kebreab, E., Firkins, J. L., White, R. R., Martineau, R. y Lapierre, H. (2018). Predicting milk protein responses and the requirement of metabolizable protein by lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 101(1), 310-327. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12507>
- Mutsvangwa, T., Davies, K. L., McKinnon, J. J. y Christensen, D. A. (2016). Effects of dietary crude protein and rumen-degradable protein concentrations on urea recycling, nitrogen balance, omasal nutrient flow, and milk production in dairy cows. *Journal of dairy science*, 99(8), 6298-6310. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2016-10917>
- Savari, M., Khorvash, M., Amanlou, H., Ghorbani, G. R., Ghasemi, E. y Mirzaei, M. (2018). Effects of rumen-degradable protein: rumen-undegradable protein ratio and corn processing on production performance, nitrogen efficiency, and feeding behavior of Holstein dairy cows. *Journal of dairy science*, 101(2), 1111-1122. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12776>
- Van Duinkerken, G., Blok, M. C., Bannink, A., Cone, J. W., Dijkstra, J., Van Vuuren, A. M. y Tamminga, S. (2011). Update of the Dutch protein evaluation system for ruminants: The DVE/OEB 2010 system. *The Journal of Agricultural Science*, 149(3), 351-367. doi:10.1017/S0021859610000912
- White, R. R. y Hall, M. B. (2017). Nutritional and greenhouse gas impacts of removing animals from US agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(48), E10301-E10308. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1707322114