

Artículo de investigación

Balance de nitrógeno, fósforo y potasio en vacas Holstein pastando praderas de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el norte de Antioquia*Balance de nitrógeno, fósforo y potasio en vacas Holstein pastando praderas de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el norte de Antioquia**Balanço de nitrogênio, fósforo e potássio em vacas holandesas pastejando capim-quicuío (*Cenchrus clandestinus*) no Norte de Antioquia*Ligia Johana Jaimes Cruz¹ MVZ; [CvLAC](#), Héctor Jairo Correa Cardona²  Zootec, MSc, PhD; [CvLAC](#)**Abstract**

To aim to estimate the balance of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) in Holstein cows in northern Antioquia in the three thirds of lactation and in two seasons (high and low precipitation) grazing kikuyo grass (*Cenchrus clandestinus*), nine cows (three by lactation third) of five herds to which they estimated forage intake, consumption of food supplements and mineralized salt, were selected and were estimated excretion of feces, urine and milk secretion during last three days of an experimental period of 14 days in every season. Food samples, feces, urine and milk were taken in which the content of N, P and K were determined and digestibility, balance and efficiency of each nutrient in milk production were calculated. Data were analyzed under a completely randomized design in a factorial arrangement 3x2. With the advancement of lactation the efficiency of N, P and K decreased ($p < 0.001$) while that of N and P was lower in the dry period ($p < 0.001$), due to increased intake of dietary supplements ($p < 0.01$) without the availability ($p > 0.89$) nor forage intake ($p > 0.24$) were affected by reduced precipitation. It was concluded that the season can affect the balance and efficiency of nutrients in lactating cows mainly because management guidelines in the food supplement.

Keywords: *dry season, nutritional efficiency, rainy season.***Resumen**

Con la finalidad de estimar el balance de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en vacas Holstein del norte de Antioquia en los tres tercios de la lactancia y en dos épocas del año (alta y baja precipitación) pastando praderas de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), se seleccionaron nueve vacas (tres de cada tercio) de cinco hatos a las que se les estimó el consumo de forraje, de los suplementos alimenticios y de sal mineralizada y se les estimó la excreción de heces, orina y la secreción láctea durante los últimos tres días de los 14 días que duraba el periodo experimental en cada época. Se tomaron muestras de los alimentos, heces, orina y leche en los que se

Fecha correspondencia:

Recibido: 20 de febrero de 2016.

Aceptado: 5 de agosto de 2016.

Forma de citar:

Jaimes Cruz LJ, Correa Cardona HJ. Balance de nitrógeno, fósforo y potasio en vacas Holstein pastando praderas de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el norte de Antioquia. Rev. CES Med. Zootec. 2016; Vol 11 (2): 18-41.

Open access

© Copyright

Creative commons

Éthics of publications

Peer review

Open Journal System

e-ISSN 1900-9607

Comparte



Sobre los autores:

¹ Maestría en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

² Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

determinó el contenido de N, P y K y se calculó la digestibilidad aparente, el balance y la eficiencia en el uso de cada nutriente en la producción de leche. Los datos se analizaron bajo un diseño completamente al azar en un arreglo factorial 3 x 2. Con el avance de la lactancia se redujo la eficiencia en el uso del N, P y K ($p < 0,001$) mientras que la del N y del P fue menor en el periodo seco ($p < 0,001$) debido al incremento en el consumo de los suplementos alimenticios ($p < 0,01$) no obstante que ni la disponibilidad ($p > 0,89$) ni el consumo de la pradera ($p > 0,24$) se vieran afectados. Se concluye que la época del año puede afectar el balance y eficiencia en el uso de los nutrientes en vacas lactantes debido principalmente a pautas de manejo en el suplemento alimenticio.

Palabras clave: *eficiencia nutricional, periodo lluvioso, periodo seco.*

Resumo

Com a finalidade de estimar o balanço de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em vacas holandesas do norte de Antioquia no terceiro tercio de lactação e em dois épocas do ano (alta e baixa precipitação) pastejando capim-quicuío (*Cenchrus clandestinus*), selecionaram-se nove vacas (três de cada tercio) de cinco rebanhos nas quais estimou-se o consumo de forragem, dos suplementos alimentícios e de sal mineralizada e além, estimou-se a excreção de fezes, urina e a secreção láctea durante os últimos três dias dos 14 que durava o período experimental em cada época. Tomaram-se amostras dos alimentos, fezes, urina e leite nos que se determinaram o conteúdo de N, P, e K e calcularam-se a digestibilidade aparente, o balanço e a eficiência no uso de cada nutriente na produção de leite. Os dados analisaram-se sob um desenho completamente ao acaso num desenho fatorial 3 X 2. Com o avanço da lactação se reduz a eficiência no uso de N, P e K ($p < 0,001$) enquanto que a de N e P foram menores no período seco ($p < 0,001$) devido ao incremento no consumo dos suplementos alimentícios ($p < 0,01$), não obstante que, nem a disponibilidade ($p > 0,89$), nem o consumo do capim ($p > 0,24$), foram afetados. Conclui-se que a época do ano pode afetar o balanço e a eficiência no uso dos nutrientes para vacas em lactação devido principalmente as pautas de manejo no suplemento alimentício.

Palavras-chave: *eficiência nutricional, períodos chuvosos, período seco.*

Introducción

Los sistemas de producción animal generan impactos sobre el suelo, el agua, la atmósfera y la biodiversidad ³² dependiendo del nivel e intensidad en el uso de los recursos ³⁸. Un primer paso para evaluar el grado de impacto, es el estudio de la eficiencia en el uso y excreción de nutrientes por parte de los animales y sus fuentes de variación. En Colombia, los sistemas especializados de producción de leche se localizan en las zonas de trópico alto, generan cerca de la mitad de la leche producida ^{66,67} y se caracterizan por usar de manera intensiva fertilizantes químicos y orgánicos y suplementos alimenticios comerciales ⁶⁸. La zona norte de Antioquia se destaca por ser una de las cuencas lecheras de mayor producción en el país al generar cerca de 2.500.000 litros de leche diarios que representan aproximadamente el 15% de la producción nacional, e involucrar a más de 5000 productores ⁵⁵ ocupando cerca del 70% del área ⁵⁸. Dicha zona hace parte de la cuenca hidrográfica Río Grande II que presta servicios a la ciudad de Medellín a través del suministro de agua potable y energía ². Ha sido establecido, sin embargo, que el embalse Rio Grande II se encuentra en un estado de eutroficación cuyos orígenes se ubican, entre otras causas, en la intensa actividad agropecuaria que se desarrolla en esta zona ⁷⁴.

Debido a que la actividad ganadera ocupa un porcentaje muy alto de la cuenca, esta tiene un grado importante de responsabilidad sobre el nivel de eutroficación que presentan las aguas de la represa Río Grande II. En otros países se ha documentado el efecto que ejercen las actividades ganaderas sobre la calidad del agua. Así, ha sido reportado que el 68% de las aguas provenientes de hatos lecheros de Free State (Sudáfrica) resultaron contaminadas al presentar niveles de coliformes totales por encima del límite superior permitido por la norma y que más del 45% de las aguas provenientes de estos hatos fueron clasificadas entre pobres e inadecuadas para el consumo por su nivel de contaminación ³⁰. Así mismo, ha sido reportado que dentro de los sistemas de producción animal con herbívoros en Nueva Zelanda, los sistemas de producción bovina de leche son los que generan mayores pérdidas de nitrógeno al sistema ⁵⁶.

Ha sido reconocido por varios autores ^{4, 15, 37} que el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K) son los elementos que generan mayores impactos sobre el ambiente en sistemas de producción de leche bovina en el mundo hasta el punto en que algunos países han establecido límites en el vertimiento de estos nutrientes al suelo a través de las heces y la orina. Tal es el caso de los Países Bajos en donde a partir del año 2000 la cantidad máxima de N que puede ser vertido a los suelos/ha/año es de 250 kg mientras que para el P es de 35 kg ⁶³ mientras que en Nueva Zelanda es prohibida la aplicación de excretas a los suelos cuyo aporte supere los 200 kg de N/ha/año ⁸⁵.

En Colombia son pocos los trabajos en los que se han estimado las excreciones de nutrientes en heces y orina en estos sistemas de producción. En la mayoría de los trabajos se ha evaluado el N ^{3, 17, 22, 23} y en solo uno de ellos el N y el P ⁵² sin que hasta que el momento existan reportes sobre el K. Los datos reportados en estos trabajos muestran que la eficiencia en el uso de estos nutrientes por los animales es menor al reportado en otras latitudes ^{46, 64} sugiriendo, por lo tanto, que el impacto ambiental sería mucho mayor.

Aunque los eventos climáticos de los últimos años han sido asociados con cambios en la disponibilidad del forraje ²², producción y la calidad de la leche ^{10, 22}, no existen trabajos que de manera sistemática permitan establecer el nivel de asociación entre estos factores. Es por ello, que el objetivo de este trabajo fue estimar el balance de N, P y K en cinco hatos lecheros de la cuenca norte de Antioquia en un periodo de alta baja precipitación.

Materiales y métodos

Aval de ética

Este trabajo fue avalado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín (según el oficio CEMED – 109 del 15 de agosto de 2014).

Localización

Se seleccionaron cinco hatos lecheros ubicados en la cuenca lechera del norte de Antioquia (municipios de San Pedro de los Milagros, Belmira, Entrerriós, Don Matías y Santa Rosa de Osos), ubicados en una zona ecológica de Bh-MB ²⁹.

Animales experimentales

En cada ható y en las dos épocas del año (periodo lluvioso: octubre a noviembre; Periodo seco: enero a febrero), se seleccionaron al azar tres vacas que estuvieran en primer tercio de lactancia (entre 50 y 100 días en lactancia: DEL), tres del segundo tercio (entre 101 y 200 DEL) y tres de tercer tercio (más de 201 DEL) para un total de 45 vacas por periodo y 90 vacas en total. Las vacas seleccionadas permanecieron con el resto del ható y se identificaron con una cinta reflectiva colocada alrededor del cuello. El periodo de evaluación en cada época fue de 14 días de los cuales los tres últimos fueron de muestreo. El último día experimental, se estimó el peso vivo (PV) de las vacas mediante una cinta métrica y se evaluó el grado de condición corporal (GCC) mediante una puntuación de 1 a 5 ⁸⁶. El consumo de materia seca del forraje (CMSf) de cada animal se determinó mediante el método de los marcadores descrito previamente por Jaimes et al. (2015) ⁴³. El consumo del suplemento alimenticio se estableció por la diferencia entre el alimento ofrecido y el rechazado durante el ordeño. No fue posible estimar el consumo individual de la sal mineralizada debido a que esta se ofrecía *ad libitum* en los potreros.

Toma y conservación de muestras

Durante los tres últimos días de cada periodo se tomaron muestras de heces (vía rectal), orina (estimulo perineal) y leche durante cada ordeño las cuales se mezclaron para obtener una sola muestra de cada vaca durante cada periodo de evaluación. Las muestras de heces y de los suplementos alimenticios fueron secadas a 60°C durante 48 h y se conservaron en un lugar fresco hasta los análisis de laboratorio. Las muestras de orina se acidificaron con ácido sulfúrico al 38% (5 a 6 gotas/20 mL) y se conservaron en congelación (-12.0 °C) hasta los análisis de laboratorio.

Durante los últimos tres días de cada periodo de evaluación, igualmente se tomaron muestras de forraje, sal mineralizada y de los suplementos alimenticios suministrados a cada uno de los animales durante los ordeños. Las muestras fueron secadas a 60°C durante 48 h y se conservaron en lugar fresco hasta los análisis de laboratorio.

Análisis de laboratorio

Las muestras secas de forrajes y del suplemento alimenticio fueron molidas en un molino con una malla de 1,0 mm y se les determinó el contenido de cenizas (Cen), extracto etéreo (EE), PC y fibra en detergente neutro (FDN) de acuerdo a métodos descritos por la AOAC ⁴. La determinación del contenido de fósforo (P) y potasio (K) se realizó por espectrofotometría ultravioleta de acuerdo a las normas colombianas NTC 4981 y NTC 5151, respectivamente. En las muestras de heces, orina y leche se determinó, así mismo, el contenido de N, P y K de acuerdo a los métodos descritos anteriormente.

Balance de N, P y K

Se estimó el consumo de N, P y K de los forrajes, las sales mineralizadas y los suplementos alimenticios y del total, así como la concentración en la dieta total. Se estimó igualmente la excreción en heces y orina, estimándose la digestibilidad aparente y la excreción total. También se estimó la secreción láctea de estos tres elementos y la eficiencia con la que el consumo se reflejó en la secreción láctea. Por diferencia entre el consumo y las excreciones y secreción láctea, se estimó el balance apa-

rente. La eficiencia en el uso de los nutrientes se calculó como el porcentaje de los nutrientes consumidos que fueron excretados en la leche. Partiendo del supuesto de tener una capacidad de carga (CC) de tres vacas/ha, se estimó la excreción total de N, P y K/ha/año.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados en un diseño completamente al azar en un arreglo factorial 2 x 3 (dos periodos y tres tercios de lactancia) de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + T_j + P \times T + E_{ijk}$$

donde Y_{ijk} es la variable respuesta; μ es la media poblacional; P_i es el efecto del i -ésimo periodo; T_j es el efecto del j -ésimo tercio de lactancia y E_{ijk} es el error experimental asociado a la k -ésima unidad experimental. Para ello se utilizó el PROC GLM del programa estadístico SAS⁸⁰.

Resultados

La composición química de las praderas de kikuyo y de los suplementos alimenticios utilizados en los cinco hatos lecheros durante la época de alta y baja precipitación fue discutida previamente ⁴³. Estos autores reportaron que tanto la humedad relativa (HR) como la temperatura ambiental (TEMP) fueron similares entre periodos ($p > 0,45$) en tanto que la precipitación fue tres veces más baja en el periodo seco ($p < 0,001$) lo que, sin embargo, no afectó la disponibilidad de forraje en las praderas ($p > 0,894$). El consumo de materia seca de la pradera no estuvo afectado por el periodo de evaluación ($p > 0,24$) pero fue menor en el primer tercio de la lactancia ($p < 0,02$) lo que generó una interacción entre el tercio de la lactancia y el periodo de evaluación ($p < 0,02$).

Uso del N

Los parámetros asociados al balance de N se presentan en la [tabla 1](#). Como era de esperarse, el consumo de N de la pradera se fue incrementando con el avance de la lactancia ($p < 0,024$) sin que hubiesen diferencias debidas al periodo ($p > 0,76$). el N proveniente de los suplementos alimenticios, por su parte, se redujo al avanzar la lactancia ($p < 0,001$) siendo en promedio más bajo, además, en el periodo de alta precipitación, debido al menor consumo de los suplementos alimenticios que se presentó en este periodo ($p < 0,001$). El consumo total del N, sin embargo, no fue afectado por el tercio de lactancia ($p > 0,287$) lo que muestra la existencia de un efecto de sustitución alto que condujo a la compensación en el consumo de forraje debido a la reducción en el consumo de los suplementos alimenticios. A pesar de ello, en el segundo periodo hubo un mayor consumo de N total que en el primero ($p < 0,020$) debido al mayor consumo de los suplementos alimenticios en este periodo. Por la misma razón la concentración de PC de la dieta total, fue significativamente más alta en el segundo periodo ($p < 0,013$).

No obstante que el consumo total de N no se afectó por el avance de la lactancia, la excreción fecal del N si se fue reduciendo a medida que avanzó la lactancia ($p < 0,044$). La digestibilidad del N consumido, por su parte, no cambió con el avance de la lactancia ni con el periodo del año ($p > 0,28$) ([Tabla 1](#)).

La excreción de N en orina no se afectó por el tercio de la lactancia ($p > 0,555$) pero si se incrementó en el segundo periodo ($p < 0,007$) debido probablemente al mayor

consumo de N proveniente del suplemento alimenticio (Tabla 1). Sin embargo, la excreción urinaria del N como porcentaje del N consumido, no fue afectada por el tercio de la lactancia o por la época del año, representando en promedio $46,0 \pm 13,6\%$ (Tabla 1).

Tabla 1. Balance y eficiencia en el uso del N en función del tercio de lactancia y la época del año.

Época	Alta precipitación			Baja precipitación			p			
	Tercio	< 100 d	101 a 200 d	>201 d	< 100 d	101 a 200 d	>201 d	T ¹	E	TxE
Consumo, kg/v/d										
Pradera		0,428	0,422	0,459	0,382	0,486	0,457	0,024	0,760	0,040
Suplementos		0,162	0,134	0,076	0,203	0,176	0,137	0,001	0,001	0,795
Total		0,591	0,557	0,536	0,586	0,663	0,595	0,287	0,020	0,143
PC dieta, % MS		19,2	19,2	19,6	19,7	20,4	20,5	0,322	0,013	0,704
Heces, kg/v/d		0,183	0,179	0,156	0,181	0,192	0,171	0,044	0,267	0,640
Digestibilidad, %		68,7	67,2	70,7	68,3	70,8	70,8	0,288	0,367	0,355
Orina, kg/v/d		0,219	0,221	0,209	0,258	0,254	0,238	0,555	0,007	0,945
Orina, % Ncons		42,7	45,5	45,4	52,8	43,7	46,5	0,273	0,659	0,217
Urea orina, mg/dL		466,9	444,7	531,8	461,4	374,4	412,9	0,112	0,225	0,354
NUrina, % Norina		73,7	73,8	82,3	68,9	67,2	69,7	0,404	0,536	0,750
NH ₃ orina, mg/dL		4,74	4,00	4,17	3,35	1,88	2,31	0,001	0,163	0,510
Nexc. Total, kg/v/d		0,402	0,400	0,365	0,440	0,445	0,409	0,070	0,032	0,980
Leche, kg/v/d		0,129	0,117	0,088	0,124	0,111	0,084	0,001	0,345	0,993
Balance, kg/v/d		0,058	0,039	0,082	0,020	0,105	0,101	0,050	0,406	0,089
Eficiencia, %		22,15	21,3	16,8	21,8	17,0	14,4	0,001	0,009	0,159

¹T: efecto del tercio de la lactancia; E: efecto de la época del año; PC: proteína cruda; Ncons: N consumido total; NUrina: N ureico en la orina; Norina: N urinario; Nexc: N excretado total.

Tabla 2. Correlaciones entre las variables del balance del N.

	N supl ¹ , kg	N Forr, kg	N total, kg	N Leche, kg	PC Leche, %
N Heces, kg	0,495**	0,309**	0,568**		
Dig. N, %	0,075	0,446**	0,397**		
N Orina, kg	0,249*	0,091	0,236*		
N Leche, kg	0,631**	-0,013	0,408**		
PC leche, %	-0,349**	0,267*	-0,024		
Bal N, kg	0,200	0,722**	0,644**		
Efic, %	0,154	-0,558**	-0,332**	0,707**	-0,370**

¹supl: suplemento alimenticio; Forr: forraje; Dig: digestibilidad; Bal: balance; Efic: eficiencia.

La excreción total de N fue mayor durante la época de baja precipitación ($p < 0,032$) debido fundamentalmente por la mayor excreción urinaria que se presentó en este periodo ($p < 0,007$). Dicha excreción equivaldría al aporte de 523,8 kg de N/ha/año en un hato promedio con una capacidad de carga de 3,5 vacas/ha (Figura 1). Si a estos aportes se le suman los provenientes de los fertilizantes que se recomiendan aplicar (400 kg/ha/año²⁴), la cifra supera fácilmente los 900 kg/ha/año de N.



Figura 1. Balance de N promedio en vacas Holstein lactantes en el norte de Antioquia.

Se muestra el consumo total promedio, el origen de este N así como el porcentaje del N consumido que se secreta en la leche y el porcentaje que se excreta por heces y orina. Finalmente, se estima la excreción total anual de N/vaca/d (0,41 kg) y la cantidad total de N/ha/año excretado (523,8 kg) bajo el supuesto de que se tuviera una carga de 3,5 vacas/ha.

Como era de esperarse, la secreción de N en la leche se redujo con el avance de la lactancia ($p < 0,001$) sin que hubiesen diferencia entre los dos periodos evaluados ($p > 0,345$) (Tabla 1). Esta secreción estuvo alta y positivamente correlacionada con el consumo del N a partir del suplemento alimenticio (Tabla 2) lo que es un reflejo del efecto de la suplementación sobre el nivel de producción de leche. Por el contrario y por la misma razón, el consumo del N a partir del suplemento alimenticio se correlacionó negativamente con la concentración de PC en la leche.

La eficiencia en el uso del N consumido total para la síntesis de proteína en la leche se fue reduciendo con el avance de la lactancia (Tabla 1) debido fundamentalmente a la reducción en la cantidad de N excretado en la leche.

Uso del P

Al igual que con el N, el consumo de P a partir de las praderas se fue incrementando con el avance de la lactancia ($p < 0,047$) mientras que el proveniente de los suplementos se fue reduciendo ($p < 0,001$) debido a la disminución en la suplementación cuando las vacas fueron disminuyendo la producción de leche (Tabla 3). Como se mencionó en la metodología, no fue factible medir el consumo diario de sal mineralizada por cada vaca, de tal manera que los datos que aparecen en la tabla 3 corresponden al consumo promedio de P medido a partir del consumo de sal de los lotes de vacas lactantes de cada finca y, por tal razón, no se adelantó ningún análisis estadístico.

Aunque el consumo promedio de sal mineralizada entre las fincas osciló entre 90 y 120 g/vaca/d, este no se modificó durante la lactancia ni entre los dos periodos evaluados. Aun así, fue importante incluir este dato para la estimación del consumo total de P. Como se aprecia en la [tabla 3](#), el consumo estimado de este mineral a partir de la sal fue bajo ($5,47 \pm 2,0$ g/vaca/d) debido a que mientras que el consumo promedio de sal fue de $104 \pm 1,11$ g/vaca/d, su concentración en las sales utilizadas en cada finca fue de $5,2 \pm 1,65\%$. El consumo total de P, sin embargo, no se afectó por el tercio de lactancia pero sí fue superior en el segundo periodo ($p < 0,033$) debido al incremento en el consumo de los suplementos alimenticios y, por la misma razón, la concentración de P en la dieta fue más alta en el segundo periodo ($p < 0,001$).

Tabla 3. Balance y eficiencia en el uso del P en función del tercio de lactancia y la época del año.

Época	Alta precipitación			Baja precipitación			P			
	Tercio	< 100 d	101a 200 d	>201 d	< 100 d	101a 200 d	>201 d	T	E	TxE
Consumo, kg/v/d										
Pradera		0,058	0,056	0,062	0,049	0,062	0,059	0,047	0,384	0,118
Suplementos		0,032	0,027	0,017	0,043	0,038	0,031	0,001	0,001	0,884
Sal		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	-	-	-
Total		0,096	0,091	0,085	0,098	0,107	0,096	0,281	0,031	0,437
P, % de MS		0,500	0,500	0,495	0,540	0,530	0,530	0,333	0,065	0,697
Heces, kg/v/d		0,071	0,070	0,069	0,071	0,080	0,075	0,479	0,720	0,803
Digestibilidad, %		24,5	21,6	19,1	27,5	24,2	21,0	0,001	0,065	0,696
Digestibilidad _{corr} , %		47,1	42,8	40,4	47,0	44,0	40,8			
Orina, kg/v/d		0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,953	0,009	0,965
Pexc. Total, kg/v/d		0,071	0,075	0,074	0,071	0,079	0,071	0,462	0,982	0,816
Leche, kg/v/d		0,024	0,021	0,015	0,023	0,019	0,014	0,001	0,460	0,879
Balance, kg/v/d		0,001	-0,01	0,01	0,05	0,008	0,007	0,267	0,024	0,558
Eficiencia, %		25,8	23,5	17,1	23,9	18,4	15,4	0,001	0,006	0,299

¹T: efecto del tercio de la lactancia; E: efecto de la época del año; Digestibilidad_{corr}: digestibilidad aparente del P corregida por el P endógeno fecal calculado según el modelo del NRC (2001); Pexc: P excretado total.

La cantidad de P secretado en la leche se redujo con el avance de la lactancia al ir disminuyendo la producción de leche ($p < 0,001$), sin que fuera afectado por el periodo de evaluación ($p < 0,460$). Esto no implicó, que el balance de este mineral se modificase en función del avance de la lactancia. Por el contrario, mientras que este no fue diferente entre los tercios de la lactancia ($p > 0,267$), si se vio afectado por el periodo de evaluación ($p < 0,024$) ([Tabla 3](#)). Esto podría ser debido a que en el balance pesó más el efecto del consumo que la secreción láctea. Es necesario tener en cuenta que al igual que con el N, el balance del P es aparente y no representa el P retenido en tejidos debido al alto reciclaje de este mineral a través de la saliva, el cual puede representar hasta el 62% del P consumido⁷⁰.

La eficiencia promedio en el uso del P ([Figura 2](#)) fue más alta que la del N aunque de forma similar al anterior, se redujo con el avance en el tercio de lactancia ($p < 0,001$) ([Tabla 3](#)) debido a la disminución en la producción de leche al tiempo en que el consumo no se modificó.



Figura 2. Balance de P promedio en vacas Holstein lactantes en el norte de Antioquia.

Se muestra el consumo total promedio, el origen de este mineral así como el porcentaje del P consumido que se secreta en la leche y el porcentaje que se excreta por heces y orina. Finalmente, se estima la excreción total anual de P/vaca/d (0,074 kg) y la cantidad total de P/ha/año excretado (93,9 kg) bajo el supuesto de que se tuviera una carga de 3,5 vacas/ha.

Uso del K

La información sobre el uso del K en los hatos evaluados se presenta en la [tabla 4](#) en la que se puede observar que hubo una reducción en el consumo de este ion a partir de los suplementos alimenticios al avanzar la lactancia ($p < 0,001$) y que el consumo fue mayor en el segundo periodo ($p < 0,012$) por las razones ya mencionadas. A diferencia de lo observado con el N y el P, el consumo del K a partir de la pradera no se modificó con el tercio de la lactancia ni tampoco con la época del año.

Tabla 4. Balance y eficiencia en el uso del K en función del tercio de lactancia y la época del año.

Época	Alta precipitación			Baja precipitación			P		
	< 100 d	101a 200 d	>201 d	< 100 d	101a 200 d	> 201 d	T	E	TxE
Consumo, kg/v/d									
Pradera	0,507	0,504	0,534	0,410	0,425	0,490	0,270	0,209	0,322
Suplementos	0,052	0,043	0,025	0,059	0,052	0,042	0,001	0,012	0,587
Total	0,561	0,550	0,562	0,470	0,477	0,532	0,438	0,321	0,299
K, % de MS	2,95	3,07	3,27	2,53	2,83	2,95	0,146	0,033	0,871
Heces, kg/v/d									
	0,071	0,077	0,070	0,074	0,084	0,078	0,618	0,386	0,945
Digestibilidad, %									
	85,9	84,1	86,6	84,0	85,2	84,4	0,902	0,509	0,610
Orina, kg/v/d									
	0,313	0,328	0,328	0,285	0,343	0,333	0,202	0,858	0,589
Kexc. Total, kg/v/d									
	0,427	0,441	0,421	0,404	0,463	0,436	0,290	0,787	0,576
Leche, kg/v/d									
	0,041	0,035	0,022	0,044	0,036	0,024	0,001	0,156	0,936
Balance, kg/v/d									
	0,138	0,110	0,140	0,065	0,113	0,095	0,854	0,190	0,540
Eficiencia, %									
	8,24	7,40	4,26	9,89	6,56	4,89	0,001	0,408	0,212

¹T: efecto del tercio de la lactancia; E: efecto de la época del año; Kexc: K excretado total

La digestibilidad aparente del K en este trabajo no fue afectada por el tercio de la lactancia así como por la época del año

Al contrario de lo que sucede con el P, el K es excretado principalmente por la orina (NRC, 2001). En este trabajo se encontró que en promedio el 59,4% del K consumido fue excretado por la orina lo que equivale al 81,9% del K excretado (ver [figura 3](#)).



Figura 3. Balance de K promedio en vacas Holstein lactantes en el norte de Antioquia

Se muestra el consumo total promedio, el origen de este mineral así como el porcentaje del P consumido que se secreta en la leche y el porcentaje que se excreta por heces y orina. Finalmente, se estima la excreción total anual de P/vaca/d (0,39 kg) y la cantidad total de P/ha/año excretado (498,2 kg) bajo el supuesto de que se tuviera una carga de 3,5 vacas/ha.

La secreción de K en la leche se redujo con el avance de la lactancia ($p < 0,001$) sin que hubiesen cambios debido a la época del año. Dicha secreción significó, en consecuencia, que la eficiencia en el uso del K consumido en la síntesis de la leche también se redujera con el avance de la lactancia pasando de un promedio de 9,1% en el primer tercio a uno de 4,6% en el tercer tercio para un promedio total de 6,43% ([Figura 3](#)).

Discusión

La información publicada sobre la calidad nutricional de las praderas de kikuyo y de los suplementos alimenticios utilizados en este experimento indica que no se presentaron cambios significativos entre los dos periodos evaluados, no obstante que hubo diferencia significativa en la precipitación⁴³. Es de destacarse el alto contenido de PC, FDN y K en las praderas.

Uso del N

Aunque la concentración de PC de la dieta total fue más alta en el segundo periodo de evaluación ($p < 0,013$), en general, los valores hallados fueron mucho más altos que los recomendados para vacas lactantes con el nivel de producción de las que se evaluaron en este trabajo⁶⁴. Así, para vacas de primer tercio produciendo aproximadamente 29,0 L de leche, se recomienda una concentración de PC en la dieta de 15,2% mientras que para vacas de último tercio de lactancia produciendo 17,0 L de leche, recomienda 13,4% de PC en la dieta. En una evaluación de la composición química de dietas para vacas lactantes de Norteamérica (739 datos) y Norte de Europa (998 datos), se reportó que en promedio el contenido de PC en las primeras fue de

17,8% mientras que en las segundas fue de 16,5% ⁴¹, promedios muchos más bajos que los reportados en este trabajo no obstante que la producción de leche en Norteamérica fue de 31,4 L/vaca/d mientras que en el Norte de Europa fue de 25,4 L/vaca/d, en promedio. Estos excesos de proteína en la dieta están asociados con una menor eficiencia en el uso del N ^{8, 14, 61} y por lo tanto, con una mayor pérdida de N al ambiente ^{34, 81}, así como con una mayor incidencia de problemas reproductivos en las vacas ^{12, 73} y mayores costos de producción ¹⁸.

La reducción en la excreción fecal del N a medida que avanzó la lactancia pudo ser debida al incremento en el consumo de forraje de la pradera y la reducción en el consumo de los suplementos alimenticios con el consecuente aumento de N de alta degradabilidad proveniente de la pradera. Esto, sin embargo, no afectó la digestibilidad del N total consumido ($p > 0,28$) cuyos valores fueron similares a los reportados previamente en un hato lechero del oriente de Antioquia en el que también predominaban praderas de kikuyo ²², así como a la digestibilidad reportada en vacas lactantes de la Sabana de Bogotá consumiendo praderas mixtas de kikuyo y festuca (*Festuca arundinacea*) y que eran suplementadas con 6,0 kg de un alimento comercial ¹⁷. Así mismo, fueron similares a los reportados en vacas Holstein consumiendo ensilaje de maíz ³⁴ y en vacas Rojas y Blancas suecas consumiendo alfalfa y *Lolium perenne* ²⁸. Estos valores, sin embargo, fueron ligeramente más bajos que los reportados en vacas Holstein pastando praderas de mixtas de zona templada ⁹ pero más altos que los reportados en vacas Holstein consumiendo ensilaje de maíz ⁵. La excreción fecal del N estuvo positiva y significativamente más correlacionada con el consumo de N de los suplementos alimenticios que con el consumo de N de las praderas (Tabla 2).

La excreción urinaria del N como porcentaje del N consumido fue en promedio $46,0 \pm 13,6\%$ (Tabla 1). Este valor es ligeramente más bajo que el reportado para vacas al final de la lactancia que pastaban praderas de *Lolium perenne* L. ⁸⁴ y en las que se encontró que el N urinario representó entre el 46 y 51% del N consumido. Otros autores trabajando con vacas Holstein que pastaban praderas de kikuyo, reportaron valores más bajos al encontrar que el N excretado en orina representó entre el 28,8 y 33,4% del N consumido ²³. Este parámetro depende del nivel de suplementación alimenticia. Es así como se ha encontrado que cuando vacas Holstein que pastaban bajo una oferta forrajera alta y una suplementación baja (0,8 kg/vaca/d), esta variable fue de 41,8% mientras que cuando la suplementación fue alta (8,6 kg/vaca/d) la excreción urinaria del N fue de tan solo 27,3% ⁹. Otro autor ¹³ reportó que el N urinario representó entre 25,4% en vacas suplementadas con un alimento rico en azúcares solubles (1,4 kg de melaza en 7,0 kg/vaca/d) y 30,3% en aquellas que fueron suplementadas con almidones de lenta degradación (3,5 kg de maíz quebrado en 7,0 kg/vaca/d). Según el autor, cuando el consumo de N se incrementa por encima de 400 g/d (en vacas de 580 kg de PV), la excreción urinaria aumenta exponencialmente y se constituye en la principal vía de excreción. En el presente trabajo, el consumo de N estuvo siempre por encima de 400 g, para vacas ligeramente más pesadas que las del trabajo anterior ¹³ lo que podría explicar parcialmente el incremento en la proporción del N consumido que fue excretado por la orina. Otros autores han reportado que cuando el contenido de proteína en la dieta para vacas lactantes supera el 13% de la MS, la excreción urinaria del N supera a las pérdidas fecales ⁵⁹. Según los datos de estos autores, al pasar de 13% a 16% de PC en la dieta, la excreción urinaria del N pasa de representar el 32,9 al 38,9% del N consumido, mientras que la excreción fecal pasó de 33,7 a 30,5% del N consumido. La fuente del N en la dieta, sin embargo, afecta la eliminación fecal y urinaria del N consumido. Fue así como se encontró una

correlación positiva entre el consumo de N a partir de los suplementos alimenticios y la excreción urinaria mientras que con el N proveniente del forraje, la correlación no fue significativa ([Tabla 2](#)).

La principal forma de excreción del N por la orina es urea ^{62, 79} y en este trabajo representó el $72,6 \pm 20,8\%$ del N excretado en la orina sin que fuese afectado por el tercio de lactancia o la época del año. Este valor, sin embargo, fue más bajo que el reportado en hatos lecheros europeos en el que representó 82,2% y en hatos americanos donde representó el 75,3% del N urinario ⁷⁹. En un trabajo realizado en Antioquia, se reportó que esta variable osciló entre 71,6% y 77,4% para vacas Holstein de primer tercio de lactancia recibiendo una alta y baja suplementación alimenticia, respectivamente ²². El porcentaje de N en la orina excretado en forma de urea se incrementa a medida que aumenta la concentración de PC en la dieta como fue demostrado en un trabajo en el que se halló un valor de 60,3% con una dieta de 13% de PC y de 68,4% con una dieta de 16% de PC ⁵⁹. Resultados similares fueron reportados en Suecia ³³. Esta forma de excreción es de suma importancia debido a que la urea representa un forma más vulnerable de pérdidas de N que el excretado en heces dada la rapidez con la que se presenta su hidrólisis y liberación de amoníaco, un gas de alta volatilización ^{25,51}. Se ha estimado que bajo condiciones tropicales las pérdidas por volatilización del amoníaco son más altas y pueden representar hasta el 21% del nitrógeno excretado por los animales ¹¹. Ha sido estimado que el N amoniacal volatilizado puede corresponder hasta el 22,4% del N total excretado y que el originado a partir de la orina representaría hasta el 88,7% del amoníaco total volatilizado ⁵¹. La hidrólisis de la urea urinaria tiene fuertes implicaciones ambientales adicionales toda vez que parte del amoníaco puede ser transformado hasta nitratos y durante este proceso se puede formar óxido nitroso, un potente gas efecto invernadero ^{25,65}. El aporte directo de la excreción de amoníaco en la orina en el presente trabajo, sin embargo, fue muy bajo ya que este representó $0,51 \pm 0,39\%$ del N urinario, valores que se encuentran dentro de los reportados por otro autores al encontrar que el N amoniacal oscila entre 0,31 y 0,9% del N urinario total ³⁵. Debido a lo anterior es muy importante establecer estrategias que permitan reducir la excreción urinaria de Urea con la finalidad no solo de mejorar la eficiencia en el uso del N en estos sistemas de producción, si no, además, para reducir el potencial impacto ambiental que estos generan.

La correlación positiva entre el consumo del N a partir del suplemento alimenticio y la secreción de N en la leche hallada en este trabajo ([Tabla 2](#)) también ha sido reportada en otro trabajo realizado con vacas Holstein en Antioquia ²². En este mismo trabajo se reportó, así mismo, que el aumento en la suplementación alimenticia reduce la concentración de PC en la leche. En otro trabajo realizado en el norte y oriente de Antioquia y en el que se evaluó el efecto de la composición química de los suplementos alimenticios y de las praderas se encontró una correlación negativa entre el contenido de PC de los suplementos y el contenido de PC en la leche ($r=-0,44$, $p<0,05$) mientras que la correlación con el contenido de PC en las praderas fue positiva ($r=0,54$, $p<0,014$) ³⁶. El balance del N, que corresponde al N retenido en tejidos ⁷², por el contrario, se fue incrementando con el avance de la lactancia como un reflejo de la reducción en la secreción láctea y un incremento en la proporción de forraje en la dieta ($p<0,05$). De hecho, la correlación entre el balance de N y el consumo de N a partir del forraje fue positiva y altamente significativa ([Tabla 2](#)). Es necesario considerar, sin embargo, que este balance es aparente y que no necesariamente el N que no es excretado en heces y orina o secretado en la leche, se retiene como N

en los tejidos debido no solo a que dicho valor asume los errores de cálculo del N consumido y excretado⁷⁸, sino que además, una porción importante es reciclado al tracto gastrointestinal a través de las glándulas parótidas y la pared ruminal lo que genera la sobreestimación del N retenido en los tejidos ^{57, 78}.

Las eficiencias en el uso del N halladas en este trabajo (Tabla 1) son superiores a los reportados en vacas Holstein del oriente de Antioquia ^{3, 22} así como vacas Holstein de la Sabana de Bogotá ^{17, 43} y son ligeramente más altas que los reportados en vacas Holstein de primero y segundo tercio de lactancia del estado de Pensilvania (Estados Unidos) (entre 15,7 y 20,6%) ² y similares a los encontrados en vacas Rojas y Blancas suecas de segundo tercio de lactancia (entre 20,0 y 21,0%) ²⁸, pero inferiores a los encontrados en Vacas Holstein de primer tercio de lactancia en Alemania (entre 33,1 y 40,6%) ⁵, en vacas lecheras de los Estados Unidos (entre 29,5 y 30,4%) ⁴⁸ y en vacas Holstein de segundo tercio de lactancia del estado de Sao Paulo (Brasil) (entre 23,4 y 25,7%) ³⁴. En un meta-análisis en el que se utilizaron 739 datos de Norteamérica y 998 datos del Norte de Europa, se reportó que la eficiencia promedio en Norteamérica fue de 24,7% mientras que la del Norte de Europa fue de 27,7%⁴¹, valores más altos que los hallados en este trabajo.

Aunque son varios los factores dietarios los que inciden sobre la eficiencia en el uso del N en vacas lactantes⁸, es el contenido de PC en la dieta uno de los más importantes y aunque autores algunos reportan una reducción lineal en la eficiencia en el uso del N al aumentar su concentración en la dieta ⁵³, se ha establecido que es el consumo de N a partir de las praderas el componente dietario que más afecta este parámetro ^{19, 49, 82} lo que se demuestra en este trabajo al revisar la correlación negativa y altamente significativa entre el consumo de N de los forrajes y la eficiencia en el uso para la síntesis de proteína en la leche ($r=-0,569$, $p<0,001$) (Tabla 2). Esta eficiencia fue, además, más baja en el segundo periodo ($p<0,02$) debido probablemente a que aunque se presentó un mayor consumo de suplementos alimenticios en este periodo que aumentaron el aporte de N en la dieta, esto no mejoró la secreción láctea del nitrógeno. A pesar de ello, no se encontró una correlación significativa en el consumo de N a partir de los suplementos y la eficiencia en el uso del N (Tabla 2). En otro trabajo con vacas cruzadas Holstein x Jersey tampoco se encontró efecto del nivel de suplementación sobre la eficiencia en el uso del N ³⁹. Otros autores, por el contrario, encontraron un incremento significativo en la eficiencia en el uso de N en vacas Holstein pastoreando praderas mezcladas con gramíneas C3 al pasar de una suplementación baja (0,8 kg/vaca/d) a una alta (8,6 kg/vaca/d) ⁹. En vista del impacto negativo que genera la baja eficiencia en el uso del N y de su asociación con el contenido de N en la dieta, la tendencia mundial es la de reducir dicha concentración. Una revisión del efecto de diversos factores dietarios en vacas Rojas Suecas sobre la eficiencia en el uso del N ⁶⁰, permitió concluir que dietas con 16,0 a 17,0% de PC son suficientes para sostener una buena producción de leche al inicio de la lactancia.

Otro factor que incide significativamente sobre la eficiencia en el uso del N es el nivel de secreción de N en la leche cuya correlación fue incluso más alta ($r=0,707$, $p<0,001$) que con el consumo de N de la pradera. Otros autores también han reportado una correlación positiva entre estas dos variables aunque no tal alta como la reportada aquí. Así, el análisis de la información de 20 hatos en Suecia arrojó una correlación de 0,22 ³¹, mientras que el análisis del 7% de los hatos lecheros del País Vasco (España) permitió obtener una de 0,45 ⁴. Otros autores, luego de analizar 372 datos de hatos lecheros del estado de Virginia (Estados Unidos), reportaron una correlación de 0,50 ⁴⁷. Estos resultados sugieren que el incremento en la producción

de leche puede ser una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia en el uso del N. Es por ello que la aplicación de hormona del crecimiento y realizar un ordeño adicional incrementan la producción de leche y la eficiencia en el uso del N de manera significativa ⁶⁹.

Uso del P

En general, las concentraciones promedio de P en las dietas en este trabajo podrían considerarse más altas que las recomendadas por el NRC ⁶¹ para vacas lactantes con producciones de leche similares a las reportadas aquí: así, para vacas de 600 kg de PV produciendo 30 L de leche, el requerimiento de P total se ubica en 0,47% mientras que para una producción de 17 L de leche es de 0,39%. Estos cálculos, sin embargo, se hacen asumiendo que la digestibilidad del P en la dieta es del 50% pero como se aprecia en la [tabla 3](#), la digestibilidad aparente de este mineral en este trabajo fue mucho más baja con lo que las concentraciones de P en la dieta, al contrario, deberían ser más altas que las recomendadas por el NRC ⁶¹. En un trabajo realizado en la Sabana de Bogotá ⁵² con vacas Holstein lactantes y pastando, así mismo, praderas de Kikuyo se reportó una digestibilidad aparente del P en la dieta ligeramente más alta a la hallada en este trabajo (32%) pero igualmente más baja que la sugerida por el NRC ⁶¹. En un trabajo en el que se utilizaron vacas Holstein alimentadas con una ración completamente mezclada y cuyo contenido de P era del 0,36%, encontraron que la digestibilidad del P fue del 29% pero cuando la concentración de P bajó a 0,24%, la digestibilidad de este mineral se incrementó hasta 49% ⁷⁵. Otros autores, igualmente encontraron que ante el aumento en la concentración de P en la dieta, la digestibilidad se reduce significativamente pasando de 45% cuando la concentración era de 0,31% de la MS hasta 24% cuando la concentración fue del 0,47% de la MS ⁸⁷. Estas digestibilidades, sin embargo, están afectadas por las pérdidas endógenas. Se estima que entre el 95 y 98% del P total es excretado en las heces y está constituido por el P dietario no absorbido, el P endógeno que es excretado inevitablemente y el endógeno excretado para mantener la homeóstasis de este mineral ⁶¹. En este trabajo, la excreción fecal representó el 98,8% del total, valor ligeramente más alto que el máximo estimado por el NRC ⁶¹, lo que pudo ser debido a que algunas muestras de orina presentaron valores no detectables que influenciaron negativamente en los valores obtenidos por esta vía de excreción.

En un trabajo realizado en la Sabana de Bogotá ⁵² se reportó que el P excretado en las heces representó el 99,6% del total excretado mientras que en un trabajo realizado en Dinamarca ⁷⁰ se encontró que dicha excreción corresponde al 99,2%. En este trabajo la excreción total promedio de P fue de 73,5 g/vaca/d ([Figura 2](#)), valor que es mucho mayor que el promedio hallado para hatos lecheros de diversas partes del mundo (53,7 g/vaca/d) ⁵¹ así como el encontrado en hatos lecheros en el País Vasco (España) ⁴ (59,3 g/vaca/d) y que el reportado en hatos lecheros de Australia (61,1 g/vaca/d) ³⁷. En el presente trabajo esta excreción (73,5 g/vaca/d) equivaldría al aporte de 93,9 kg de P/ha/año en un hato promedio con una capacidad de carga de 3,5 vacas/ha ([Figura 2](#)). Esta excreción duplica la calculada en hatos lecheros en el País Vasco (España) cuyo promedio fue de 45,4 kg/ha/año ⁴.

El P de origen endógeno puede representar entre el 58 ⁸³ y más del 63% del P excretado en las heces ⁴² lo que hace que la digestibilidad aparente subestime marcadamente la digestibilidad verdadera de este mineral. Así, ha sido estimado que mientras la digestibilidad aparente del P de una dieta basada en ácido fosfórico fue del 36,4%, al hacer las correcciones por el P fecal de origen endógeno, se encontró

que la digestibilidad verdadera fue de 76,3% ⁸³. En otro trabajo fue calculado que la digestibilidad aparente del P en ovejas alimentadas con heno de alfalfa fue del 21,8%, mientras que la digestibilidad verdadera fue de 92,8% ⁵⁴. La estimación de la digestibilidad total del P del pasto kikuyo medido mediante bolsas móviles de nailón, ha sido estimada en 96,7% ²⁰, valor ligeramente más alto que el estimado heno de alfalfa ⁵⁴ pero similar a los estimados en gramíneas tropicales ²⁷. Según el NRC ⁶¹ las pérdidas endógenas fecales de P corresponden a 1 g/kg de MS consumida independientemente de la concentración del mineral en la dieta. Basados en esta aproximación, la digestibilidad promedio del P en este trabajo sería del 43,7%, valor más cercano al asumido por el NRC ⁶¹. Como se puede apreciar ([Tabla 3](#)), la digestibilidad se reduce con el avance de la lactancia lo que estaría asociado al incremento en el consumo.

La eficiencia en el uso del P ([Tabla 3](#)) fueron más altos que los reportados con vacas Holstein de primero y segundo tercio de lactancia en la Sabana de Bogotá y que oscilaron entre 17,8 y 21,1%, dependiendo del nivel de inclusión de ensilaje de avena ⁵². Estos valores, sin embargo, son más bajos que los reportados en otras latitudes. Así, en hatos lecheros del norte de España fue reportado que la eficiencia promedio de P fue del 31,9% ⁴ mientras que dicha eficiencia fue del 42% en un trabajo en el que se revisaron 19 publicaciones en diversas partes del mundo ⁵⁰. Esta menor eficiencia en el uso del P en este trabajo estaría asociada a la mayor concentración y consumo de este mineral en la dieta y a la menor producción de leche comparado con los datos reportados en otras latitudes. Esto se corrobora al observar que la eficiencia en el uso de este mineral fue menor en el segundo periodo de evaluación, en el que el consumo fue mayor no obstante que la secreción láctea fue similar a la del primer periodo ($p < 0,006$) ([Tabla 3](#)).

Uso del K

El consumo promedio total de K en este trabajo (525 g/vaca/d, ver [figura 3](#)) fue más alto que el reportado en un hato Holstein en Suiza sometido a una dieta alta en K (409 g/vaca/d)²¹ así como el encontrado en 51 hatos lecheros del estado de California (Estados Unidos) (338 g/vaca/d) ¹⁶ y el hallado en vacas Holstein lactantes de un hato del estado de Virginia (Estados Unidos) (320 g/vaca/d) ⁴⁴. Esto se debe fundamentalmente al alto contenido de K en la dieta consumida por estos animales. Como se puede observar en la [tabla 4](#), el contenido de K osciló entre 2,55 y 3,26% de la MS y cuya variación estuvo positivamente correlacionada con el consumo de forraje por parte de los animales ($r=0,75$, $p < 0,001$). Esta concentración de K en la dieta es muy superior a la recomendada para vacas lactantes con las características de las utilizadas en este trabajo que, de acuerdo al modelo del NRC ⁶¹, debería ser en promedio de 0,93% de la MS. Esto significa que las vacas en los hatos lecheros del norte de Antioquia consumen en promedio 3,17 veces la cantidad de K que deberían de consumir en condiciones adecuadas. Esto tiene implicaciones de diversa índole que van desde el desequilibrio en el balance ácido-base en los animales¹, pasando por efectos en la calidad composicional de la leche tanto en el contenido de grasa ⁴⁵ como en el contenido de proteína ²¹, así como en el impacto ambiental que su excreción excesiva puede generar ²⁴.

La digestibilidad aparente del K en este trabajo fue ligeramente más baja que la reportada en los Países Bajos luego de promediar los datos de 10 trabajos de investigación (87,7%) ², mientras que en un trabajo realizado en los Estados Unidos, los autores encontraron que esta fue más baja (79,3%) ⁴⁴. En un trabajo realizado

en Israel, por otro lado, se encontró que la digestibilidad del K fue aún más baja al reportar un valor promedio de 74,8% en vacas Holstein de siete semanas de lactancia ⁷⁷.

La excreción urinaria promedio de K en este trabajo fue menor que la reportada en vacas Holstein en los Estados Unidos ⁴⁴ en las que se encontró que esta osciló entre 69,0 y 86,3% del K consumido no obstante que el consumo total de dicho ion fue menor al encontrado en este trabajo (0,362 kg/vaca/d en promedio). Así mismo, fue menor que el valor reportado como promedio de 10 estudios realizados en los Países Bajos, que correspondió al 79,7% del K consumido ⁷.

Las eficiencias en la secreción láctea del K halladas en este trabajo fueron más bajas que las reportadas por otros autores, particularmente las halladas al inicio de la lactancia. Así, en vacas Holstein en Israel se encontró que dicha eficiencia fue de 38,8% ⁷⁷ mientras que para vacas Holstein del primer tercio de lactancia en un hato de Canadá se reportó una eficiencia del 26,0% y para las del final de la lactancia fue de 5,2% ⁷⁴. Otros autores trabajando con vacas Holstein de 8 semanas de lactancia en otro hato americano ⁴⁴, encontraron que el 18,4% del K consumido se secretó en la leche en tanto que esta se redujo a 15,9% en vacas de 20 semanas de lactancia. En los países Bajos, por otro lado, el promedio de 10 trabajos con vacas lactantes fue de 10,5%. La menor eficiencia en el uso del K en este trabajo sería consecuencia de una mayor concentración de K en la dieta y una menor producción de leche comparado con los otros trabajos. Así, el contenido de K en el trabajo con vacas Holstein israelíes fue de 0,95% ⁷⁷, en el de Canadá fue de 1,41% ⁷⁴ y 1,36% ⁴⁴ mientras que en de los Países bajos fue de 2,0% ⁷. La producción de leche, por su parte, fue de 40,0 L/vaca/d en las vacas israelíes ⁷⁷; de 32,0 ⁷⁴ en las vacas canadienses; de 41,0 L/vaca/d ⁴⁴ en los dos hatos americanos y de 25,2 L/vaca/d en los trabajos de los Países Bajos ⁷.

Al igual que con el N y el P, la excreción anual estimada de K/ha en estos hatos es significativamente alta (Figura 3) y representa casi dos veces la que se esperaría encontrar en hatos lecheros de los Estados Unidos que es de casi 260 kg/ha/año ⁴⁰. El promedio para 51 hatos lecheros del estado de California en los Estados Unidos se registró una excreción anual vaca/ha de 50,7 kg, que equivaldrían a 175 kg/ha/año ¹⁵ para una CC de 3,5 animales. Esta excreción es 2,8 veces más baja que la hallada en este trabajo.

Conclusiones

Con base en el análisis de la información recolectada en los cinco hatos lecheros en este estudio, se concluye que con el avance de la lactancia se reduce la eficiencia en el uso del N, del P y del K en tanto que en el periodo seco es menor la eficiencia del N y del P debido al incremento en el consumo de los suplementos alimenticios. Esto se presentó no obstante que ni la disponibilidad ni el consumo de la pradera se vieron afectados por la reducción en la precipitación. La excreción urinaria y fecal de N, P y K excede las reportadas por otros países debido a los altos contenidos de estos elementos en las praderas. Se concluye, entonces, que la reducción en la precipitación que se presenta durante la época seca afecta negativamente el balance y eficiencia en el uso de los nutrientes en vacas lactantes debido principalmente a pautas de manejo en el suplemento alimenticio.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad de Antioquia, a los señores Jorge Morales, Reynaldo Builes, Vicente Lopera y a la empresa Solla S.A., por facilitar las instalaciones, los animales y la información necesaria para la ejecución de este proyecto; al Ingeniero Pecuario Luis Fernando Escalante por su colaboración en el trabajo de campo.

Este trabajo fue financiado por Colciencias, la Cooperativa Colanta y la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, dentro del Programa de Investigación en la Gestión del Riesgo Asociado a Cambio Climático y Ambiental en Cuencas Hidrográficas, Convocatoria 543-2011 de Colciencias.

Referencias

1. Afzaal D, Nisa M, Khan MA, Sarwar M. A review on acid base status in dairy cows: implications of dietary cation-anion balance. *Pakistan Vet J* 2004; 24(4): 199 – 202. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.534.4550&rep=rep1&type=pdf>
2. Alcaldía de Medellín. La región y la metrópoli. Documento técnico de soporte POT (Acuerdo 46/2006). 2006. 42 p. https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Planeaci%C3%B3n%20Municipal/Secciones/Informaci%C3%B3n%20General/Documentos/POT/ACUERDO%2046%20DE%202006_para_pdf.pdf
3. Alcaráz C, Alviar D, Correa HJ. Eficiencia en el uso de nitrógeno en vacas lactantes en un hato lechero del oriente antioqueño. Encuentro Nacional de Investigadores en Ciencias Pecuarias, Universidad de Antioquia, Medellín. *Rev Col Cien Pec* 2001; 14 (Supl. 1): 34.
4. Arriaga H, Pinto M, Calsamiglia S, Merino P. Nutritional and management strategies on nitrogen and phosphorus use efficiency of lactating dairy cattle on commercial farms: An environmental perspective. *J Dairy Sci* 2009; 92(1): 204–215.
5. Aschemann M. Effect of niacin on the efficiency of nitrogen utilisation in the rumen of dairy cows. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Grades Doktor der Agrarwissenschaften, Wilhelms-Universität zu Bonn. 2012. 84 p. <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2012/2943/2943.pdf>
6. Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.). Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists. 18th edition Washington, USA. 2005. <https://es.scribd.com/doc/131064441/AOAC-2005>
7. Bannink A, Valk H, Van Vuuren AM. Intake and excretion of sodium, potassium, and nitrogen and the effects on urine production by lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 1999; 82(5): 1008–1018. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10342240>
8. Barber D. The effect of dietary factors on nitrogen use efficiency and the relationship with the efficiency of feed utilisation within dairy production systems. Report to the Stapledon Memorial Trust, United Kingdom. 2013.10 p.

9. Bargo F, Muller LD, Delahoy JE, Cassidy TW. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J Dairy Sci* 2002; 85(7):1777-1792. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(02\)74252-5/fulltext?refuid=S0022-0302\(04\)73421-9&refissn=0022-0302&mobileUi=0](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(02)74252-5/fulltext?refuid=S0022-0302(04)73421-9&refissn=0022-0302&mobileUi=0)
10. Botero LV. Vacas sufren el cambio climático. *El Colombiano*, Medellín, 8 de Noviembre. 2008; [acceso 13 de octubre de 2014]. URL: http://www.elcolombiano.com/BancoConocimiento/V/vacas_sufren_el_cambio_climatico/vacas_sufren_el_cambio_climatico.asp?CodSeccion=9
11. Bouwman AF, Van Drecht G, Van der Hoek KW. Global and regional surface nitrogen balances in intensive agricultural production systems for the period 1970-2030. *Pedosph*, 2005; 15(2): 137-155.
12. Butler WR. Relationships of Dietary Protein and Fertility. *Adv Dairy Tech*, 2005; 17: 159-168.
13. Castillo AR. Improving nitrogen utilisation in dairy cows. PhD Thesis, The University of Reading (UK), 1999.180 p.
14. Castillo AR, Kebreab E, Beever DE, Barbi JH, Sutton JD, *et al.* The effect of protein supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *J Anim Sci* 2001; 79(1): 247-253. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11204707>
15. Castillo AR, Santos JEP, Kirby HC. Feed conversion and efficiency of NPK utilization in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2005; 83(Suppl.1): paper 252. <http://cemerced.ucdavis.edu/files/40470.pdf>
16. Castillo AR, Santos JEP, Tabone TJ. Mineral balances, including in drinking water, estimated for Merced County dairy herds. *Calif Agr* 2007; 61(2): 90-95. <http://ucanr.edu/repository/cao/landingpage.cfm?article=ca.v061n02p90&fulltext=yes>
17. Castro E, Mojica JE, León J, Pabón M, Carulla J, *et al.* Balance de nitrógeno en pastura de gramíneas y pastura de gramínea más *Lotus uliginosus* en la sabana de Bogotá, Colombia. *Rev Corpoica – Cien Tec Agrop* 2009; 10(1): 91-101. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=bac.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=056178>
18. Chase LE, Higgs RJ, Van Amburgh ME. Feeding low crude protein rations to dairy cows – What have we learned? In: 23th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium Proceedings, University of Florida; 2012. p. 32 – 42.
19. Cheng L, Woodward SL, Dewhurst RJ, Zhou H, Edwards GR. Nitrogen partitioning, energy use efficiency and isotopic fractionation measurements from cows differing in genetic merit fed low-quality pasture in late lactation. *Anim Prod Sci* 2014; 54(10): 1651-1656.
20. Correa HJ. Cinética de la liberación ruminal de macrominerales en pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) cosechado a dos edades de rebrote. *Liv Res Rural Dev* 2006; 18(2): Article 31. <http://www.lrrd.org/>

21. Correa HJ, Carulla Juan E, Pabón ML. Contenido de sodio y potasio en la leche y su relación con la concentración de proteína. IX Encuentro Nacional de Investigadores en Ciencias Pecuarias, Universidad de Antioquia, Medellín. Rev Col Cien Pec 2007; 20(4): 620. <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/rccp>
22. Correa HJ, Pabón ML, Sánchez MY, Carulla JE. Efecto del nivel de suplementación sobre el uso del nitrógeno, el volumen y la calidad de la leche en vacas Holstein de primero y segundo tercio de lactancia en el trópico alto de Antioquia. Liv Res Rural Dev 2011; 23(4): Article 77. <http://www.lrrd.org/>
23. Correa HJ, Rodríguez YG, Pabón ML, Carulla JE. Efecto de la oferta de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sobre la producción, la calidad de la leche y el balance de nitrógeno en vacas Holstein. Liv Res Rural Dev 2012; 24(11): Article 204. <http://www.lrrd.org/>
24. Dairy Australia. Effluent and manure management database for the australian dairy industry. Southbank Victoria. 2008. 236 p. <http://www.dairyclimatetoolkit.com.au/~media/ClimateToolkit/Reports/DA%202008%20Effluent%20and%20manure%20mgt%20database.pdf>
25. Dijkstra J, Oenema O, van Groenigen JW, Spek JW, van Vuuren AM, *et al.* Diet effects on urine composition of cattle and N₂O emissions. Animal, 2013; 7(Suppl. 2): 292–302. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23739471>
26. Echeverri J, Restrepo LF, Parra JE. Evaluación comparativa de los parámetros productivos y agronómicos del pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum* bajo dos metodologías de fertilización. Rev Lasallista Inv 2011; 7(2): 94 – 100. <http://www.redalyc.org/pdf/695/69519014011.pdf>
27. Emanuele SM, Staples CR, Wilcox CJ. Extent and site of mineral release from six forage species incubated in mobile dacron bags. J Anim Sci 1991; 69(2): 801-810. <https://www.animalsciencepublications.org/publications/search?search%5B0%5D=bahiagrass&numResults=10&sort=relevance&stem=0&facet-author%5B%5D=Staples%20C%20R>
28. Eriksson T, Murphy M, Ciszuk P, Burstedt E. Nitrogen balance, microbial protein production, and milk production in dairy cows fed fodder beets and potatoes, or barley. J Dairy Sci 2004; 87(4): 1057–1070. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15259242>
29. Espinal LS. Apuntes ecológicos. Universidad Nacional de Colombia, Seccional Medellín. Ed. Lealon, Medellín, Colombia. 1991. 152 p.
30. Esterhuizen L, Fossey A, Potgieter E. Pollution index for dairy farm borehole water quality in the Free State, South Africa. 3rd Annual Eco-Health and Well-Being Research Forum, Vaal Triangle Campus of the North-West University (NWU Vaal). 2012. 8 p. . http://www.nwu.ac.za/sites/www.nwu.ac.za/files/files/v-eco-health_forum/Documentation/3rd_eco_health_forum/Programme%20C.pdf

31. Ferm E. Nutrient efficiency in Swedish dairy cows fed total mixed rations or partial mixed rations. Thesis of Master of Animal Science, Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Umeå. 2014. 52 p.
32. Food and Agriculture Organization (FAO). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. La ganadería a examen. Roma. 2009. 200 p. <http://www.fao.org/docrep/012/i0680s/i0680s.pdf>
33. Frank B, Swensson C. Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows and milk yield, concentration of urea in milk and ammonia emissions. J Dairy Sci 2002; 85(7):1829–1838. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pub-med/12201534>
34. Gandra JR, Rennó FP, Freitas JE, Maturana M, Barletta RV. Nutrients balances and milk fatty acid profile of mid lactation dairy cows supplemented with monensin. Rev Bras Saúde Prod Anim, Salvador 2012; 13(4): 1180-1196. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-99402012000400016
35. Gonda HL Lindberg JE. Evaluation of dietary nitrogen utilization in dairy cows based on urea concentrations in blood, urine and milk, and on urinary concentration of purine derivatives. Acta Agric Scan, Sect A – Anim Sci 1994; 44(4): 236–245. <http://www.tandfonline.com/toc/sagb20/current>
36. González C, Correa HJ. Factores nutricionales y alimenticios que afectan la producción de leche y el contenido de proteína en la leche, en hatos especializados de Antioquia. Despertar Lechero 2007; 28: 18 – 30.
37. Gourley CJP, Aarons SR, Dougherty WJ, Weaver DM. Nitrogen and phosphorus balances and efficiencies on contrasting dairy farms in Australia. 2011. 17 p. http://www.massey.ac.nz/~flrc/workshops/11/Manuscripts/Gourley_2011.pdf
38. Halden R, Schwab K. Environmental impact of industrial farm animal production. A Report of the Pew Commission on Industrial Farm Animal Production. 2008. 56 p. http://www.jhsph.edu/research/centers-and-institutes/johns-hopkins-center-for-a-livable-future/pdf/research/clf_reports/CLF-PEW-for%20Web.pdf
39. Harkin CJ. Supplementation of dairy cows grazing to low and high post grazing pasture height. Thesis of Master of Agricultural Science, Lincoln University, New Zealand. 2013. 51 p.
40. Hart J, Gangwer M, Graham M, Marx ES. Dairy manure as a fertilizer source. Nutrient Management for Dairy Production, EM 8586. 1997. 4 p.
41. Huhtanen P, Hristov AN. A meta-analysis of the effects of dietary protein concentration and degradability on milk protein yield and milk N efficiency in dairy cows. J Dairy Sci 2009; 92(7): 3222–3232. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pub-med/19528599>
42. Iqbal MU, Bilal Q, Muhammad G, Sajid MS. Absorption, availability, metabolism and excretion of phosphorus in ruminants. Int J Agri Biol 2005; 7(4): 689–693. http://www.fspublishers.org/published_papers/64804...pdf

43. Jaimes LJ, Cerón JM, Correa HJ. Efecto de la época del año y la etapa de lactancia sobre el consumo alimenticio de vacas Holstein pastoreando Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en Colombia. Liv Res Rural Dev 2015; 27 (12): Article 244. <http://www.lrrd.org/lrrd27/12/jaim27244.html>
44. Jarrett JP, Taylor MS, Nennich TD, Knowlton KF, Harrison J, *et al.* Effect of dietary calcium and stage of lactation on potassium balance in lactating Holstein cows through 20 weeks of lactation. The Prof Anim Scient 2012; 28:502–506. [http://www.professionalanimalscientist.org/article/S1080-7446\(15\)30398-3/pdf](http://www.professionalanimalscientist.org/article/S1080-7446(15)30398-3/pdf)
45. Jenkins TC, Morris PH, Block E. Role of K on rumen fermentation and milk fat synthesis. In: 23rd Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium, University of Florida; 2012: 175 – 189. <http://dairy.ifas.ufl.edu/rns/>
46. 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(10): 2681–2692. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9812273>
47. Jonker JS, Kohn RA, High J. Dairy herd management practices that impact nitrogen utilization efficiency. J Dairy Sci 2002; 85(5): 1218–1226. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.559.6633&rep=rep1&type=pdf>
48. Kincaid RL, Harrison JH, White RA. Strategies to reduce the crude protein (nitrogen) intake of dairy cows for economic and environmental goals. Fact-sheet, Natural Resources Conservation Service Feed Management 592 Practice Standard, United States Department of Agriculture. 2006. 11 p.
49. Keim JP, Anrique R. Nutritional strategies to improve nitrogen use efficiency by grazing dairy cows. Chilean J Agric Res 2011; 71(4): 1-19. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-58392011000400019
50. Klop G, Ellis JL, Bannink A, Kebreab E, France J, *et al.* Meta-analysis of factors that affect the utilization efficiency of phosphorus in lactating dairy cows. J Dairy Sci 2013; 96(6): 3936–3949. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23567051>
51. Laubach J, Taghizadeh-Toosi A, Gibbs SJ, Sherlock RR, Kelliher FM, *et al.* Ammonia emissions from cattle urine and dung excreted on pasture. Biogeosci, 2013; 10: 327–338. <http://www.biogeosciences.net/10/327/2013/bg-10-327-2013.pdf>
52. León JM, Mojica JE, Castro E, Cárdenas EA, Pabón ML, *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*). Rev Colom Cienc Pecu 2008; 21(4): 559-570. <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/rccp>
53. Linn J, Raeth-Knight M, Fredin S, Bach A. Feed Efficiency in Lactating Dairy Cows. In: Proceedings of the Colorado Dairy Nutrition Conference, Colorado. 2007. 7 p. <https://www.cvms.colostate.edu/ilm/proinfo/cdn/2007/Feed%20Efficiency%20in%20Lactating%20Dairy%20Cows.pdf>
54. Lofgreen GP, Kleiber M. The availability of the phosphorus in alfalfa hay. J Anim Sci 1953; 12: 366-371. <https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas>

55. López L. La leche en Antioquia necesita un norte. El Mundo, Medellín. 2008; [acceso 8 de febrero de 2015]. URL: <http://www.elmundo.com/portal/resultados/detalles/?idx=101449>
56. McDowell RW, Wilcock RJ. Water quality and the effects of different pastoral animals. New Zeal Vet J 2008; 56 (6): 289-296. <http://www.sciquest.org.nz/node/36849>
57. MacRae JC, Walker A, Brown D, Lobley GE. Accretion of total protein and individual amino acids by organs and tissue of growing lambs and the ability of nitrogen balance techniques to quantitate protein retention. Anim Prod 1993; 57(2): 237-246.
58. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) - Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Acuerdo de Competitividad de la Cadena Láctea en Antioquia. Medellín. 2001. 116 p. <http://repiica.iica.int/docs/B0121e/B0121e.pdf>
59. Monteils V, Jurjanz S, Blanchart G, Laurent F. Nitrogen utilisation by dairy cows fed diets differing in crude protein level with a deficit in ruminal fermentable nitrogen. Reprod Nutr Dev 2002; 42(6): 545-557. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00900422/document>
60. Nadeau E, Englund JE, Gustafsson AH. Nitrogen efficiency of dairy cows as affected by diet and milk yield. Liv Sci, 2007; 111: 45-56. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300803888>
61. National Research Council (NRC). The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition; National Academy Press, Washington, D. C. 2001. 381p. <http://prosite.um.ac.ir/~kalidari/software/NRC/HELP/NRC%202001.pdf>
62. Nennich TD, Harrison JH, VanWieringen LM, St-Pierre NR, Kincaid RL, *et al.* Prediction and evaluation of urine and urinary nitrogen and mineral excretion from dairy cattle. J Dairy Sci 2006; 89(1): 353-364. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pub-med/16357300>
63. Neeteson JJ. Nitrogen and phosphorus management on Dutch dairy farms: legislation and strategies employed to meet the regulations. Biology and Fertility of Soils, 2000, 30(5): 556-572.
64. Nielsen AH, Kristensen IS. Level of nitrogen and phosphorus surplus at Danish livestock farms in relation to farm characteristics. Liv Prod Sci 2005; 96 (Suppl. 1): 97 - 107.
65. Núñez P, Demanet R, Matus F, Mora ML. Grazing management, ammonia and nitrous oxide emissions: a general view. J Soil Sci Plant Nutr, 2007; 7(3): 61-99. <http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v7n3/art06.pdf>
66. Observatorio Agrocadenas de Colombia. 2006. Informe de coyuntura de la cadena láctea: primer trimestre de 2006; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 40 p. <http://www.redlactea.org/wp-content/uploads/documentos/Infcoy199105.pdf>

67. Osorio F. Efecto del manejo alimentario sobre el sistema especializado de producción lechera. En: memorias Seminario Nacional de Lechería Especializada: Bases Nutricionales y su Impacto en la Productividad. Eventos y Asesorías Agropecuarias, Auditorio de la Salud, Hospital General de Medellín, Septiembre 1 y 2, 2004:141 - 152.
68. Osorio F. ¿Estamos usando adecuadamente el recurso genético en nuestro sistema de producción? Memorias V Jornada Ganadera de Finca S.A., Medellín. 2010.
69. Powell JM, Jackson-Smith DB, McCrory DF, Saam H, Mariola M. Validation of feed and manure data collected on wisconsin. dairy farms J Dairy Sci 2006; 89(6): 2268–2278. <http://naldc.nal.usda.gov/download/2089/PDF>
70. Puggaard L, Kristensen NB, Sehested J. Effect of decreasing dietary phosphorus supply on net recycling of inorganic phosphate in lactating dairy cows. J Dairy Sci 2011; 94(3):1420–1429. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21338807>
71. Rérat M, Philipp A, Hess HD, Liesegang A. Effect of different potassium levels in hay on acid–base status and mineral balance in periparturient dairy cows. J Dairy Sci 2009; 92(12): 6123–6133. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19923615>
72. Reynolds CK, Kristensen NB. Nitrogen recycling through the gut and the nitrogen economy of ruminants: An asynchronous symbiosis. J Anim Sci 2008; 86(E. Suppl.): E293–E305. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17940161>
73. Rhoads ML, Bilby TR, Rhoads RP, Baumgard LH. Effects of nutrient metabolism and excess protein catabolism on dairy cow fertility. 23th Annual Southwest Nutrition and Management Conference. 2008.13 p.
74. Sattler N, Fecteau G, Couture Y, Tremblay A. Evaluation des équilibres potassiques chez la vache laitière et étude de ses variations journalières et selon le stade de production. Can Vet J 2005; 42(2): 107–115. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/journals/202/>
75. Shore KV, Odongo NE, Mutsvangwa T, Widowski TM, Cant JP, *et al.* Phosphorus status of lactating dairy cows fed total mixed rations containing 0.24% vs. 0.36% phosphorus. Can J Anim Sci 2005; 85(3): 409–412. <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.4141/A04-079#.V9K62fI9600>
76. Sierra RE. Eutroficación de embalses: descripción, prevención y manejo. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Química, Especialización en Ingeniería Ambiental, Bucaramanga. 2010. 55 p.
77. Silanikove N, Maltz E, Halevi A, Shinder D. Metabolism of water, sodium, potassium, and chlorine by high yielding dairy cows at the onset of lactation. J Dairy Sci 1997; 80(5): 949–956. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9178136>
78. Spanghero M, Kowalski ZM. Critical analysis of N balance experiments with lactating cows; Liv Prod Sci. 1997; 52(2):113–122. <http://eurekamag.com/research/003/082/003082211.php>

79. Spek JW, Dijkstra J, Duinkerken G, Hendriks WH, Bannink A. Prediction of urinary nitrogen and urinary urea nitrogen excretion by lactating dairy cattle in northwestern Europe and North America: a meta-analysis. *J Dairy Sci* 2013; 96(7): 4310-4322. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23664347>
80. Statistical Analysis Software (SAS). SAS User's Guide: Statistics (Version 8); Cary NC: the Institute. 1998.
81. Swensson C. Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows, N in urine and ammonia release. *Liv Prod Sci* 2003; 84(2): 125-133. h
82. Tas B. Nitrogen utilization of perennial ryegrass in dairy cows. In: Elgersma, A.; Dijkstra J, Tamminga S (eds.), *Fresh Herbage for Dairy Cattle*, 2006. p. 125-140. <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/22160>
83. Tillman AD, Brethour JR. Dicalcium phosphate and phosphoric acid as phosphorus sources for beef cattle. *J Anim Sci* 1958; 17(1): 100-103. <https://www.animalsciencepublications.org/publications>
84. Vibart R, Pacheco D, Lowe K, Barrett B. Performance, nitrogen utilisation and grazing behaviour from late-lactation dairy cows offered a fresh allocation of a ryegrass-based pasture either in the morning or in the afternoon. The Fertilizer and Lime Research Centre 24th Annual Workshop, Massey University, New Zealand. 2011.12 p.
85. Wang H, Gujja M, Nanthi B. An overview of the environmental effects of land application of farm effluents. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2004, 47(4): 389-403.
86. Wattiaux MA. Body condition scores. Topic # 5. Topic summaries from: reproduction and genetic selection. *Babcock Dairy Essentials*. 1997. <http://www.lrrd.org/lrrd27/12/jaim27244.html>
87. Wu Z, Satter LD, Blohowiak AJ, Stauffacher RH, Wilson JH. Milk production, estimated phosphorus excretion, and bone characteristics of dairy cows fed different amounts of phosphorus for two or three years. *J Dairy Sci* 2001; 84(7): 1738-1748. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(01\)74609-7/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(01)74609-7/abstract)