



## Balance de nitrógeno y fósforo de vacas lecheras en pastoreo con diferentes ofertas de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) suplementadas con ensilaje de avena (*Avena sativa*)<sup>¶</sup>

Revista  
Colombiana de  
Ciencias  
Pecuarias

*Nitrogen and phosphorus balance of cows offered different amounts of Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) and supplemented with oats (*Avena sativa*) silage*

*Saldo de nitrogênio e fósforo a partir de vacas leiteiras em pastagem com diferentes ofertas de capim Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) silagem suplementada com aveia (*Avena sativa*)*

Javier M León<sup>1</sup>, Zoot; José E Mojica<sup>1</sup>, MVZ, MS; Edwin Castro<sup>1</sup>, Zoot, MS; Edgar A Cárdenas<sup>1</sup>, Zoot, MS; Martha L Pabón<sup>1,2\*</sup>, Quim, PhD; Juan E Carulla<sup>1</sup>, Zoot, PhD

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, <sup>2</sup> Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

(Recibido: 6 marzo, 2008; aceptado: 28 noviembre, 2008)

### Resumen

Nitrógeno (N) y fósforo (P) son elementos implicados en la contaminación ambiental. Con el objetivo de evaluar el balance de N y P se utilizaron 18 vacas bajo pastoreo en pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en el Centro Agropecuario Marengo en Mosquera (Cundinamarca, Colombia). Los tratamientos consistieron en tres niveles (0, 0.7 y 1.4% del peso vivo) de oferta de ensilaje (MS) de avena (*Avena sativa*). Esta oferta diaria fue complementada con pasto kikuyo en pastoreo hasta alcanzar una oferta total del 4%. La relación kikuyo:ensilaje fue de 4:0, 3.3:0.7 y 2.6:1.4 para los tratamientos 1, 2 y 3, respectivamente. El ensilaje se suministró diariamente (AM y PM) en el potrero. Las vacas recibieron un alimento balanceado comercial a razón de 1kg por cada 4.2 kg de leche producida, y se mantuvo constante durante el periodo experimental que duró 14 días, con siete días de adaptación y siete de mediciones. La producción de leche (AM, PM) fue medida de manera individual; mientras que la producción de orina y heces fue medida los días 0, 7, y 14, para cuantificar N y P. El volumen de orina se estimó usando creatinina y el consumo usando cromo (cantidad de heces) y fibra en detergente ácido indigerible (digestibilidad). El consumo de N (667.8 g/día) y la excreción en orina (240.6 g/d) fueron significativamente mayores ( $p < 0.05$ ) para el tratamiento 1 que para los tratamientos 2 (560.7 y 199.7 g/d) y 3 (594.8 y 200.8 g/d); sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) en la eficiencia de utilización de N (15.6; 16.6 y 15.1%, respectivamente). El consumo de P (98.2, 85.9, y 93.4 g/d), la excreción en orina (0.43, 0.39, y 0.48, g/d) y en heces (91.9, 100.7, y 108.6 g/d) no fueron estadísticamente diferentes entre tratamientos ( $p > 0.05$ ); sin embargo, el balance de P fue significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) para el tratamiento 1 (5.9 g/d) que para los tratamientos 2 (-15.1g/d) y 3 (-15.6 g/d).

**Palabras clave:** consumo de forraje, contaminación ambiental, excreción de minerales, producción de leche

<sup>¶</sup> Para citar este artículo: León JM, Mojica JE, Castro E, Cárdenas EA, Pabón ML, Carulla JE. 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 Colomb Cienc Pecu 2008; 21:559-570.

\* Autor para el envío de la correspondencia y la solicitud de reimpresos: Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. E-mail: mlpabon@unal.edu.co

### Summary

Nitrogen (N) and Phosphorus (P) have been implicated in environmental pollution. To evaluate N a P balance, eighteen lactating multiparous Holstein cows grazing kikuyu in the Livestock Center Marengo in Mosquera (Cundinamarca, Colombia). The treatments consisting three allowances of oat silage 0, 0.7 and 1.4 kg/100 kg of body weight. This daily allowance was completed with kikuyu on grazing to obtain a total dry matter allowance of 4kg/100 kg of body weight. The kikuyu and silage ratio was 4:0; 3.3:0.7 and 2.6:1.4 for treatments 1, 2 and 3, respectively. Cows received a commercial balanced feed 1kg for each 4.2kg of milk, and it was maintained during all the experimental period. This period lasted 14 days and consisted of 7 adaptation days and 7 experimental days. Individual milk production was measured (AM PM) and samples of urine and feces were taken on days 0, 7 and 14 to determine N and P. Urine volume was estimated using creatinine and dry matter intake using chromium (feces volume) and Indigestible Acid Detergent Fiber (Digestibility). N intake (667.8 g/d) and urine N excretion (240.6 g/d) was greater for cows on treatment 1 than for treatment 2 (560.7 and 199.7 g/d respectively) and for treatment 3 (594.8 and 200.8 g/d) respectively. However no differences were found on the efficiency of N utilization that was 15.6; 16.6 and 15.1 % for treatments 1, 2, and 3, respectively. Daily P intakes (98.2; 85.9 and 93.4 g/d), P excretion in urine (0.43; 0.42; and 0.35 g/d) and P excretion in feces (91.8; 100.7 and 108.6) were not different between treatments, however phosphorus balance was positive and greater for cows on treatment 1 (5.9 g/d) than cows in treatments 2 and 3 (-15.5, and -15.6 g/d, respectively).

**Key words:** environmental pollution, forage intake, milk yield, mineral excretion

### Resumo

Azoto (N) e fósforo (P) são elementos envolvidos na poluição ambiental. Com o objetivo de avaliar o balanço de N e P foram usadas 18 vacas em pastagem de capim kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) no Centro Agropecuario Marengo em Mosquera (Cundinamarca, Colombia). Os tratamentos consistiram de três níveis (0, 0.7 e 1.4% do peso corporal) lance silagem (MS) de aveia (*Avena sativa*). Essa oferta por dia foi complementado com pastagem Kikuyu em um lance de chegar a 4% do total da ração. A relação Kikuyu erva:silagem foi de 4:0, 3.3:0.7 e 2.6:1.4 para os tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente. A silagem foi fornecida diariamente (AM e PM), no paddock. As vacas foram agraciados com uma alimentação equilibrada a uma taxa de 1 kg para cada 4.2 kg de leite produzido, e permaneceu constante durante o período experimental, que durou 14 dias, com sete dias de adaptação e sete dias de medidas. A produção de leite (AM, PM) foi medido numa base individual; enquanto a produção de urina e fezes foi mensurado dias 0, 7, e 14, para quantificar N e P. O volume de urina é considerada utilização e consumo de creatina usando cromo (quantidade de fezes) e fibra em detergente ácido indigestível (digestibilidade). O consumo de N (667.8 g/dia) e excretada na urina (240.6 g/d) foram significativamente maiores ( $p<0.05$ ) para o tratamento 1 em comparação com os tratamentos 2 (560.7 e 199.7 g/d) e 3 (594.8 e 200.8 g/d); No entanto, não houve diferenças estatisticamente significativas ( $p>0.05$ ) na eficiência de utilização de N (15.6, 16.6 e 15.1%, respectivamente). O consumo de P (98.2, 85.9 e 93.4 g/d), excreção de urina (0.43, 0.39 e 0.48 g/d) e nas fezes (91.9, 100.7 e 108.6 g/d) não foram estatisticamente diferentes entre os tratamentos ( $p>0.05$ ); No entanto, o balanço de P foi significativamente maior ( $p<0.05$ ) para o tratamento 1 (5.9 g/d) do que para os tratamentos 2 (-15.1 g/d) e 3 (-15.6 g/d).

**Palavras chave:** consumo de forragem, da excreção de minerais, poluição ambiental, produção de leite

### Introducción

La especialización de los sistemas de producción a nivel mundial ha promovido un aumento en el uso de fertilizantes inorgánicos y suplementos alimenticios (23). Paralelo a esta intensificación se ha generado una creciente preocupación por el manejo y disposición de los grandes volúmenes de residuos animales que se generan en los sistemas de producción y que llegan a ser una amenaza importante por el impacto que generan

sobre el medio ambiente. Los estudios se han enfocado en dos nutrientes con un gran potencial de contaminación ambiental (7). Nitrógeno (N) y Fósforo (P) son elementos muy importantes para la productividad del sistema suelo-planta-animal, pero estos nutrientes, en la medida que son descargados directamente sobre el ambiente generan fuertes impactos sobre la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en forma de Nitratos (7, 14, 20) y del aire en forma de amonio (20).

Los sistemas especializados de producción de leche en Colombia localizados en la zona Altoandina se basan en monocultivos de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), o ryegrass (*Lolium perenne*). Bajo las condiciones de fertilización convencional de 400 kg N/ha año, los niveles de proteína de estas praderas son altos, en promedio 21% (5). Debido a esto, los animales consumen forrajes con altos niveles de proteína de alta degradabilidad que se vuelve un problema al no contar con la energía necesaria para convertir el nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), producto de la fermentación ruminal, en proteína microbiana (6). Estas características de los forrajes que predominan en los sistemas de producción de leche especializada en el país, son parcialmente responsables de los bajos contenidos de proteína en la leche que frecuentemente se encuentran en estos sistemas y que determinan la menor eficiencia en el uso del N para la síntesis de proteínas lácteas (1). Este comportamiento del N trae consigo implicaciones de diverso orden, tanto en lo ambiental, como lo metabólico, reproductivo, y económico (9).

La recomendación de NRC (17) sugiere que el contenido de P de 0.32 a 0.37% de la dieta puede reunir los requerimientos para vacas de alta producción (entre 30 y 45 kg/d). Este hecho refleja una disminución entre el 20 y el 25% con respecto a la edición previa del NRC. Lo anterior ha generado una discusión acerca de los altos niveles de P dietario que se manejan actualmente en los sistemas intensivos de producción de leche en el país debido al alto contenido de los forrajes y a la suplementación con sales minerales que se valoran de acuerdo a su contenido de P.

La acumulación de nutrientes en el suelo en especial el N y P es la mayor preocupación de las agencias reguladoras que protegen la calidad de las aguas (22). Este hecho ha resultado en la implementación de diferentes regulaciones legales sobre los sistemas de producción de leche en Estados Unidos (11). Debido a esta situación es necesario desarrollar e implementar estrategias de manejo para mejorar los balances de nutrientes y mantener la productividad del sistema a la vez que se minimiza el efecto de la excreción de nutrientes sobre el ambiente.

El diseño de raciones que reúnan la cantidad adecuada de N Y P de acuerdo con los requerimientos animales, reduce los excesos de estos elementos en la dieta y es una alternativa, para alcanzar productiva y económicamente el objetivo ambiental que se persigue. Hasta ahora, el manejo nutricional de la vaca lechera estaba enfocado como una herramienta para maximizar únicamente la producción animal, prestando poca atención a la excreción de nutrientes a través de heces y orina (20).

Una de las estrategias para reducir las pérdidas de N y P es la disminución del consumo de estos elementos a través de la dieta. Tamminga (20), plantea el uso de ensilajes de gramíneas como una herramienta para reducir el contenido dietario de N y P, ya que generalmente estos alimentos tienen un menor contenido de estos nutrientes, comparados con los pastos frescos manejados intensivamente. La información disponible en el ámbito internacional es bastante amplia en el tema de ciclaje de nutrientes pero no representa la realidad de los sistemas especializados de producción de leche basados en pastoreo (12).

En la Sabana de Bogotá se desconocen los balances de N y P, elementos implicados en la contaminación ambiental. Se ha planteado el uso de ensilajes de gramíneas como una estrategia nutricional para disminuir el consumo de N y P y con ello reducir las excreciones al ambiente e incrementar la eficiencia de uso. Por esta razón, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la suplementación con ensilaje de avena sobre el balance de N y P de vacas lecheras en pastoreo de kikuyo.

## **Materiales y métodos**

### *Comité de ética*

Todos los procedimientos para el trabajo con animales fueron avalados por el comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia (Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia), bajo el Acta DCSAP-202 del 23 de Julio de 2007, respetando las normas de bienestar animal.

### Localización

El trabajo fue realizado en el Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia, localizado en la vereda San José, municipio de Mosquera (Cundinamarca). El municipio se encuentra a una altitud de 2540 msnm; con una temperatura promedio de 13 °C que fluctúa entre 0 y 20 °C; una precipitación anual promedio de 680 mm, y una humedad relativa entre 80 a 85%.

### Animales

La muestra estuvo constituida de 18 vacas holstein multíparas con una producción promedio diaria de leche de 22 l, y un peso promedio de 587 kg entre primer y segundo tercio de lactancia. Seis animales fueron asignados aleatoriamente a cada uno de los tres tratamientos.

### Tratamientos

Los tratamientos consistieron en tres niveles de oferta de ensilaje (MS) de avena (*Avena sativa*) 0, 0.7 y 1.4% con base en el peso vivo. Esta oferta fue complementada con pasto kikuyo en pastoreo hasta alcanzar una oferta total constante del 4%; por lo tanto la relación kikuyo: ensilaje fue de 4:0, 3.3:0.7 y 2.6:1.4 para los tratamientos 1, 2 y 3; respectivamente. La ración diaria de ensilaje correspondiente a las vacas que recibían suplementación fue suministrada en la mañana y en la tarde en comederos dispuestos directamente en potrero para facilitar la medición de residuo y con ello estimar el consumo de ensilaje por vaca por día. Adicionalmente, todas las vacas fueron suplementadas con un alimento balanceado a base de harina de maíz y torta de soya (1.8 Mcal/kg EN y 18% PC). El consumo de alimento balanceado se determinó el día 1 de acuerdo a la producción de leche de cada vaca (1 kg/4.2 Kg) y se mantuvo constante durante el periodo experimental.

### Métodos

El periodo experimental tuvo una duración de 14 días. Los primeros 7 días fueron considerados como el periodo de adaptación. Se midió la producción y se tomaron muestras de leche de manera individual en los días 0, 7, 14 tanto en el ordeño de la mañana

como de la tarde. Las muestras tanto de la mañana como de la tarde fueron mezcladas, conservadas con dicromato de potasio y congeladas para posterior análisis. También se tomaron muestras de orina durante el ordeño los días 0, 7 y 14. La orina fue obtenida mediante estimulación vulvar, acidificada con ácido sulfúrico al 50% hasta alcanzar un pH entre 2-2.5, esto para evitar la volatilización de N en forma de amonio y posteriormente fue congelada. Las heces fueron obtenidas directamente del recto durante los 7 días de experimentación, para luego ser mezcladas y congeladas.

El consumo individual fue estimado usando óxido de cromo y fibra en detergente ácido indigerible; como marcador externo e interno, respectivamente (13, 28). El óxido fue suministrado mezclado con el alimento balanceado a razón de 6 g/día durante todo el periodo experimental a partir del día 1.

El consumo de materia seca fue estimado usando la ecuación  $CMS = \text{Producción de heces}/(1-DIVMS)$ . La producción de heces se calculó con la ecuación  $PH = (\text{g de Cr dosificado por día/g de Cr por g de heces}) (13)$ . El consumo parcial de pasto fue estimado como la diferencia entre el consumo total de materia seca y el consumo conocido de ensilaje y concentrado.

Las muestras de forraje se tomaron delante de la cuerda usando la metodología pluck (simulando el pastoreo del animal), del ensilaje dispuesto en los comederos y del alimento balanceado durante los días de medición. La oferta forrajera se estimó diariamente realizando un aforo a cada uno de los potreros correspondientes a cada tratamiento para posteriormente realizar el ajuste del área a través del manejo de la cuerda.

Una vez fueron obtenidos los datos de consumo y excreción y la concentración de los nutrientes, se procedió a realizar el balance como:  $\text{balance} = \text{consumo} - \text{excreción en orina} - \text{excreción en heces}$ . La incorporación de nutrientes en leche se consideró como la eficiencia de uso (%) =  $\text{cantidad de nutrientes en leche}/\text{cantidad de nutrientes consumidos}$ .

### Análisis químicos

**Alimento.** Las muestras de forraje, alimento concentrado y ensilaje fueron secadas a 60 °C/48 h para análisis de humedad (2). Luego de secadas las muestras fueron molidas a un tamiz de 1 mm y se analizaron para fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA), Fibra en detergente ácido indigerible (FDAi) (22), proteína cruda por el método de Kjeldahl (2) nitrógeno soluble y nitrógeno no proteico, nitrógeno ligado a fibra en detergente ácido (NIDA), nitrógeno insoluble en detergente neutro (NIDN) (25); y contenido de fósforo por colorimetría (2). El concentrado fue analizado para determinar cromo por espectrofotometría de absorción atómica (2).

**Leche.** La proteína cruda se determinó en la leche líquida por el método de Kjeldahl y el fósforo por el método de colorimetría (2).

**Heces.** Las muestras de heces fueron secadas a 60°C por 48 horas para análisis de humedad (2) y posteriormente molidas con un tamiz de 1 mm. Se determinó Cromo por espectrometría de absorción atómica (13) y fibra ácida indigerible (28). El nitrógeno total fue determinado por el método de Kjeldahl y el contenido de fósforo por colorimetría (2).

**Orina.** El nitrógeno total fue determinado por el método Kjeldahl (2); Además se determinó creatinina como marcador interno para la estimación del volumen diario (24).

### Análisis estadístico

Los datos de producción de leche y orina y el contenido de N y P en estas, fueron analizados usando el procedimiento MIXED de SAS (19). Estos datos fueron analizados como medidas repetidas en el tiempo con un modelo que incluía los efectos fijos de tratamiento, día de medición (7-14) y la interacción tratamiento día\*. La producción inicial fue tomada como covariable. El modelo general aplicado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + Cov + S_i + V(S_{i,j}) + D_k + (S*D)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

$$\mu = \text{Promedio general}$$

Cov = Promedio pretratamiento (Covariable)  
 $S_i$  = Efecto de la oferta de ensilaje  
 $V(S_{i,j})$  = Efecto aleatorio de la vaca dentro de la oferta de ensilaje  
 $D_k$  = Día de colección (7-14)  
 $(S*D)_{jk}$  = Efecto de la interacción  $S_i * D_k$   
 $\epsilon_{ijk}$  = Error residual

Los datos de producción de heces, consumo de materia seca y balance de nutrientes del día 14 (periodo experimental) fueron analizados con un modelo completamente al azar:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + \epsilon_{ij}$$

Los datos fueron considerados significativos con un valor de  $p < 0.05$ .

## Resultados

### Composición del alimento

En la tabla 1 se presenta la composición de nutrientes de los alimentos. Se muestran de esta manera general ya que no existieron diferencias estadísticas significativas de composición del alimento entre los tratamientos ( $p > 0.1$ ). En esta tabla se observa un mayor contenido de N y P del pasto kikuyo con respecto al ensilaje de avena. En la tabla 3 se presenta la composición nutricional de las dietas en cada uno de los tratamientos. Para este análisis se tomaron los datos de consumo y la composición de cada alimento dentro de cada tratamiento y se analizó mediante un modelo completamente al azar. La suplementación con ensilaje afectó negativamente el contenido de N y P de la dieta e incremento significativamente el contenido de FDA ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 1.** Composición de los alimentos utilizados en el estudio.

Composición	Kikuyo	Ensilaje	Alimento balanceado
MS	19.4	30.8	89.0
PC (% MS)	17.8	7.3	18.0
N (% MS)	2.85	1.17	2.88
P (% MS)	0.38	0.23	0.56
DIVMS (% MS)	65.5	58.1	86.8
FDN (% MS)	57.1	67.2	22.8
FDA (% MS)	33.9	50.2	6.5

### *Consumo de materia seca y producción de leche*

Como se presenta en la tabla 4 el consumo total de materia seca no fue afectado por la suplementación con ensilaje de avena ( $p>0.05$ ), en promedio, las vacas consumieron 23.2 kg MS/d. La suplementación con ensilaje afectó de manera significativa el consumo de kikuyo ( $p<0.05$ ). Las vacas a las cuales no se les ofreció ensilaje (T1) consumieron una mayor cantidad de kikuyo (18.2 kg MS/d) con respecto a las que se les ofreció 0.7% (T2) y 1.4% (T3) del PV, las cuales consumieron 13.4 y 12.9 kg MS de kikuyo/día respectivamente. El consumo obtenido de ensilaje a través de medición de residuales fue de 0, 3 y 6.7 kg MS/día respectivamente para cada uno de los tratamientos. La suplementación con ensilaje de avena no afectó ( $p>0.05$ ) la producción de leche (véase Tabla 4).

### *Excreción de nutrientes*

El análisis de excreción de nutrientes en leche y orina (véase Tabla 5 y 6) se llevó a cabo con un modelo de medidas repetidas en el tiempo, tomando como covariable la producción inicial. Como se presenta en la tabla 5, la producción de leche no fue afectada por la suplementación con ensilaje ( $p>0.05$ ), sin embargo el contenido de N y P en la leche fue menor para las vacas que recibieron la mayor oferta de ensilaje ( $p<0.05$ ). La tabla 5, muestra un efecto significativo ( $p<0.05$ ) del día de medición sobre el contenido de P en leche, indicando un incremento del día 7 al día 14. El volumen de orina y el contenido de P no fueron afectados por la suplementación con ensilaje ( $p>0.05$ ), pero el contenido de N en la orina fue mayor para las vacas que no recibieron ensilaje ( $p<0.05$ ) (véase Tabla 6). La tabla 6, muestra un efecto significativo del día de medición sobre la producción de orina y el contenido de N en la misma, indicando un aumento en la producción de orina ( $p<0.05$ ) a través del tiempo pero a la vez una disminución en la concentración de N en la orina ( $p<0.05$ ). Sin embargo, queda claro en el análisis la menor excreción de N a través de la orina al incluir ensilaje de avena en la ración diaria de las vacas.

Como se presenta en la tabla 7 la producción de heces estimada a través del uso de cromo como marcador externo fue mayor ( $p<0.05$ ) en las vacas suplementadas con una mayor oferta de ensilaje (1.4% PV). La suplementación con ensilaje redujo el contenido de N en las heces ( $p<0.05$ ).

### *Consumo y balance de N*

Las vacas que recibieron sólo kikuyo consumieron una mayor cantidad de de N ( $p<0.05$ ). Como consecuencia de la diferencia en el consumo de N de casi 100g/d entre el tratamiento 1 y 2 se disminuyó la excreción de N. Como se presenta en la tabla 8 la disminución del consumo de N en las vacas suplementadas con ensilaje redujo la excreción de N a través de la orina ( $p<0.05$ ). Las vacas suplementadas con 1.4% del PV de ensilaje (T3) produjeron la mayor cantidad de heces ( $p<0.05$ ), en promedio 10.3 kg MS/día, aumentando de manera significativa ( $p<0.05$ ) la excreción de N a través de esta vía (242.7 g/d). El balance de N, entendido como la diferencia entre el consumo de N y la excreción en heces y orina se correlacionó (0.9) de manera significativa ( $p<0.05$ ) con el consumo de N y fue mayor para las vacas que consumieron solo kikuyo, igualmente la excreción de N total fue mayor en estas vacas ( $p<0.05$ ).

El contenido de N en la leche de las vacas que recibieron la oferta intermedia de ensilaje (0.7% PV) fue estadísticamente igual ( $p>0.05$ ) al de las vacas que consumieron sólo kikuyo, a pesar de que consumieron una menor cantidad de N, hecho que explica el aumento en la eficiencia de uso del N en estas vacas. A pesar de que no se encontraron diferencias significativas en la eficiencia de uso ( $p>0.05$ ), se evidencia que la disminución del consumo de N a nivel de 560 g no afectó la cantidad de N en leche, pero si redujo la cantidad de N excretado (véase Tabla 8). En las figuras 1 y 2 se ilustran los resultados mas relevantes sobre el balance de N, en donde se observa la disminución de la excreción de N en orina, por efecto de la suplementación con ensilaje, sin afectar la cantidad de N en leche.

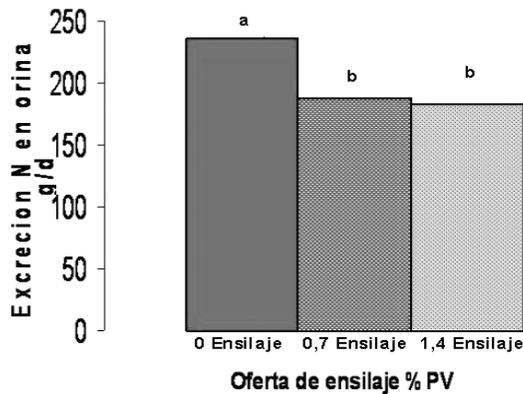


Figura 1. Excreción de Nitrógeno en orina en las diferentes ofertas de ensilaje.

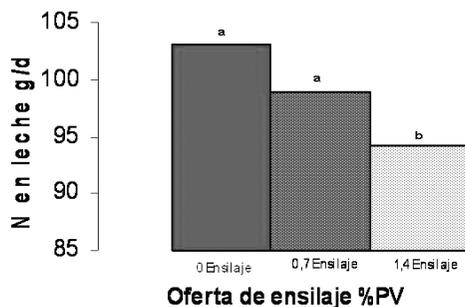


Figura 2. Contenido de Nitrógeno en leche en las diferentes ofertas de ensilaje.

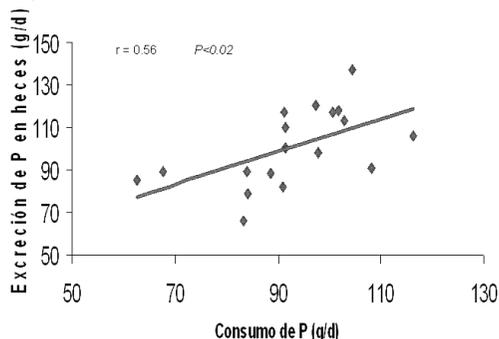


Figura 3. Relación entre el consumo y la excreción fecal de fósforo en vacas en pastoreo de kikuyo suplementadas con ensilaje de avena.

### Consumo y balance de fósforo

Como se presenta en la tabla 9, el consumo total de P no fue diferente entre tratamientos ( $p > 0.05$ ) a pesar de que el contenido de P en la dieta de las vacas que se les ofreció una mayor cantidad de ensilaje fue menor (0.38%) ( $p < 0.05$ ), esto debido a las diferencias numéricas encontradas en el consumo total de materia seca (véanse Tablas 3 y 4). La principal ruta de excreción de P es a través

de las heces. Debido a que las vacas suplementadas con la mayor oferta de ensilaje (1.4%), produjeron una mayor cantidad de heces, la excreción de P fue numéricamente mayor en estas vacas. Este hecho afectó el balance de fósforo ( $p < 0.05$ ), el cual fue negativo en los dos grupos de vacas suplementadas con ensilaje de avena. Es importante destacar que las vacas utilizadas en este trabajo no recibieron sal mineralizada, por lo tanto, los animales que son alimentados con dietas basadas en kikuyo únicamente, fueron capaces de mantener balances positivos de fósforo sin la suplementación con sal mineralizada, a pesar de la gran excreción de P.

El consumo de P de las vacas en todos los tratamientos fue alto. De acuerdo con las recomendaciones del NRC (17), teniendo en cuenta el consumo y la producción de leche de las vacas en el actual estudio, un nivel adecuado de consumo de P sería 70 g/día y una concentración dietaria de 0.32%. En el actual estudio se obtuvieron consumos de P que variaron entre 85 y 98 g/día y concentraciones dietarias entre 0.38 y 0.41%. El exceso de consumo de P es un evento que se presenta comúnmente en los sistemas de producción de leche de la Sabana de Bogotá, con la consecuente alta excreción de P en las heces (véase Tabla 9). La correlación entre el consumo de P y la excreción fecal de fósforo fue significativa ( $p < 0.05$ ) y lineal. De acuerdo con diferentes trabajos (14, 15, 29), queda claro que al aumento del consumo de P por encima de los niveles requeridos, incrementa linealmente la excreción de P a través de las heces. Es importante resaltar, que al igual que sucedió con N, Las vacas que recibieron suplementación con ensilaje a nivel de 0.7% PV presentaron la mayor eficiencia de uso, a pesar de no ser estadísticamente significativo ( $p > 0.05$ ).

### Discusión

La disminución del consumo de nutrientes a través de la suplementación con ensilaje disminuyó la excreción de N en orina, lo cual trae una implicación importante desde el punto de vista ambiental porque reduce el impacto de la ganadería

sobre la contaminación ambiental sin afectar la producción. Este resultado está de acuerdo con Leonardi *et al* (16) y Wattiaux y Karg (25) quienes compararon los niveles de proteína dietaria y sugirieron que es posible reducir el contenido de proteína desde 18 hasta 16%, sin afectar la producción de leche. En el presente estudio se redujo el contenido de proteína dietaria de 17.9 a 15% sin afectar la producción de leche. Khorasani *et al* (14), tampoco encontraron diferencias en la producción de leche al reemplazar ensilaje de alfalfa por ensilaje de avena bajo una relación forraje concentrado 50:50. Dhiman y Satter (10), observaron que la excreción total de N al ambiente fue reducida de 6 a 15% con dietas que contenía ensilaje de maíz. En el presente estudio la oferta de 0.7% de ensilaje de avena redujo en 13% la excreción total de N al ambiente, lo cual está dentro del rango propuesto por los autores citados. Resultados similares fueron encontrados por Dhiman y Satter (10), quienes mejoraron la eficiencia de uso del N a través de la sustitución de ensilaje de alfalfa por ensilaje de maíz, asociado con una disminución del consumo de N.

El efecto más significativo de la concentración de N en la dieta se da sobre la excreción de N en orina (8). Desde el punto de vista ambiental lograr una reducción en la excreción de N en orina implica contribuir a la disminución del impacto ambiental de la ganadería, debido a que la principal forma en la cual se encuentra el N urinario es como úrea, forma que se degrada más rápidamente que el N fecal, contribuyendo a la adición de N al ambiente a través de la acción de ureasas bacterianas (20, 21).

El aumento del N fecal ocasionado por el aumento en la producción de heces por efecto del mayor consumo de ensilaje se explica porque el ensilaje de avena presenta una menor digestibilidad comparado con el kikuyo (véase Tabla 1), ya que el N fecal resulta de la excreción del N no digerido del alimento, el N microbiano no digerido y el N endógeno (20). En este sentido, las pérdidas de N endógeno tienen una relación inversa con la digestibilidad de la dieta y la cantidad de MS que pasa a través de TGI (20). Además, Linnes y Weiss (16), y

Castillo *et al* (8), observaron que la excreción de N fecal aparente incrementó con el aumento de la proteína no degradable en rumen, acompañado de una disminución sustancial en la producción de N urinario. Esta observación apoya los resultados de este trabajo en el cual el consumo de una mayor cantidad de ensilaje constituye una dieta con un mayor contenido de proteína no degradable debido a las diferencias en las fracciones de proteína de ensilaje vs el kikuyo, como se observa en la tabla 2, ya que el mayor contenido de la fracción c del nitrógeno se refleja en una mayor cantidad de N en heces como se presentó en las vacas que consumieron la mayor cantidad de ensilaje.

**Tabla 2.** Caracterización de las fracciones de proteína de los alimentos.

	Fracciones de proteína <sup>1</sup>		
	a	b	c
Kikuyo	37.7	53.4	8.9
Ensilaje	54.1	23.3	22.6
Alimento balanceado	13.2	81.1	5.7

<sup>1</sup>Como porcentaje de la PC

**Tabla 3.** Composición Nutricional de las dietas utilizadas en el estudio.

	Oferta de ensilaje (% peso vivo)				
	0	0.7	1.4	SEM	p
N (%MS)	2.86 <sup>a</sup>	2.61 <sup>b</sup>	2.40 <sup>c</sup>	0.007	0.0001
P (%MS)	0.41 <sup>a</sup>	0.40 <sup>a</sup>	0.38 <sup>b</sup>	0.002	0.0002
DIVMS (%MS)	73.2	72.5	70.1	0.58	0.24
FDN (%MS)	49.5	50.5	52.7	0.58	0.11
FDA (%MS)	27.8 <sup>b</sup>	29.8 <sup>ab</sup>	32.6 <sup>a</sup>	0.47	0.003

El contenido de P en todos los tratamientos estuvo por encima de las últimas recomendaciones de NRC (18) para vacas lecheras, llegando a valores altos como 0.42% en la dieta basada en sólo pasto kikuyo. La suplementación con ensilaje disminuyó de manera significativa la concentración de P en la dieta pero fue de todas maneras alto con respecto a las recomendaciones. Lo anterior permite hacer un cuestionamiento que deberá ser analizado con más detalle, sobre la necesidad de suplementar con sales mineralizadas altas en P con valores del 6, 8, 10 y hasta 12% que se manejan de manera convencional en el trópico alto.

De otro lado, es importante resaltar la gran excreción de P que se encontró en este trabajo. Una posible explicación a este hecho se encuentra en la resorción ósea. El exceso de P dietario acelera la tasa de resorción ósea, debido a la estimulación de la glándula parótida como resultado de la hipocalcemia que surge luego de una hiperfosfatemia; este hecho conlleva la movilización tanto de calcio como de fósforo desde el hueso, aumentando los niveles de P en la sangre (3, 4). Lo anterior puede ayudar a explicar el porqué las vacas en este estudio excretaron más

fósforo del que consumieron en la dieta; además, el contenido y tipo de forraje en la dieta es otro factor a tener en cuenta. Debido a que el forraje estimula la salivación y la saliva contiene P, existe la posibilidad que la cantidad y la fuente de forraje o fibra usada en la dieta pueda tener un impacto sobre las pérdidas de P en heces (11). Valk *et al* (26) reportaron un promedio de concentración de P en la saliva de 245 mg/l en vacas alimentadas acorde con los requerimientos, por lo cual se estima una cantidad de 50 a 90 g/d que es excretado en la saliva diariamente.

**Tabla 4.** Efecto de la suplementación con ensilaje sobre el consumo de materia seca y producción de leche.

	Oferta de ensilaje (% peso vivo)				
	0	0.7	1.4	DE	p
Consumo total MS (kg/d)	23.3 <sup>a</sup>	21.4 <sup>a</sup>	24.8 <sup>a</sup>	0.68	0.16
Peso (kg)	571	584	605	11.3	0.49
Consumo (kg/100 kg PV)	4.1	3.6	4.1	0.12	0.28
Kikuyo (kg/d)	18.2 <sup>a</sup>	13.4 <sup>b</sup>	12.9 <sup>b</sup>	0.59	0.004
Ensilaje (kg/d)	0	3	6.74		
Alimento balanceado (kg/d)	5.21	5.05	5.18		
Producción de leche (kg/d)	22.2	20.2	20.1	1.3	0.09

La suplementación con ensilaje redujo la cantidad de N excretado en orina pero incrementó la excreción en heces, debido a un aumento en la cantidad de heces producida en el día, esto, relacionado a la digestibilidad de la dieta. El ensilaje disminuyó el balance de nutrientes sin afectar el contenido de estos en la leche, por lo tanto se puede mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes a

través de una disminución en el consumo de estos. El ensilaje produjo balances negativos de fósforo debido a una mayor excreción a través de las heces. Es necesario tener en cuenta la regulación metabólica del fósforo y su relación con el calcio para poder explicar de una manera mas detallada la dinámica de este nutriente.

**Tabla 5.** Efecto de la suplementación con ensilaje sobre el contenido N y P en la leche.

Día	Oferta de ensilaje (kg/kg PV)						Tto	Tiempo	Tto*tiempo
	0		0.7		1.4				
	7	15	7	15	7	15			
Leche (Kg/d)	22.1	22.1	20.4	19.8	20.5	20.2	0.09	0.34	0.68
N leche (%)	0.48 <sup>a</sup>	0.47 <sup>a</sup>	0.47 <sup>a</sup>	0.50 <sup>a</sup>	0.43 <sup>b</sup>	0.47 <sup>b</sup>	0.02	0.09	0.35
N leche (g/d)	105.4 <sup>a</sup>	103.1 <sup>a</sup>	92.8 <sup>a</sup>	96.2 <sup>a</sup>	87.9 <sup>b</sup>	94.2 <sup>b</sup>	0.02	0.35	0.43
P leche (%)	0.078 <sup>ab</sup>	0.088 <sup>ab</sup>	0.087 <sup>a</sup>	0.089 <sup>a</sup>	0.075 <sup>b</sup>	0.082 <sup>b</sup>	0.01	0.02	0.33
P leche (g/d)	17.4	19.4	17.8	17.6	15.6	17.0	0.06	0.07	0.28

**Tabla 6.** Efecto de la suplementación con ensilaje sobre la excreción de N y P en orina.

Día	Oferta de ensilaje (kg/kg PV)						Tto	Tiempo	Tto*tiempo
	0		0.7		1.4				
	7	15	7	15	7	15			
Orina (kg/d)	29.5 <sup>a</sup>	33.3 <sup>b</sup>	24.5 <sup>a</sup>	29.9 <sup>b</sup>	25.3 <sup>a</sup>	29.7 <sup>b</sup>	0.29	0.01	0.33
N en orina (%)	0.74 <sup>a</sup>	0.71 <sup>a</sup>	0.71 <sup>b</sup>	0.64 <sup>b</sup>	0.75 <sup>b</sup>	0.63 <sup>b</sup>	0.03	0.007	0.34
N en orina (g/d)	217.2 <sup>a</sup>	235.6 <sup>a</sup>	172.3 <sup>b</sup>	188.3 <sup>b</sup>	186.2 <sup>b</sup>	182.9 <sup>b</sup>	0.009	0.21	0.48
P en orina (g/d)	0.38	0.48	0.40	0.37	0.61	0.36	0.36	0.41	0.15

El mayor consumo de ensilaje trae consigo cambios en la forma física de la dieta y, en este estudio, los dos grupos de vacas que consumieron ensilaje excretaron una mayor cantidad de P en las heces, superior al grupo de vacas alimentadas con solo kikuyo. Wu *et al* (29) han comentado que el consumo de P por encima de los requerimientos y al pasar de una dieta rica en concentrado a una rica en forraje y heno, puede incrementar la excreción fecal de P debido a una mayor estimulación de la salivación. Khorasani *et al* (15), también apoyan esta afirmación, ya que encontraron que el flujo duodenal de P comparado al consumo de P, incrementó en todas las dietas suplementadas con diferentes ensilajes, indicando la contribución del P

de la saliva, pero este incremento fue mayor con los ensilajes de cereales, entre los cuales se encontraba la avena junto con el ensilaje de alfalfa, asociados con el mayor contenido de FDN en estos ensilajes de gramíneas.

**Tabla 7.** Efecto de la suplementación con ensilaje sobre la producción de heces y contenido de N y P.

	Oferta de ensilaje (%PV)			SEM	p
	0	0.7	1.4		
Producción de heces (kg/d)	8.1 <sup>b</sup>	7.8 <sup>b</sup>	10.3 <sup>a</sup>	0.31	0.008
N en heces (%)	2.6 <sup>a</sup>	2.5 <sup>ab</sup>	2.3 <sup>b</sup>	0.03	0.01
P en heces (%)	1.14	1.3	1.04	0.03	0.08

**Tabla 8.** Efecto de la suplementación con ensilaje sobre el consumo y el balance de Nitrógeno.

	Oferta de ensilaje (%PV)			SEM	p
	0	0.7	1.4		
Consumo N (g/d)	667.8 <sup>a</sup>	560.7 <sup>b</sup>	594.8 <sup>ab</sup>	19.5	0.05
Excreción fecal N (g/d)	210.9 <sup>ab</sup>	192.9 <sup>b</sup>	242.7 <sup>a</sup>	7.4	0.04
N en heces/ N Consumido	0.32 <sup>b</sup>	0.35 <sup>ab</sup>	0.41 <sup>a</sup>	0.009	0.007
Excreción urinaria N (g/d)	240.6 <sup>a</sup>	199.7 <sup>b</sup>	200.8 <sup>b</sup>	7.01	0.009
N en orina/ N consumido	0.37	0.37	0.33	0.01	0.75
Excreción total N (g/d)	451.5 <sup>a</sup>	392.8 <sup>b</sup>	443.5 <sup>ab</sup>	8.5	0.02
Balance N (g/d)	216.2 <sup>a</sup>	167.9 <sup>ab</sup>	151.2 <sup>b</sup>	18.3	0.03
N en leche (g/d)	104.2 <sup>a</sup>	94.5 <sup>a</sup>	89.9 <sup>b</sup>	3.6	0.02
Eficiencia de uso %	15.6	16.8	15.1	0.91	0.78
MUN (mg/dl)	17.3	15.0	15.3	0.9	0.05

**Tabla 9.** Efecto de la suplementación con ensilaje sobre el consumo y el balance de Fósforo.

	Oferta de ensilaje (%PV)			SEM	p
	0	0.7	1.4		
Consumo total de P (g/d)	98.2	85.8	93.4	3.1	0.28
Excreción fecal de P (g/d)	91.9	100.7	108.7	4.2	0.29
Excreción urinaria de P (g/d)	0.42	0.39	0.48	0.02	0.36
Excreción total de P (g/d)	92.3	101.1	109.02	4.2	0.29
Balance P (g/d)	5.9 <sup>a</sup>	-15.1 <sup>b</sup>	-15.6 <sup>b</sup>	0.61	0.01
P en leche (g/d)	18.2	17.7	16.3	0.92	0.06
Eficiencia de uso (%)	19.7	21.1	17.8	1.1	0.53

## Referencias

- Alcaráz C, Alviar D, Correa H. Eficiencia en el uso de nitrógeno en vacas lactantes en un hato lechero del oriente antioqueño. *Rev Colom Cienc Pec* 2001; 14(Supl): 34.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis*. 16<sup>th</sup> ed. Gaithersburg, VA, USA. 1996.
- Anderson GH, Draper HH. Effect of dietary phosphorus on calcium metabolism in intact and parathyroidectomized adult rats. *J Nut* 1972; 102:1123-1132.
- Calvo MS. Dietary phosphorus, calcium metabolism and bone. *J Nut* 1993; 123:1627-1633.
- Carulla J. Efectos de la fertilización nitrogenada sobre la proteína del forraje. En: Cooperativa Lechera de Antioquia (eds), Simposio Internacional sobre la Proteína en la Leche. Medellín, 1999; 4p.a
- Carulla J. De la proteína del forraje a la proteína en la leche. Metabolismo del nitrógeno del forraje en la vaca lechera. En: Cooperativa Lechera de Antioquia (eds), Simposio Internacional sobre la Proteína en la Leche. Medellín, 1999; 9p.b
- CAST. Council for Agricultural Science and Technology. Animal diet modification to decrease the potential for nitrogen and phosphorus pollution. 2002. Issue paper N° 21.
- Castillo A, Kebreab E, Beaver D, Barbi J, Sutton J, et al. The effect of protein supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *J Anim Sci* 2001; 79:247-253.
- Correa H, Cuéllar A. Aspectos clave del ciclo de la úrea con relación al metabolismo energético y proteico en vacas lactantes. *Rev Colom Cienc Pec* 2004; 17:29-38.
- Dhiman TR, Satter LD. Yield response of dairy cows fed different proportions of alfalfa silage and corn silage. *J Dairy Sci* 1997; 80:2069-2082.
- Dou Z, Knowlton KF, Kohn R, Wu Z, Satter LD, et al. Phosphorus characteristics of dairy feces affected by diets. *J Environ Qual* 2002; 31:2058-2065.
- Herrero M, Gil S, Flores M, Sardi G, Orlando A. Balances de nitrógeno y fósforo a escala predial, en sistemas lecheros pastoriles en Argentina. *Inv Vet* . 2006; 8:1.
- Holden LA, Muller LD, Fales SL. Estimation of intake in grazing grass pasture high producing holstein cows. *J Dairy Sci* 1994; 77:2332-2340.
- Knowlton KF, Herbein JH, Meister-Weisbarth MA, Wark WA. Nitrogen and phosphorus partitioning in lactating holstein cows fed different sources of dietary protein and phosphorus. *J Dairy Sci* 2001; 84:1210-1217.
- Khorasani GR, Janzen RA, McGill WB, Kennelly JJ. Site and extent of mineral absorption in lactating cows fed whole-crop cereal grain silage or alfalfa silage. *J Anim Sci* 1997; 75:239-48.
- Lines LW, Weiss PW. Use of nitrogen from ammoniated alfalfa hay, urea, soybean meal and animal protein meal by lactating cows. *J Dairy Sci* 1996; 79:1992-1999.
- Leonardi CM, Stevenson, Armentano LE. Effect of two levels of crude protein and methionine supplementation on performance of dairy cows. *J Dairy Sci* 2003; 86:4033-4042.

Con este trabajo se generaron nuevos acercamientos a la dinámica de nutrientes en pastoreo a través de técnicas de estimación de consumo de materia seca, producción de heces y orina. Se destaca la baja eficiencia de uso de los nutrientes en un sistema de producción de leche en pastoreo en la Sabana de Bogotá (Colombia), por lo cual se hace necesario seguir trabajando en el balance de dietas acorde a los requerimientos de los animales, evitando los excesos de nutrientes para maximizar la eficiencia de uso.

## Agradecimientos

Al personal del laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, a las zootecnistas Constanza Riveros y Nancy Sánchez y al valioso apoyo de la zootecnista Diana Chiquiza, en el desarrollo de este trabajo.

18. National Reserach Council. Nutruient requirements of dairy cows. 7<sup>th</sup> ed. National Academy press. 2001.
19. SAS Institute S.A.S. User guide, version 8.0. Cary, NC. I. 1999.
20. Tamminga S. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *J Dairy Sci* 1992; 75:345-357.
21. Tomlinson AP, Powers WJ, Van Horn HH, Nordstedt RA, Wilcox CJ. Dietary protein effects on nitrogen excretion and manure characteristics of lactating cows. *Trans Am Soc Agric Eng* 1996; 39:1441-1448.
22. Torres C. Balance de fósforo en vaquerías de Puerto Rico. Tesis de Maestría. Universidad de Puerto Rico. Recinto universitario de Mayagüez. 2005.115p.
23. Van der Meer HG, Wedin WF. Present and future role of grasslands and fodder crops in temperate countries with special reference to over-production and environment. In: *Proceedings of the XVI International Grassland Congress, Nice, France: Association Française pour la Production de Fourrage*. 1989; pp1711-718.
24. Valadares RF, Broderick GA, Valadares-Filho SC, Clayton MK. Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on ruminal protein synthesis estimated from excretion of total purine derivatives. *J Dairy Sci* 1999; 82:2686-2696.
25. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysacharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 1991; 74:3583-3597.
26. Valk H, Sebek L, Beynen AC. Influence of Phosphorus intake on excretion on blood plasma and saliva concentrations of phosphorus in dairy cows. *J Dairy Sci* 2002; 85:2642-2649.
27. Wattiaux MA, Karg KL. Protein level for alfalfa and corn silage based diets. II. Nitrogen balance and manure characteristics. *J Dairy Sci* 2004; 87:3492-3502.
28. Waller J, Merchen N, Hanson T, Klopfenstein T. Efect of sampling intervals and digeta markers on abomasal flow determinations. *J Anim Sci* 1980; 50:1112.
29. Wu Z, Tallam K, Ishler VA, Archibald DD. Utilization of phosphorus in lactating cows fed varyng amounts of phosphorus and forage *J Dairy Sci* 2003; 86:3300-3308.