

Comparación productiva y de calidad en leche de vacas Holstein pastoreando en diferentes sistemas del trópico alto

Milk yield and quality of Holstein cows grazing on different silvopastoral systems in the high tropics

Jhon Edwin Hoyos Rojas ¹, Joaquín Angulo Arizala ², Liliana Mahecha Ledesma ³, Hendrick Willem Houwers ⁴, Mario Fernando Cerón Muñoz ⁵.

¹Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. ✉ jedwin.hoyos@udea.edu.co

²Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. ✉ joaquin.angulo@udea.edu.co

³Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. ✉ liliana.mahecha@udea.edu.co

⁴Wageningen University & Research. Wageningen, Países Bajos. ✉ hwj.houwers@gmail.com

⁵Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. ✉ mario.ceron@udea.edu.co



<https://doi.org/10.15446/acag.v70n1.80801>

2021 | 70-1 p 35-41 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 02-07-2019. Acep.: 02-12-2020

Resumen

Se comparó el efecto del pastoreo de vacas Holstein en diferentes sistemas, sobre la producción y calidad de la leche. Los sistemas pastoriles (SP) evaluados fueron: kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone) (K), ryegrass (*Lolium ssp.*) (R), sistemas silvopastoriles de ryegrass, botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y aliso (*Alnus acuminata*) (sspR), sistemas silvopastoriles de kikuyo, botón de oro y aliso (sspK) y sistemas silvopastoriles de ryegrass, kikuyo, botón de oro y aliso (sspRK). Las variables respuestas estuvieron dadas por la cantidad diaria de leche (PL), lactosa (L), grasa (G) y proteína (P), los porcentajes de proteína (% P) y grasa (% G) y niveles de nitrógeno ureico en leche (MUN) de 60 vacas holstein de 1 a 6 partos. Se emplearon modelos mixtos aditivos generalizados con efecto semiparamétrico suavizado para los días en lactancia (DEL), los efectos fijos de SP, número de partos y el efecto aleatorio de lactancia de las vacas. Los resultados indicaron ventajas en PL, L, P y G del SspR sobre los otros sistemas ($P < 0.05$), demostrando el potencial de los sistemas silvopastoriles en trópico alto exponiendo la importancia de la diversificación de especies en las praderas.

Palabras claves: calidad de leche, ganado de leche, sistemas silvopastoriles.

Abstract

This study evaluated the effect of different grazing systems on yield and quality of milk in Holstein cows. Four silvopastoral systems (SP) were compared, as follows: kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) and ryegrass (*Lolium ssp*) (R); ryegrass, tree marigold (*Tithonia diversifolia*) and alder (*Alnus acuminata*) (sspR); kikuyo, tree marigold and alder (sspK); and ryegrass, kikuyo, tree marigold and alder (sspRK). The response variables were daily milk traits: yield, (PL), lactose, (L), fat, (G), and protein, (P); milk constituents of protein (% P) and fat (% G), and milk urea nitrogen (MUN) of 60 holstein cows from 1 to 6 parities. We used mixed generalized additive models with smoothed semiparametric effect for days in lactation (DEL), fixed effects of SP, number of calvings, and the random effect of lactation. According to the results, the SspR system had higher PL, L, P, and G compared with the other systems ($P < 0.05$), demonstrating the potential of silvopastoral systems in the high tropics.

Keywords: milk quality, dairy cattle, silvopastoral systems.

Introducción

Las condiciones tropicales colombianas propician ambientes ideales para el crecimiento de especies forrajeras a lo largo del año, razón por la que se desarrollan ganaderías en sistemas pastoriles (SP). Sin embargo, la mayoría de los SP se caracterizan por el incipiente manejo técnico y la escasa adopción tecnológica, resultando en la subutilización de sus potenciales productivos (Carulla y Ortega, 2016). Los sistemas de lechería especializada aportan el 45 % de la producción nacional, ubicados principalmente en el trópico de altura (> 2000 m.s.n.m) en predios minifundistas (Federación Colombiana de Ganaderos [FEDEGAN], 2018) y no se encuentran ajenos a situaciones desfavorables en términos de competitividad, aún más frente a los entrantes mercados globalizados. De tal forma, la adopción y gestión tecnológica para la producción de forrajes representa una oportunidad para la mejora de las condiciones en la productividad animal a costos razonables, aprovechando forrajes de óptima calidad como la fuente más económica para la alimentación bovina.

Entre las estrategias planteadas para la mejora de los SP del trópico alto, se ha destacado la diversificación de especies en las praderas, debido a que en estos bioclimas predomina el pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone), el cual se estima está presente en alrededor del 80 % de la superficie de pastoreo (Echeverry *et al.*, 2010; Arango *et al.*, 2017). Estos monocultivos se consideran un detrimento de las interacciones ecológicas que predispone la aparición de organismos plagas y ocasiona la reducción de la calidad del forraje. Además, esta especie se muestra susceptible a las heladas, afectando gravemente su productividad.

En diversos estudios se ha propuesto la introducción de especies adaptadas a estos biomas, como las variedades de ryegrass (*Lolium ssp.*). Estas gramíneas de fotosistema tipo C3 han mostrado resistencia a las heladas (Humphreys y Eagles, 1988) y menor tasa de afección por plagas (Cadena *et al.*, 2019), además de considerarse el pasto más empleado a nivel mundial para la producción láctea debido a sus cualidades energéticas y a su rápida digestibilidad (Fulkerson, 2007). Sin embargo, contiene poca pared estructural, lo que generalmente ocasiona un déficit de fibra físicamente efectiva que suscita a heces líquidas en las vacas. Por lo tanto, una de las alternativas planteadas corresponde al establecimiento de praderas con pasturas asociadas de ryegrass y kikuyo para mejorar las condiciones de fibra en la dieta.

Como una alternativa más elaborada surge la opción de la implementación de sistemas silvopastoriles, donde se integran especies de porte bajo como gramíneas y algunas leguminosas, con especies arbustivas en un estrato medio y especies

arbóreas en el estrato alto. Estos sistemas han demostrado grandes aportes en servicios ambientales tales como la disminución del estrés calórico en los animales, la regulación del contenido hídrico del suelo, la conservación de las propiedades físicas y biológicas del suelo y el mayor dinamismo en el ciclo de nutrientes (Escobar *et al.*, 2001; Mahecha, 2002), además de mejorar las condiciones nutricionales del ganado al ofrecer una oferta diversa, lo que se expresa en mayor productividad de los animales (Mahecha, 2003; Cárdenas *et al.*, 2011).

En sistemas silvopastoriles de trópico alto, el botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y el aliso (*Alnus acuminata*) se perfilan como opciones para combinar con las pasturas. El aliso es un árbol que se emplea para la obtención de madera, leña y para la protección del suelo y el reciclaje de nutrientes y se le atribuyen características para la restauración ecológica de suelos, posee densidad de follaje media que permite la entrada de luz a las gramíneas y es una especie fijadora de nitrógeno el trópico alto (Molina *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2017) y el botón de oro es una especie arbustiva de hojas simples alternadas e inflorescencia amarilla y que presenta muy buen desempeño en condiciones de trópico alto por su rusticidad, su alto valor nutricional, su alta tasa de producción de biomasa, su adaptación a suelos ácidos y de baja fertilidad, su capacidad de restauración de suelos degradados, su rápido crecimiento y capacidad de rebrote después de su cosecha (Murgueitio *et al.*, 2011; Zapata y Vargas, 2014; Mahecha, 2002; Mahecha *et al.*, 2018).

Este trabajo tuvo el propósito de analizar la productividad y calidad de leche en vacas Holstein pastoreando en diferentes arreglos pastoriles del trópico alto, incluyendo sistemas silvopastoriles, monocultivos y asociaciones de pasturas.

Materiales y métodos

Área de estudio. El estudio se realizó en la Hacienda la Montaña (Universidad de Antioquia), ubicada en el municipio de San Pedro de los Milagros (6° 26'59.606 N 75° 32'37.088 W), con temperatura promedio de 15 °C, altura promedio de 2350 m s.n.m., topografía ondulada y suelos del orden andisoles. La fertilización de las praderas fue realizada después de cinco días del consumo de los animales y estuvo ajustada a las recomendaciones técnicas según las características fisicoquímicas de análisis de suelos previos.

Sistemas pastoriles evaluados.

Se estudiaron cinco tipos de sistemas pastoriles (SP):

K: kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone) con proceso de renovación.

R: ryegrass (*Lolium ssp*) con menos de un año de establecido.

sspR: sistemas silvopastoriles de ryegrass botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y aliso (*Alnus acuminata*) (sspR) con menos de un año de establecido.

sspK: sistemas silvopastoriles de kikuyo, botón de oro y aliso.

sspRK: sistemas silvopastoriles de ryegrass, kikuyo, botón de oro y aliso, con menos de un año de establecido.

En los sistemas silvopastoriles el botón de oro estuvo dispuesto en franjas dentro de la pradera (distancia entre surcos de 9 m y entre plantas de 1 m) o perimetral (distancia entre plantas de 0.25 m), donde se ofertó el 50 % de la disponibilidad en un pastero y el porcentaje restante en el siguiente pastoreo haciendo uso alterno de este, buscando la sincronización del periodo de recuperación de esta arbustiva y la gramínea, además de garantizar forraje de botón de oro en cada pastoreo. El aliso se sembró homogéneamente en la pradera en la mitad de los surcos de botón de oro en una relación de 40 árboles/ha, durante el proceso de desarrollo fueron protegidos con malla.

Durante el periodo evaluado se monitorearon algunas características en las gramíneas que representaron la base alimenticia de las vacas (ryegrass y kikuyo). Un resumen de estas características se observa en la Tabla 1, donde se evidencia el ryegrass como una especie de menor cantidad de materia seca, menor pared celular y mayor contenido energético y proteico en relación con el pasto kikuyo. Estas características implican ciertas estrategias de manejo en la dieta para bovinos, entre ellas la reducción de los contenidos de proteína en los alimentos balanceados empleados en la suplementación dietaria y la necesidad de aumentar el aporte de fibra físicamente efectiva. El momento adecuado para el pastoreo estuvo determinado principalmente por el número de hojas de las plantas (edad fenológica), siendo entre 2.5 a 3 hojas en ryegrass y entre 4 y 5 hojas en kikuyo. El rango de edad del pasto al momento del pastoreo estuvo entre 32 y 35 días para el kikuyo y 28 y 30 días para el ryegrass.

Grupo de animales evaluados y su manejo.

La evaluación se realizó en un hato de vacas Holstein, donde se emplearon individuos que estuvieron al menos en tres de los cinco SP evaluados durante su periodo de lactancia (3 a 305 días). En total participaron 60 vacas holstein de uno a seis partos,

distribuidas en dos grupos, el primero comprendido por vacas que pastoreaban en los sistemas K y sspK; el segundo en la rotación conformada por los sistemas R, sspR y sspRK, cuando las vacas pastoreaban los sistemas R y SspR fueron suplementadas con heno o pasto de corte a razón de 3 kg promedio de materia fresca por individuo, buscando adecuar los contenidos de fibra físicamente efectiva de la dieta. El heno tenía una materia seca de 87.6 % con una proteína bruta de 3.2 % y FDN de 79.2 % y energía bruta de 4.1 Mcal/kg.

Las vacas fueron dinámicas en ambos grupos según las condiciones de manejo de la finca (disponibilidad de forraje, condición productiva, entre otros). Quincenalmente se realizó el control lechero y el balance de dieta individual según la productividad y la calidad de la leche, se garantizó una oferta mínima de 120 gr de proteína y 27 Mcal de ENL/vaca/día. En estudios previos realizados por Mejía *et al.* (2017), el botón de oro tuvo en una materia seca de 16 %, con una proteína bruta, FDA y FDN de 22, 34 y 42 %, respectivamente.

Recolección y procesamiento de datos.

Se recolectó información cada quince días sobre producción de leche (PL), cantidad de lactosa, grasa y proteína (L, G y P, respectivamente) y porcentajes (% L, % G y % P, respectivamente) y niveles de nitrógeno ureico en leche (MUN) durante el 2016 y 2018 cada quince días. Las muestras fueron analizadas por el laboratorio de calidad e inocuidad de la leche de la Universidad de Antioquia.

Las variables dependientes fueron analizadas mediante modelos mixtos aditivos generalizados (GAMM), incluyendo el efecto semiparamétrico suavizado de los días en lactancia (DEL), los efectos fijos de número de partos (NP) y sistema pastoril (SP) y el efecto aleatorio de la lactancia y vaca (LV). Se probaron más de 30 modelos para cada variable dependiente, resultantes de combinar 10 familias de distribución (normal, normal logarítmica, normal inversa, gamma, identidad gamma, gamma logarítmica, inversa gaussiana, identidad inversa, inversa logarítmica y quasi logarítmica) con tres tipos de auto correlación: sin auto correlación, con correlación autorregresiva de primer orden (corAR1) y correlación espacial cuadrática racional (corRatio). Adicionalmente se realizó una combinación en la adición de los efectos fijos mencionados. Se utilizó la librería mgcv (Wood, 2011) del programa estadístico R-project (R Core Team, 2019). El mejor modelo para

Tabla 1. Características bromatológicas de los pastos kikuyo y ryegrass de la hacienda la Montaña.

Especie	Edad de cosecha	n	Biomasa (kg/m ²)	Materia seca (%)	FDN (%)	FDA (%)	Proteína cruda (%)	Energía (Mcal)
Kikuyo	32-35 días	16	3.15 ± 0.407	16.03 ± 2.36	57.5 ± 3.41	27.5 ± 1.49	18.5 ± 3.15	1.26 ± 0.0712
Ryegrass	28-30 días	22	2.48 ± 0.554	14.2 ± 1.88	45.6 ± 3.73	23.7 ± 2.63	23.7 ± 2.63	1.47 ± 0.0725

n: número de datos.

cada variable dependiente fue seleccionado por el criterio de información de Akaike (AIC). Cuando el efecto del sistema pastoril fue significativo ($p < 0.05$) o altamente significativo ($p < 0.001$) se realizaron los siguientes contrastes por pares (R vs. K, sspR vs. R, sspR vs. SspK y R. vs. sspRK), mediante la especificación de hipótesis lineales de la librería multcomp) para modelos GAMM (Hothorn *et al.*, 2008).

Resultados

Según el criterio AIC, los mejores modelos seleccionados se estructuraron con los efectos: semiparamétrico suavizado para DEL, el efecto fijo de SP y el efecto aleatorio de LV. Para las variables PL, P, % P, G y % P se empleó la familia distributiva Gaussiana inversa y auto correlación de tipo corAR1 y para las variables L y MUN se empleó la familia distributiva quasi y auto correlación de tipo corAR1 (Tabla 2). La variable % L no fue posible evaluarla con los modelos propuestos.

La PL promedio fue de 25.2 ± 5.82 kg/vaca/día con 1192 ± 274 , 706 ± 127 y 912 ± 185 g de L, P y G, respectivamente y un MUN de 14.6 ± 2.78 mg/dL. Las curvas ajustadas para cada variable dependiente se ilustran en la Figura 1; donde se observa una curva de PL típica de la lactancia de vacas Holstein (Cañas *et al.*, 2011), con un pico de producción que se expresa alrededor de los 60 días en lactancia y a partir de allí comienza una disminución progresiva hasta obtener las producciones más bajas al finalizar la lactancia (305 días). Una dinámica similar se puede apreciar en la gráfica para la productividad de lactosa; donde su pico coincide con la mayor producción de leche y luego inicia su disminución progresiva, encontrándose una correlación entre PL y L de 0.98.

Una tendencia diferente se apreció al evaluar las gráficas de las cantidades de G y P, que resulta de la interacción de la cantidad de PL y los porcentajes de estos compuestos; donde se evidenciaron mejores producciones al inicio de la lactancia producto de movilizaciones de reservas corporales, las cuales van disminuyendo conforme transcurren los días en lactancia.

En el caso de los % G y % P se encontró una relación inversa con la curva de PL (correlaciones de -0.38 y -0.63, respectivamente), igual a lo que indicaron Ochoa (1991) y García *et al.* (2014), donde la tasa más baja de estos componentes coincide con el pico de PL.

La curva de MUN fue la más constante con una leve caída sobre el último tercio de lactancia, los valores fluctuaron entre 12 y 15 mg/dl, valores bajos y normales, si se tienen en cuenta los niveles altos reportados en la región por Cerón-Muñoz *et al.* (2014).

El efecto del SP fue altamente significativo ($p < 0.01$) en las variables PL, L, P, G y MUN. En la Tabla 3 se indican las diferencias entre SP para los contrastes de comparación entre medias, donde las siguientes comparaciones fueron significativas: 1) en el contraste “R vs. K”, el R fue mayor en PL, L, P, G y MUN; 2) entre R y sspRK el MUN fue mayor en R; 3) en “sspR vs. R”, el sspR presentó mayor L y menor MUN; y 4) en el contraste “sspR vs. sspK”, el sspR presentó mayor PL, L, P y G.

El MUN fue mayor para las vacas que pastorearon R, en comparación con K, sspRK y SspR. No obstante, los valores encontrados se movieron en un rango entre 12 y 15 mg/dl, indicando balances adecuados de energía y proteína en la dieta de las vacas (Cerón-Muñoz *et al.*, 2014), la principal razón se debe al constante balance nutricional de las dietas.

Discusiones

La relación inversa encontrada entre la PL respecto al % G y % P podría estar explicada por efecto de la lactosa, un disacárido simple que requiere menor energía para su síntesis en comparación con los compuestos lipídicos y especialmente los proteicos; los cuales requieren procesos de síntesis con mayor complejidad (Zaragoza *et al.*, 1998; Troncoso, 2014). Por lo tanto, una síntesis mayor de lactosa genera mayor volumen de leche por efecto de su naturaleza higroscópica, resultando en la dilución de los compuestos grasos y proteicos limitados por su tasa de metabolización.

Con relación a los contrastes, se pudo determinar que: en las comparaciones que incluían praderas con R y K (“R vs. K” y “sspR vs. SspK”) se encontró mayor

Tabla 3. Diferencia de medias para el volumen y las características estudiadas en la leche de vacas Holstein en diferentes sistemas pastoriles del trópico alto colombiano.

Comparación	Producción de leche (kg)	Lactosa (g)	Proteína (g)	Grasa (g)	MUN (mg/dL)
R vs. K	3 (**)	141 (*)	85 (**)	88 (**)	0,8 (**)
R vs. sspRK	-1.6	-91	-15	-59	0,3 (*)
sspR vs. R	2.9	160 (*)	53	83	-2,8 (**)
sspR vs. sspK	9.2 (**)	455 (**)	191 (*)	290 (**)	-3,3

*valor significativo ($p < 0.05$); **altamente significativo ($p < 0.001$); K: kikuyo; R: ryegrass; sspR: Sistema silvopastoril de ryegrass, botón de oro y aliso; sspK: Sistema silvopastoril de kikuyo, botón de oro y aliso; sspRK: Sistema silvopastoril de ryegrass, kikuyo, botón de oro y aliso.

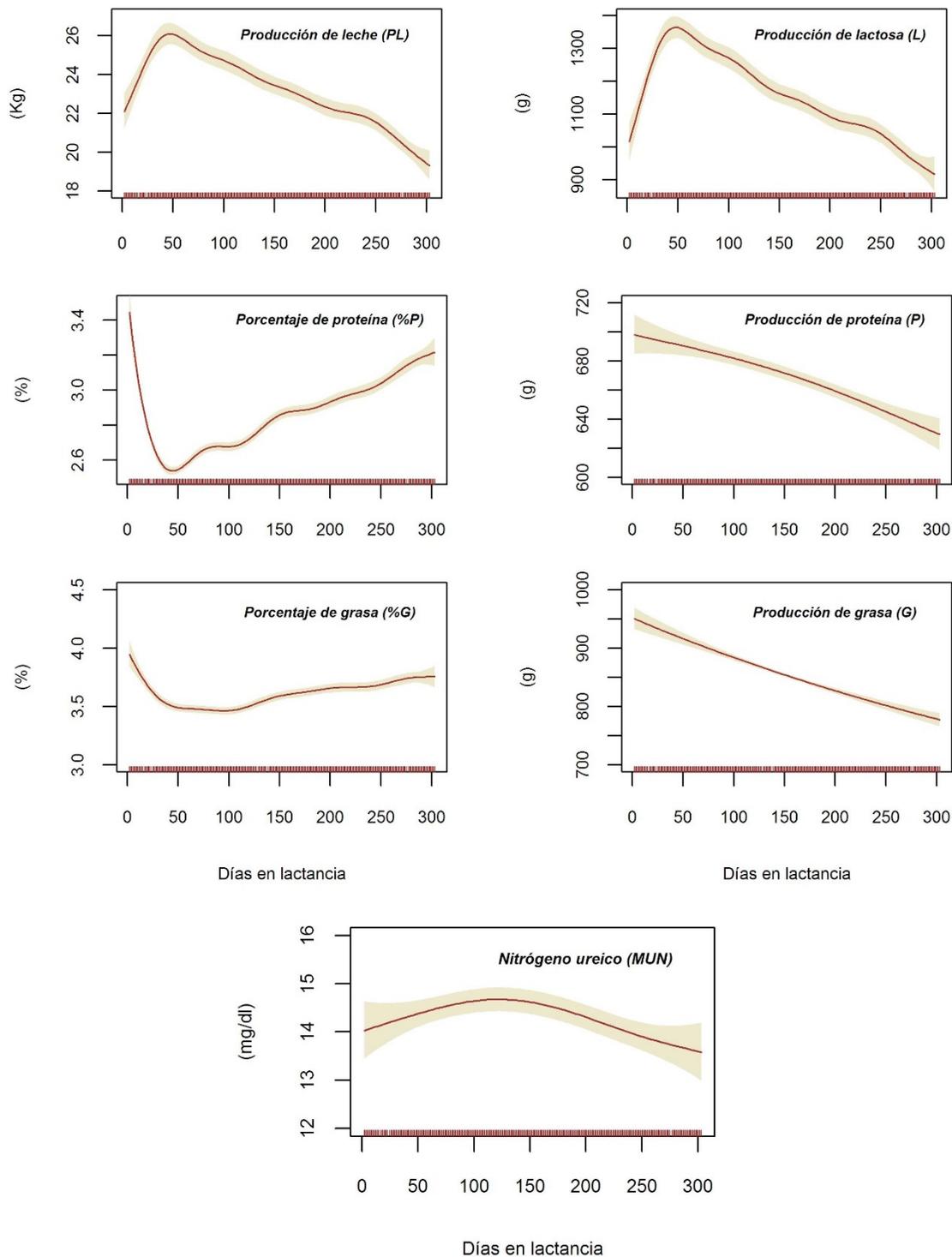


Figura 1. Curvas ajustadas de los modelos aditivos generalizados mixtos según los días en lactancia para la producción y calidad de leche de vacas Holstein

PL, L, G y P si las vacas se encontraban consumiendo R, este hecho puede atribuirse a las características inherentes de la especie, como su mejor contenido energético, proteico y de digestibilidad que dispone rápidamente estos nutrientes para la síntesis de compuestos lácteos; reduciendo los niveles a suplementar en la dieta, especialmente los contenidos

de proteína. Por este motivo las praderas de ryegrass son recomendadas para vacas con mayores exigencias por ser superiores en productividad o vacas en primer tercio de lactancia que generalmente tienen bajo consumo de materia seca y alta demanda nutricional a causa de su involución uterina y su pico de producción.

Tabla 2. Propiedades de los modelos aditivos generalizados mixtos seleccionados. en el estudio.

Variable dependiente	Estructura del modelo	R ²	Familia	Auto correlación
Producción leche (kg)	$y_{PL} = \mu + s(\text{DEL}) + \text{SP} + \text{LV} + \epsilon$	0.65	Gaussiana inversa	corAR1
Lactosa (g)	$y_L = \mu + s(\text{DEL}) + \text{SP} + \text{LV} + \epsilon$	0.63	Quasi	corAR1
Proteína (%)	$Y\%P = \mu + s(\text{DEL}) + \text{SP} + \text{LV} + \epsilon$	0.63	Gaussiana inversa	corAR1
Proteína (g)	$y_P = \mu + s(\text{DEL}) + \text{SP} + \text{LV} + \epsilon$	0.61	Gaussiana inversa	corAR1
Grasa (%)	$y\%G = \mu + s(\text{DEL}) + \text{SP} + \text{LV} + \epsilon$	0.47	Gaussiana inversa	corAR1
Grasa (g)	$y_G = \mu + s(\text{DEL}) + \text{SP} + \text{LV} + \epsilon$	0.61	Gaussiana inversa	corAR1
MUN (mg/dL)	$y_{MUN} = \mu + s(\text{DEL}) + \text{SP} + \text{LV} + \epsilon$	0.39	Quasi	corAR1

μ : Promedio; S (DEL): efecto semiparamétrico suavizado para días en leche; SP: sistema pastoril; LV: lactancia de la vaca, ϵ : error residual. “corAR1” es la correlación autorregresiva de primer orden.

Conclusiones

Al comparar los sistemas silvopastoriles, el de mayor PL fue el sspR, seguido de sspRK y el de menor PL fue el sspK. Lo anterior indica que la diversificación de la pradera con especies de alta calidad nutricional, como ha sido reportado en estos sistemas por Mejía *et al.* (2017), permite una mayor complementariedad nutricional. La producción de hojas y otros materiales que pueden ser consumidos por los animales es mucho mayor en los sistemas silvopastoriles de dos o tres estratos que en los sistemas de monocultivo de pastos, resultados investigativos han mostrado que la producción de ganado puede ser mejor (Murgueitio *et al.*, 2011).

Mahecha *et al.* (2018) reportaron un mayor consumo de materia seca y una mayor producción de leche en sistemas silvopastoriles intensivos con botón de oro, kikuyo y aliso, comparado con un sistema de monocultivo de pasto kikuyo. Cardona *et al.* (2017) encontraron menores pérdidas de nitrógeno en heces y orina de los animales en el SSP y menores emisiones de metano estimadas por fórmula e *in vitro*. Lo anterior podría indicar que en estos sistemas silvopastoriles hay una mayor eficiencia nutricional con menores pérdidas y de ahí el mejor desempeño productivo de los animales, semejante a lo encontrado en esta investigación.

Para % G y % P el efecto SP no fue significativo ($p > 0.05$). Por este motivo, resulta conveniente mencionar la influencia en la práctica de suplementación con heno o pasto de corte en vacas cuya dieta estuvo basada en ryegrass, buscando aumentar el contenido de fibra como precursor de la grasa láctea (Cruz y Sánchez, 2000). El sspRK indicó ser un sistema de interés al obtener producciones de PL, L, G y P iguales a las de R, donde el kikuyo aporta mayor oferta de fibra en la dieta evitando la suplementación, no obstante, este sistema exige excelentes prácticas de manejo agronómicas para favorecer la persistencia del R en la asociación de pasturas.

Los sistemas pastoriles conformados por ryegrass (*Lolium ssp.*) son superiores en producción de leche a los sistemas conformados por kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.)), aún más si el ryegrass se integra en arreglos silvopastoriles con botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y alisos (*Alnus acuminata*). Este sistema (sspR) muestra la mejor aptitud lechera en términos de kg de leche/vaca/día y si se hace un correcto balance en la dieta de energía-proteína más la suplementación de fibra, se logra mayor productividad de lactosa, grasa y proteína; anotando que los niveles de suplementación proteica se reducen en este sistema. También resulta interesante el desempeño del sistema silvopastoril de ryegrass, kikuyo, botón de oro y aliso; presentando un potencial para mejorar la oferta de fibra de las praderas. Por lo tanto, se sugiere seguir evaluando este tipo de asociación y sus dinámicas para establecer adecuados criterios agronómicos de manejo y de balance de dietas para bovinos de leche.

Agradecimientos

Al proyecto colombo-holandés de capacitación y desarrollo de negocios en lechería “DairyCaB”, convenio entre la Universidad de Wageningen UR Livestock Research, la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia y las empresas Sáenz Fetty, Barenbrug y Eurofins, con recursos del Ministerio de Asuntos Exteriores, administrados por la Agencia de Empresas de Holanda-RVO. A la Estrategia para la sostenibilidad grupo de Investigación GaMMA y Convocatoria Joven Investigador CODI 2018.

Referencias

- Arango Gaviria, J., Cardona Naranjo, F.A., López Herrera, A., Correa Londoño, G. y Echeverri Zuluaga, J.J. (2017). Variación de caracteres morfológicos del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el trópico alto de Antioquia. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 12(1), 44-52. <https://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/3913>

- Cadena Guerrero, M.M., García Dávila, M.A., Meneses Buitrago, D.H., Morales Montero, S.P. y Castro Rincón, E. (2019). Adaptación de diez cultivares de *Lolium* sp. en el trópico alto de Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 165-178. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v30i1.34094>
- Cañas, A.J., Cerón-Muñoz, M. y Corrales, A.J. (2011). Modelación de curvas de lactancia para producción de leche, grasa y proteína en bovinos Holstein en Antioquia, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 16(2), 2514-2520. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1015>
- Cárdenas, C.A., Rocha, C. y Mora Delgado, J. (2011). Productividad y preferencia de forraje de vacas lecheras pastoreando un sistema silvopastoril intensivo de la zona alto Andina de Roncesvalles, Tolima. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 14(1), 29-35. <http://revistas.ut.edu.co/index.php/ciencianimal/article/view/140>
- Cardona, L., Mahecha, L. y Angulo, J. (2017). Efecto sobre la fermentación in vitro de mezclas de *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinus* y grasas poliinsaturadas. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 405-426. <http://dx.doi.org/10.15517/ma.v28i2.25697>
- Carulla, J.E. y Ortega, E. (2016). Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2), 83-87. https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/2526
- Cerón-Muñoz, M.F., Henao Velásquez, A.F., Múnera Bedoya, Ó.D., Herrera Ríos, A. C., Díaz Giraldo, A., Parra Moreno, A.M. y Tamayo Patiño, C.H. (2014). Concentración de nitrógeno ureico en leche: Interpretación y aplicación práctica. Fondo Editorial Biogénesis. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/article/view/326014/20783304>
- Cruz Calvo, C.M. y Sánchez, J.M. (2000). La fibra en la alimentación del ganado lechero. *Nutrición Animal Tropical*, 6(1), 39-74. http://www.cina.ucr.ac.cr/recursos/docs/Revista/la_fibra_en_la_alimentacion_del_ganado_lechero.pdf
- Echeverry Zuluaga, J.J., Restrepo Betancur, L.F. y Parra Suescún, J.E. (2010). Evaluación comparativa de los parámetros productivos y agronómicos del pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum* bajo dos metodologías de fertilización. *Revista Lasallista de Investigación*, 7(2), 94-100. <http://hdl.handle.net/10567/156>
- Escobar, B., Hernández, R., Giraldo, L.A. y Mahecha, L. (2001). Efecto de la sombra arbórea sobre los hábitos de pastoreo y el consumo de vacas cebú en Cauca, Antioquia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 14(supl. 2001), 93. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/323783/20780970>
- Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN). (20 de mayo de 2018). *Ganadería Colombiana: Hoja de ruta 2018-2022*. <https://www.fedegan.org.co/noticias/ganaderia-colombiana-hoja-de-ruta-2018-2022>
- Fulkerson, B. (2007). *Perennial ryegrass. Future Dairy*. [Archivo PDF]. <http://futuredairy.com.au/wp-content/uploads/2016/02/TechNoteRyegrassPerennial.pdf>
- García, C.A.C., Montiel, R.L.A. y Borderas, T.F. (2014). Grasa y proteína de la leche de vaca: componentes, síntesis y modificación. *Archivos de zootecnia*, 63(REV), 85-105. <https://doi.org/10.21071/az.v63i241.592>
- Hothorn, T., Bretz, F. y Westfall, P. (2008). Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal*, 50(3), 346-363. <https://doi.org/10.1002/bimj.200810425>
- Humphreys, M. O. y Eagles, C. F. (1988). Assessment of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) for breeding. I freezing tolerance. *Euphytica*, 38(1), 75-84. <https://doi.org/10.1007/BF00024813>
- Mahecha, L. (2002). El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 226-231. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/323817>
- Mahecha, L. (2003). Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 16(1), 11-18. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/323847>
- Mahecha, L., Angulo, A. y Cardona, L. (2-6 de septiembre de 2018). *Silvopastoral system with wild sunflower shrubs (Tithonia diversifolia) and polyunsaturated fat y acid supplementation on: productive and environmental effects*. The 10th International Symposium on the Nutrition of Herbivores ISNH 2018. Clermont-Ferrand, France.
- Mejía Díaz, E., Mahecha Ledesma, L. y Angulo Arizala, J. (2017). Consumo de materia seca en un sistema silvopastoril de *Tithonia diversifolia* en trópico alto. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 389-403. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.23561>
- Molina, M., Medina, M. y Mahecha, L. (2008). Microorganismos y micronutrientes en el crecimiento y desarrollo del Aliso (*Alnus acuminata* H.B.K.) en un sistema silvopastoril alto andino. *Livestock Research for Rural Development*, 20, Article #54. <http://www.lrrd.org/lrrd20/4/moli20054.htm>
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A. y Solorio, B. (2011). Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of cattle ranching lands. *Forest Ecology Management*, 261(10), 1654-1663. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.027>
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Ochoa, P.G. (1991). Mejoramiento genético del ganado bovino productor de leche. *Ciencia Veterinaria*, 5(4): 67-88. <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/cienciavet/revistas/CvVol5/CVv5c4.pdf>
- Silva Parra, A., Garay Rodríguez, S. y Gómez-Insuasti, A. S. (2017). Impacto de *Alnus acuminata* Kunth en los flujos de N2O y calidad de pasto *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. *Colombia Forestal*, 21(1), 47-57. <https://doi.org/10.14483/2256201X.11629>
- Troncoso A., H. (2014). Producción de leche y biosíntesis. *Sitio argentino de producción animal* (44). http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/leche_subproductos/59-Produccion_Leche_y_Biosintesis.pdf
- Wood, S.N. (2011). Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, 73(1), 3-36. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x>
- Zapata Cadavid, A. y Vargas Sánchez, J. E. (2014). *Botón de oro: manual para su establecimiento y manejo en sistemas ganaderos*. Universidad de Caldas. <https://docplayer.es/51314314-Boton-de-oro-manual-para-su-establecimiento-y-manejo-en-sistemas-ganaderos-alvaro-zapata-cadavid-julio-ernesto-vargas-sanchez-universidad-de-caldas.html>
- Zaragoza, C., Seguí, A., y Sanz, E. (1998). *Relaciones entre la producción y el contenido de proteína con los factores de la producción de leche*. [Trabajo de Investigación Final de Carrera]. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. http://www.remugants.cat/2/upload/llet_factors_produccia_i_condicia_corporal_pfc_zaragoza.pdf