

Efecto del ensilaje de *Avena sativa* L. en la productividad de vacas lactantes en pastoreo**Effect of the silage from *Avena sativa* L. on the productivity of grazing lactating cows**

Edwin Castro-Rincón <https://orcid.org/0000-0001-9841-8242>, Juan Leonardo Cardona-Iglesias <https://orcid.org/0000-0001-5225-8108>,
Filadelfo Hernández-Oviedo <https://orcid.org/0000-0002-1549-4926> y Martín Valenzuela-Chirán <https://orcid.org/0000-0002-2183-4288>

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia. Centro de Investigación Obonuco. Km 5 Vía Pasto – Obonuco, Nariño, Colombia. Correo electrónico: ecastro@agrosavia.co

Resumen

Objetivo: Evaluar el efecto del nivel de oferta de ensilaje de *Avena sativa* L., variedad Altoandina, en el consumo de materia seca total de la dieta y la productividad de las vacas lactantes en pastoreo en el municipio de Pasto, Colombia.

Materiales y Métodos: Se utilizaron 12 vacas F1 (Kiwi cross x Holstein), de 450 kg de peso vivo promedio, en un diseño de sobre cambio. Se establecieron dos tratamientos, que correspondieron a dos niveles de inclusión de ensilaje: 20 (T1) y 35 % (T2) del consumo de materia seca total. Se evaluaron períodos de 12 días, siete de adaptación y cinco de medición. Se estimó el consumo de materia seca, la calidad y la producción de leche, así como los indicadores del perfil metabólico (glucosa, colesterol y nitrógeno ureico en sangre). La información se procesó mediante un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias Tukey.

Resultados: Hubo efecto significativo ($p < 0,05$) para las variables consumo de materia seca total del ensilaje (2,8 vs 1,4 kg/MS/vaca/día para 35 y 20 % de inclusión de ensilaje de avena, respectivamente). La producción de leche fue de 14,9 vs 14,3 kg/vaca/día, para 35 y 20 % de inclusión de ensilaje de avena, respectivamente. El nitrógeno ureico en leche y el nitrógeno ureico en sangre resultaron superiores en T1 con respecto a T2 (15,8 y 3,1 vs 14,5 y 2,8, respectivamente).

Conclusiones: La introducción en la dieta de ensilaje de *A. sativa*, variedad Altoandina (20 y 35 %), afectó el consumo de materia seca total. Además, la inclusión de 35 % del ensilaje influyó positivamente en la producción de leche, al aumentar en 4 %.

Palabras clave: consumo, ensilaje, oferta forrajera, producción lechera

Abstract

Objective: To evaluate the effect of the offer level of silage from *Avena sativa* L., Altoandina variety, on the total dry matter intake of the diet and the productivity of lactating cows under grazing conditions in the Pasto municipality, Colombia.

Materials and Methods: Twelve F1 cows (Kiwi cross x Holstein) were used, of 450 kg of average live weight, in a crossover design. Two treatments were established, which corresponded to two silage inclusion levels: 20 (T1) and 35 % (T2) of the total dry matter intake. Periods of 12 days were evaluated, seven of adaptation and five for measurement. Dry matter intake, milk quality and production, as well as the indicators of the metabolic profile (glucose, cholesterol and blood ureic nitrogen) were estimated. The information was processed through a variance analysis and Tukey's mean comparison test.

Results: There was significant effect ($p < 0,05$) for the variables total dry matter intake of the silage (2,8 vs. 1,4 kg/DM/cow/day for 35 and 20 % of inclusion of oat silage, respectively). The milk production was 14,9 vs. 14,3 kg/cow/day, for 35 and 20 % of inclusion of oat silage, respectively. The milk ureic nitrogen and blood ureic nitrogen were higher in T1 with regards to T2 (15,8 and 3,1 vs. 14,5 and 2,8, respectively).

Conclusions: The introduction in the diet of silage of *A. sativa*, Altoandina variety (20 and 35 %), affected the total dry matter intake. In addition, the inclusion of 35 % of the silage influenced positively milk production, increasing by 4 %.

Keywords: intake, silage, forage offer, milk production

Introducción

En el trópico alto de Colombia es usual que los sistemas ganaderos se basen en condiciones extensivas, con predominio del monocultivo de gramíneas, altas tasas de fertilización sintética, y pocas

opciones de suplementación basadas en forrajes (Cardona-Iglesias *et al.*, 2019). Ante este panorama, al que se adiciona el cambio climático, uno de los mayores desafíos productivos en estos sistemas es la variación en la cantidad y la calidad de las pasturas

Recibido: 29 de noviembre de 2019
Aceptado: 15 de mayo de 2020

Como citar este artículo: Castro-Rincón, E.; Cardona-Iglesias, J. L.; Hernández-Oviedo, F. & Valenzuela-Chirán, M. Efecto del ensilaje de *Avena sativa* L., variedad Altoandina, en la productividad de vacas lactantes en pastoreo. *Pastos y Forrajes*. 43 (2):150-158, 2020.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

durante el año. En ello influye la estacionalidad de la producción, que provoca la irregularidad de las precipitaciones en el año (Jia *et al.*, 2019).

En los sistemas lecheros, los eventos citados conllevan a la reducción de la oferta forrajera y de nutrientes, a la disminución del consumo voluntario de materia seca y, por consiguiente, al decrecimiento de la producción animal (Pedraza-Martínez, 2017). Específicamente, en el trópico alto, esto ocurre con las gramíneas naturalizadas, como *Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. y algunas variedades de *Lolium perenne* L. (Carulla, 2016), susceptibles a las heladas y sequías. Por lo anterior, en la mayoría de los sistemas ganaderos del trópico alto colombiano es una prioridad diseñar estrategias de alimentación que mejoren la sincronía ruminal de energía-proteína, para así potencializar la productividad animal y disminuir las emisiones de gases que contaminan el medio ambiente (Gallego-Castro *et al.*, 2017; Cardona-Iglesias *et al.*, 2019).

Ante estas exigencias, constituye una alternativa la utilización de materiales forrajeros, mejorados y adaptados a las condiciones edafoclimáticas de la región, con los que se puedan obtener buenos rendimientos de biomasa y aceptables aportes energéticos (Makkar, 2016; Cadena-Guerrero *et al.*, 2019).

Específicamente, la *Avena sativa* L., variedad Altoandina, se ha evaluado como recurso nutricional para los sistemas ganaderos de la región. Por su buen aporte energético y proteico, altos rendimientos de materia seca y buena ensilabilidad, con respecto a otras variedades (Campuzano-Duque *et al.*, 2018), el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del nivel de oferta del ensilaje de *A. sativa*, variedad Altoandina, en el consumo de materia seca total y la productividad de vacas en pastoreo.

Materiales y Métodos

Localización y clima. El experimento se realizó entre febrero y abril de 2019 (período de bajas precipitaciones), en el centro de investigación Obonuco, de la corporación Agrosavia (antiguo CORPOICA). Esta instalación se encuentra ubicada en el corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto (Nariño, Colombia), en las coordenadas latitud N 1°11'29,6" y longitud 77°18'47,9", a 2 865 msnm. La temperatura media de la región fue de 10 °C, con una precipitación anual de 841,57 mm y una humedad relativa de 83 %, condiciones que se corresponden con la zona de vida Bosque Seco Montano Bajo (Holdridge, 2000).

Animales experimentales. Para el experimento se seleccionaron 12 vacas lactantes F1 (Kiwi cross

x Holstein) con 450 kg de peso vivo (PV) como promedio, distribuidas en dos grupos homogéneos (seis vacas). Se trata de animales con dos partos, 90 días de lactancia (± 20) y producciones iniciales de leche de 14 kg diarios. Las vacas pastorearon praderas de *L. perenne*, de 35 días de edad, y recibieron ensilaje de avena de 70 días de elaborado.

Tratamientos y diseño experimental. Los tratamientos correspondieron a dos niveles de inclusión de ensilaje de *A. sativa*: T1 - 20 % y T2 - 35 % del consumo de materia seca (CMS) del ensilaje de *A. sativa*, a partir del consumo de materia seca total estimada (CMST) para cada animal. El CMST/día (kg) se asumió como 3 % del PV del animal (13,5 kg de MS diarios como promedio), adicional al ensilaje. Se entendió que el resto del CMST debía ser a partir del pasto (*L. perenne*).

El efecto de los niveles de inclusión de ensilaje en las variables estudiadas se evaluó durante dos secuencias de medición, cada una de 12 días (siete días correspondieron a un periodo de adaptación y cinco de medición). Para el experimento se usaron 12 animales (vacas lactantes), aleatorizados a razón de seis animales en cada uno de los niveles de inclusión de ensilaje durante el primer periodo de medición. En la segunda secuencia, los animales se cambiaron de tratamiento. Esto es: los seis que estuvieron en el nivel de inclusión de 20 % pasaron al 35 %, y viceversa.

Durante los cinco días de medición, se registró individualmente el consumo de MS de *A. sativa*, la producción y la calidad composicional de la leche. Para efecto del análisis, se consideró el promedio de los cinco días para cada una de las variables evaluadas. Adicionalmente, se tomaron muestras del perfil metabólico en sangre de cada animal, durante el día uno y doce de cada periodo de evaluación.

Manejo del pastizal. El manejo del pastoreo de los animales fue por medio de cinta eléctrica, de acuerdo con el que se realiza habitualmente. La franja diaria de pastoreo se asignó en tres momentos (6:00, 12:00 y 16:00 h): después del ordeño de la mañana (6:00), luego del ordeño de la tarde (16:00) y en un horario más o menos intermedio (12:00), con el propósito de hacer más eficiente el pastoreo. Los animales tuvieron agua a voluntad. Durante la investigación, las vacas no consumieron alimento concentrado ni otro suplemento diferente del ensilaje de *A. sativa*. En ambos tratamientos, la oferta de pasto destinado a los animales se ajustó a partir del CMST. Por tanto, el CMS de la pastura dependió del nivel de inclusión del ensilaje de *A. sativa*.

Consumo de pasto. Se utilizó la metodología del doble muestreo (Haydock y Shaw, 1975) para la estimación de la disponibilidad de *L. perenne*. Sobre esa base se definió la carga animal (seis vacas franja/día para cada tratamiento) y el tamaño de las franjas (40 % más de pasto considerado para desperdicio). Posteriormente, se estimó el consumo de MS del pasto a partir de la diferencia entre oferta y rechazo. El residuo que dejaron los animales se estimó inferior a 800 kg de MS pasto/ha como promedio.

Consumo y manejo del ensilaje. El ensilaje (tamaño de partícula 3 cm promedio) se ofertó dos veces al día, después de cada ordeño. Las vacas se trasladaron hasta un corral con acceso a comederos individuales, donde se les suministró la ración de ensilaje en dependencia del tratamiento asignado. El consumo de ensilaje se determinó por la diferencia entre lo ofertado y lo rechazado. Después del consumo del ensilaje, que duró como promedio 30 min., los dos grupos de vacas se trasladaron al potrero, a su respectiva franja, para el pastoreo a voluntad hasta el próximo ordeño. La sal mineralizada se suministró antes del ordeño de la tarde en comederos grupales (150 g/vaca/día).

Composición química de la dieta. Durante los días de medición se tomaron submuestras del ensilaje directamente de las bolsas, antes de que se suministrara a los animales. Se tomaron también submuestras de la pastura de las franjas en pastoreo en el momento de hacer los aforos. Se secaron en un horno, a temperatura de 65 °C durante 72 h. Después, se enviaron al laboratorio de nutrición animal del centro de investigación Tibaitata, hoy Agrosavia (Bogotá, Colombia), donde se realizaron los respectivos análisis bromatológicos: materia seca (MS), proteína bruta (PB), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa (HEM), nutrientes digestibles totales (NDT), digestibilidad de la materia seca (DGMS), extracto etéreo (EE), energía bruta (EB), energía neta de lactancia (ENL), ceniza, calcio y fósforo. Para este análisis se utilizó la técnica de espectroscopía de reflectancia en infrarrojo cercano NIRS (Ariza-Nieto *et al.*, 2017), con un equipo NIRS DS 2500-FOSS Analytical A/S, Dinamarca.

Producción y calidad composicional de la leche. La producción de leche de cada animal se registró durante los períodos de medición en un medidor de leche (Tru-Test Milk Meters, Nueva Zelanda), a las 5:00 y a las 15:00 h, en la sala de ordeño. Durante los cinco días de medición se tomaron muestras

individuales de leche. A las muestras recolectadas se les determinó grasa (%), proteína (%), sólidos totales (%) mediante el método de espectroscopia infrarroja (AOAC 972.16) (AOAC, 2015) y nitrógeno ureico en leche (MUN) por el método infrarrojo (espectrofotometría IR). Las muestras se procesaron en el laboratorio de leche del Centro de Investigación Obonuco-Agrosavia, con un equipo FOSS Milkoscan TM 7RM, FOSS Analytical A/S, Dinamarca. La corrección de la leche al 4 % de grasa (LCG) se realizó según NRC (2001) ($LCG = 0,4 \times \text{kg leche} + 15 \times \text{kg grasa}$).

Perfil metabólico en sangre. En el día 1 y 12 de cada período de evaluación, los animales se llevaron a una báscula para registrar el peso vivo. Se les tomó, además, una muestra de sangre de la vena coccígea en tubos Vacutainer Improve® (clot activador). Después de dejar reposar las muestras por 10 minutos, se procedió a centrifugarlas a 4 000 r.p.m. durante 5 minutos en una centrifuga HERMLE z206a, donde se obtuvo el suero sanguíneo. Este se colocó en tubos Ependorf de 1,5 mL y se congeló a -20 °C para determinar las concentraciones de glucosa, colesterol y nitrógeno ureico, como indicadores de los niveles energéticos y proteicos del animal.

Análisis estadístico. El efecto de los niveles de inclusión de ensilaje de *A. sativa* en las variables evaluadas se analizó mediante un diseño de sobre cambio (Lui, 2016), en el que se estimó la influencia del factor de tratamiento y la secuencia de los animales en cada período de medición. En los casos en los que el análisis de varianza detectó diferencias significativas entre tratamientos, se usó la prueba de comparación múltiple de Tukey, con 95 % de confianza. Los análisis se realizaron mediante el programa estadístico R Project, versión 3.6.1.

Resultados y Discusión

Composición bromatológica. En la tabla 1 se muestra la composición bromatológica del ensilaje de *A. sativa*, variedad Altoandina (70 días), y de *L. perenne* (35 días).

La MS hallada en el ensilaje (27 %) fue superior a lo informado por Calpa y Melo (2003) en el centro de investigación Obonuco (Agrosavia). Estos autores evaluaron la variedad de *A. sativa*, líneas L-15 y Cayuse, y encontraron valores de MS de 25 y 19,2 %, respectivamente. En las tablas de la FEDNA (2016), para ensilaje de *A. sativa* con MS de 27 %, los valores de fracciones como la PB (8,9 %) y la ENL (1,35 Mcal/kg/MS) fueron menores que los registrados en esta investigación. Con respecto al pasto, el contenido de MS (16,2 %) se corresponde con lo informado por

Tabla 1. Composición nutricional del ensilaje de *A. sativa*, variedad Altoandina, y del pasto *L. perenne*.

Indicador	Ensilaje	Pasto
MS, %	27,0	16,2
PB, %	9,3	22,1
ENL, Mcal/kg de MS	1,63	1,4
NDT, %	71,0	63,1
FDN, %	49,0	47,0
FDA, %	24,5	25,6
Lignina, %	9,0	6,0
DGMS, %	77,2	69,1
Ca, g/kg MS	0,4	0,5
P, g/kg MS	0,2	0,2
CHOST, %	75,4	64,8
CNE, %	26,4	17,8

MS: materia seca; PB: proteína bruta; ENL: energía neta de lactancia; NDT: nutrientes digestibles totales, FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; Lig: lignina; DGMS: digestibilidad de la MS; Ca: calcio; P: fósforo; CHOST: carbohidratos totales; CNE: carbohidratos no estructurales

Castro *et al.* (2019) para *L. perenne* en el trópico alto de Nariño, Colombia.

La PB obtenida en el ensilaje de *A. sativa*, variedad Altoandina (9,3 %), resultó superior a lo informado por López *et al.* (2012), quienes hallaron tenores de 7,2 % en ensilajes de *A. sativa*. El contenido de PB de *L. perenne* fue alto (22,1 %), similar al 24 % que refirieron Vargas-Martínez *et al.* (2018) para el trópico alto con el mismo tiempo de reposo (35 días).

Según Villalobos y Sánchez (2010), este pasto se caracteriza por buenos contenidos de proteína y de energía, lo que se corroboró en esta investigación, donde se encontraron valores de ENL de 1,43 Mcal/kg MS, similares al 1,4 informado por Vargas-Martínez *et al.* (2018). Sin embargo, los valores de ENL del ensilaje de *A. sativa* (1,63 Mcal/kg MS) fueron superiores a los del pasto. También fueron más altos que los referidos por Harper *et al.* (2017) para ensilajes de *A. sativa*, (1,5 Mcal/kg MS). En cuanto a los resultados del análisis de la FDN y FDA en el ensilaje de *A. sativa*, variedad Altoandina, las cifras estuvieron entre 49,0 y 24,5 % respectivamente, por lo que se hallan en el rango recomendado por la NRC (2001) para vacas lecheras.

Los resultados correspondientes a la DMS (77,2 %) y TDN (71 %) en el ensilaje experimental fueron mayores al 58,1 % informado por León *et al.* (2009) para el ensilaje de *A. sativa*. En el pasto base *L. perenne*,

los indicadores de fibra resultaron relativamente bajos, si se comparan con los reportados en gramíneas tropicales (Molina-Botero *et al.*, 2013). Mientras, para la DMS y el TDN, los indicadores fueron altos (69,1 y 63,1%, respectivamente).

El valor de P en este estudio (tabla 1) fue similar al 0,2 % que refirieron León *et al.* (2009) en ensilaje de *A. sativa* Cayuse. Sin embargo, los resultados para el Ca y P fueron menores que los informes de FEDNA (2016) en ensilajes de *A. sativa* con 27 % de MS (Ca: 0,5 % y P: 0,3 %). Aunque resultaron aceptables los valores de Ca y P en el ensilaje de *A. sativa*, variedad Altoandina, se deben complementar en la dieta con otra proporción proveniente del forraje y del suplemento mineral para satisfacer los requerimientos nutricionales de estos minerales.

Consumo de materia seca. El consumo de materia seca (CMS) es una variable de gran importancia en la nutrición de vacas lecheras, pues de ella depende el estado nutricional y sanitario de estos animales (Cardona-Iglesias *et al.*, 2019).

En la tabla 2 se muestra el efecto de la inclusión de diferentes proporciones de ensilaje en el consumo de las vacas lecheras. El consumo de ensilaje de las vacas fue mayor a medida que aumentó la oferta (1,35 y 2,78 kg de MS/ensilaje/día para T1 y T2, respectivamente), lo que equivale a consumos de 5,0 y 10,3 kg de ensilaje fresco por día.

Tabla 2. Efecto de dos niveles de inclusión de ensilaje de *A. sativa*, variedad Altoandina, en el consumo de materia seca en vacas lactantes (kg/día).

Indicador	T1	EE ±	T2	EE ±	Valor - P
CMS ensilaje	1,4	0,10	2,8	0,15	0,0022
CMS pasto	12,4	0,16	10,8	0,17	0,0003
CMST	13,8	0,13	13,6	0,12	0,6788

CMS: consumo materia seca, CMST: consumo materia seca total, T1- 20 % inclusión, T2-35 % inclusión de ensilaje de *A. sativa*, EE: error estándar.

Como la oferta de ensilaje fue de 2,7 y 4,7 kg de MS/día para T1 y T2, respectivamente, el consumo real del ensilaje equivaldría a 50 % en T1, y 60 % en T2. El resto se registró como ensilaje desperdiciado.

Estos consumos se pueden catalogar como bajos, si se tiene en cuenta la composición nutricional del ensilaje. León *et al.* (2009) lograron consumos de hasta 6,7 kg de MS/día de ensilaje de *A. sativa* con respecto al peso vivo de vacas Holstein, cuando incluyeron este alimento conservado al 1,4 %. Este es, a su vez, un consumo superior al informado por Yuste *et al.* (2016), quienes refririeron 6,0 kg de MS en ensilaje de *A. sativa*, con vacas 50 % Jersey x 50 % Holstein. La diferencia de consumos con respecto a la literatura se pudiera relacionar con la raza utilizada, ya que se conoce que los animales Holstein poseen mayor tamaño del rumen, y también son mayores sus requerimientos nutricionales (Cardona-Iglesias *et al.*, 2019). También se pudiera asociar al diseño experimental aplicado, en el que las vacas (Kiwi cross x Holstein) pudieron consumir hasta 35 % del CMST estimado en forma de ensilaje, que para este tipo de animal no rebasaría los 5,0 kg de MS, en función del peso vivo y la disponibilidad de pasto.

En cuanto a *L. perenne*, las vacas tuvieron una oferta promedio de forraje en las franjas de 13,5 kg MS/vaca/día, para ambos tratamientos. En el T2, consumieron 10,8 y 2,78 kg MS/día de pasto y ensilaje respectivamente, para un consumo de MST/día

de 13,6 kg, que fue similar ($p > 0,05$) al consumo total en el T1 (tabla 2). Al parecer, las vacas en el T2 sustituyeron *L. perenne* por el ensilaje de *A. sativa*, variedad Altoandina, ya que en el T1 los consumos de pasto llegaron hasta 12,4 kg/día. En ambos niveles de inclusión de ensilaje, la FDN total de la dieta fue de 47 y 47,3 % para el T1 y T2, respectivamente. Estos valores, informados como óptimos, aumentan la rumia y promueven la tasa de pasaje ruminal (Banakar *et al.*, 2018).

Producción y calidad composicional de la leche. En la tabla 3, se presentan los resultados para las variables de producción y calidad composicional de la leche. La producción de leche (LCG, L/vaca/día) tuvo diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) a favor del T2 (14,9 vs 14,3 kg), no siendo así para las demás variables de calidad composicional (grasa, proteína, sólidos totales, %).

La producción de leche antes del experimento fue de 14 kg/vaca/día, similar a los 14,3 kg del T1, pero inferior ($p < 0,05$) con respecto al T2 (14,9 kg/vaca/día). Si se analizan los datos de CMST (tabla 2), se observa que no hubo diferencias significativas entre tratamientos. El valor de 35 % de MS del ensilaje en el CMST pudo haber tenido efecto positivo en la producción de leche, que aumentó en 0,6 kg/vaca/día (tabla 3).

En esta investigación, para los dos sistemas de alimentación comparados (T1 y T2), se obtuvieron

Tabla 3. Efecto de dos niveles de inclusión de ensilaje de *A. sativa*, variedad Altoandina, en la producción y calidad composicional de la leche en vacas lactantes.

Indicador	T1	EE ±	T2	EE ±	Valor - P
PL, kg/vaca/día (LCG)	14,3	0,38	14,9	0,47	0,0490
Contenido de grasa, %	4,5	0,11	4,2	0,12	0,0560
Contenido de proteína, %	3,8	0,04	3,7	0,04	0,0587
Contenido de sólidos totales, %	13,2	0,47	13,3	0,47	0,3953
MUN, mg/dL	15,7	0,37	14,4	0,37	0,0477

T1-20 % inclusión ensilaje de *A. sativa*; T2-35 % inclusión ensilaje de *A. sativa*; LCG: leche corregida por grasa. MUN: nitrógeno ureico en leche

datos de 0,733 y 0,356 kg de CNE, al incluir 35 y 20 % de ensilaje en la dieta, respectivamente. Para la ENL, la oferta de 20 y 35 % de ensilaje aportó 2,2 y 4,53 Mcal, respectivamente. Para los dos sistemas de alimentación evaluados (T1 y T2) se observaron valores totales de 19,9 y 20,0 Mcal/kg de MS de ENL.

En trópico alto de Colombia, Mojica *et al.* (2009) estudiaron el efecto de la restricción de la oferta de *C. clandestinus* y la inclusión de 0; 0,7 y 1,4 % de ensilaje de *A. sativa* con respecto al PV en variables productivas de vacas Holstein. La suplementación con el ensilaje no afectó la producción diaria de leche/vaca. Estos autores informaron valores de 22,2 kg/vaca/día (0 % inclusión de ensilaje); 20,1 kg/vaca/día (0,7 % inclusión) y 20,1 kg/vaca/día (1,4 % inclusión). Álvarez y Bernal (2018), también con vacas Holstein, lograron mayor producción de leche ($p < 0,05$) en vacas que pastoreaban *C. clandestinus*, suplementadas con ensilaje de *A. sativa* (15,07 kg/vaca/día), con respecto a las que solo pastaban la gramínea (12,3 kg/vaca/día).

En este estudio, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el contenido de grasa, proteína y sólidos totales (%) de la leche entre tratamientos. Los valores de grasa y proteína estuvieron en los rangos normales para la raza y tipo de manejo, y fueron similares a los obtenidos por Yuste *et al.* (2016) en trópico alto de Costa Rica, quienes trabajaron con vacas biotipo Jersey (350 kg PV), que pastorearon *C. clandestinus* y recibieron 1,5 kg de MS de ensilaje de *A. sativa*.

Los datos de FDN en ambos tratamientos se ajustaron a lo sugerido por la NRC (2001) y provienen, en su mayoría, del forraje (> 75 %). Banakar *et al.* (2018) informaron que, cuando se produce un consumo adecuado de fibra efectiva, mejora la rumia y la salivación, y se obtiene un pH adecuado a nivel ruminal, lo que favorece la síntesis de grasa láctea.

Hubo diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) para la variable MUN, con valores de 15,7 y 14,4 para

T1 y T2 respectivamente, aunque estos se consideran en el rango normal, entre 12-18 mg/dL. Posiblemente, en T2, por ser la dieta que aportó más cantidad de CNE, hubo mejor utilización del N, por lo tanto, se presentó menos MUN. De acuerdo con lo anterior, Drudik *et al.* (2007) indicaron que un nivel adecuado de MUN representa buen balance entre la proteína degradable y la adecuada tasa de fermentación de carbohidratos no estructurales (CNE) a nivel ruminal.

Los datos de este trabajo coinciden con lo informado por Meyer *et al.* (2006), quienes refirieron una relación positiva entre el nivel de MUN y el porcentaje de grasa en leche. Por otro lado, Montoya *et al.* (2017) concuerdan que los altos niveles de MUN (> 18mg/dL) se pueden relacionar con desbalances nutricionales en los sistemas lecheros. A similar conclusión arribaron Acosta *et al.* (2005) con valores bajos de MUN (< 9 mg/dL).

Indicadores del perfil metabólico. En la tabla 4 se muestran los resultados de las variables del perfil metabólico. No se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos para las variables colesterol y glucosa en sangre (mmol/L); pero sí para los niveles de BUN ($p < 0,05$). Estos fueron de 3,1 y 2,8 mmol/L para T1 y T2 respectivamente, siguiendo la misma tendencia que el MUN (mg/dL). Esto se debe a que ambos indicadores están estrechamente relacionados. De esta forma, la urea en sangre se difunde fácilmente hacia el sistema sanguíneo de la glándula mamaria, por lo que al medir urea en sangre o en leche, se obtendrán, generalmente, resultados similares (Kauffman *et al.*, 2001).

Estos valores de BUN se encuentran en los rangos normales para vacas lactantes, los que no deben sobrepasar los 6,94 mmol/L. En vacas lecheras, cifras por encima de las referidas se asocian con índices de baja fertilidad, hasta de 20 % (Rhoads *et al.*, 2004). Al respecto, Campos *et al.* (2007), en el suroccidente colombiano, informaron en vacas en pastoreo Holstein y Jersey, valores de BUN de 3,7 y 3,3 mmol/L

Tabla 4. Efecto de dos niveles de inclusión de ensilaje de *A. sativa*, variedad Altoandina, en indicadores del perfil metabólico de vacas lactantes.

Indicador	T1	EE ±	T2	EE ±	Valor - P
BUN, mmol/L	3,1	0,26	2,8	0,26	0,0001
Colesterol, mmol/L	2,6	0,34	2,8	0,33	0,2445
Glucosa, mmol/L	4,1	0,44	4,27	0,45	0,2642

T1-20 % inclusión ensilaje *A. sativa*; T2-35 % inclusión ensilaje *A. sativa*;
BUN: nitrógeno ureico en sangre; mmol/L

respectivamente, los que fueron ligeramente superiores a los de este estudio.

En cuanto a los resultados del colesterol, en esta investigación, en ambos tratamientos, estuvieron por encima del rango normal, que sugiere valores entre 1,5 y 2,28 mmol/L (Kolver, 2003). Esto se pudo deber a los días en lactancia de los animales, que no superaban los 110 días. Como refieren Seifi *et al.* (2007), los valores de colesterol disminuyen, sobre todo, después del segundo tercio de lactancia. Sin embargo, los de este trabajo fueron similares a los informados por Gómez-Osorio *et al.* (2017) para vacas cruzadas (*Bos indicus* x *Bos taurus*), suplementadas con propilenglicol. Estos autores obtuvieron cifras de 2,9 mmol/L, que fueron superiores a las referidas por Campos *et al.* (2007) para vacas Jersey (2,3 mmol/L), tipos raciales afines con los evaluados en esta investigación.

En este trabajo, las concentraciones de glucosa de las vacas para ambos tratamientos estuvieron en el rango normal, entre 2,5 y 4,6 mmol/L. Según Macrae *et al.* (2006), los valores de glucosa en vacas lactantes deberían estar por encima de 3 mmol/L. Cifras inferiores indicarían que los animales podrían comenzar a realizar gluconeogénesis para balancear el requerimiento de glucosa, al utilizar como precursor el propionato en el hígado.

Conclusiones

La introducción en la dieta de ensilaje de *A. sativa*, variedad Altoandina (20 y 35 %), no afectó el CMST. Además, la inclusión de 35 % de ensilaje tuvo efecto positivo en la producción de leche, que aumentó en 4 %; mientras que, la calidad de la leche y la mayoría de los indicadores del perfil metabólico se mantuvieron similares con ambos valores de inclusión de ensilaje.

Agradecimientos

Se agradece al Convenio Especial de Cooperación de Ciencia Tecnología e Innovación (No. 882-2015) entre el Departamento de Nariño y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia, por financiar esta investigación con recursos del Sistema General de Regalías SGR, asignados al Departamento de Nariño, y propios de AGROSAVIA.

Contribución de los autores

- Edwin Castro-Rincón. Realizó la conceptualización, elaboró la metodología y realizó la supervisión de la investigación.
- Juan Leonardo Cardona-Iglesias. Realizó la investigación, la redacción y la revisión del manuscrito.

- Filadelfo Hernandez- Oviedo. Realizó la investigación, el procesamiento de los datos y la redacción del borrador original.
- Martín Valenzuela-Chiran. Realizó la investigación, el procesamiento de los datos y la redacción del borrador original.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses entre ellos.

Referencias bibliográficas

- Acosta, Y. M.; Delucchi, M. Inés; Olivera, Magela & Dieste, Cecilia. *Urea en leche: factores que la afectan*. Argentina: Sitio argentino de producción animal. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/leche_subproductos/56-urea_en_leche.pdf, 2005.
- Álvarez, P. & Bernal, L. Evaluación de la suplementación estratégica para bovinos de leche en la sabana de Bogotá. *Revista Colombiana de Zootecnia*. 4 (7):43-50, 2018.
- AOAC. *AOAC Official Method. 972.16 Fat, lactose, protein, and solids in milk*. 20th. ed. Rockville, USA: AOAC International, 2015.
- Ariza-Nieto, Claudia; Mayorga, O. L.; Mojica, B.; Parra, D. & Afanador-Tellez, G. Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia. *J. Near Infrared Spectrosc.* 26 (1):44-52, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1177/0967033517746900>.
- Banakar, P. S.; Anand Kumar, N.; Shashank, C. G. & Lakhani, Neeti. Physically effective fibre in ruminant nutrition: A review. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 7 (4):303-308, 2018.
- Cadena-Guerrero, Máryory M.; García-Dávila, M. A.; Meneses-Buitrago, D. H.; Morales-Montero, Sonia P. & Castro-Rincón, E. Adaptation of ten cultivars of *Lolium* sp. in the high tropic of Nariño, Colombia. *Agron. Mesoam.* 30 (1):165-178, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.15517/am.v30i1.34094>.
- Calpa, A. S. & Melo, S. L. *Valoración nutritiva del ensilaje Obonuco Triticale 98 (Triticum spp) y avena (Avena sativa) línea 15/85 y cayuse en la alimentación de vacas Holstein mestizo en producción en el altiplano de Pasto-Colombia*. Trabajo de grado. Colombia: Biblioteca Universidad de Nariño, 2003.
- Campos, R.; Cubillos, Carolina & Rodas, Ángela G. Indicadores metabólicos en razas especializadas en condiciones tropicales en Colombia. *Acta Agron., (Colombia)*. 56 (2):85-92, 2007.
- Campuzano-Duque, L. F.; Castro-Rincón, E.; Castillo-Sierra, J.; Torres-Cuesta, D.; Cuesta-Muñoz, P. A.; Portillo-López Paola A. *et al.* *Avena*

- forrajera alto Andina nueva variedad de avena forrajera para el trópico alto colombiano*. AGRO-SAVIA, 2018.
- Cardona-Iglesias, J. L.; Mahecha-Ledesma, Liliana & Angulo-Arizala, J. Consumption and productivity in Holstein cows grassing silvopastoral system vs monoculture of kikuyo and supplemented with unsaturated fats. *Revista Científica, FVC-LUZ*. 29 (1):20-33, 2019.
- Carulla, J. E. & Ortega, E. Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *XXIV Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal XL Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal*. Puerto Varas, Chile: Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 24 (2):83-87, 2016.
- Castro, E.; Cardona, J. L.; Hernández, F.; Valenzuela, M. & Avellaneda, Y. Evaluación de tres cultivares de *Lolium perenne* L. con vacas lecheras, en el trópico alto de Nariño-Colombia. *Pastos y Forrajes*. 42 (2):161-170, 2019.
- Drudik, D.; Keown, J. E. & Kononoff, P. *Milk urea nitrogen testing*. Lincoln, USA: Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska. <http://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g1661.pdf>, 2007.
- FEDNA. *Tablas nutritivas de forrajes y subproductos fibrosos húmedos*. España: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. <http://www.fundacionfedna.org/tablas-fedna-composicion-alimentos-valor-nutritivo>, 2016.
- Gallego-Castro, L. A.; Mahecha-Ledesma, Liliana & Angulo-Arizala, J. Producción, calidad de leche y beneficio: costo de suplementar vacas Holstein con *Tithonia diversifolia*. *Agron. Mesoam*. 28 (2):357-370, 2017. DOI: <http://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25945>.
- Gómez-Osorio, L. M.; Posada-Ochoa, Sandra L.; Olivera-Ángel, Martha; Rosero-Noguera, R. & Aguirre-Martínez, P. Análisis de rentabilidad de la producción de leche de acuerdo con la variación de la fuente de carbohidrato utilizada en el suplemento de vacas Holstein. *Rev. Vet. Med.* 34 (supl.):9-22, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.19052/mv.4251>.
- Harper, M. T.; Oh, J.; Giallongo, F.; Lopes, J. C.; Roth, G. W. & Hristov, A. N. Using brown midrib 6 dwarf forage sorghum silage and fall-grown oat silage in lactating dairy cow rations. *J. Dairy Sci.* 100 (7):5250-5265, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12552>.
- Haydock, K. P. & Shaw, N. H. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 15:663-670, 1975.
- Holdridge, L. R. *Ecología basada en zonas de vida*. 5ta reimpr. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2000.
- Jia, G.; Shevliakova, Elena.; Artaxo, P.; Noblet-Ducoudré, N. De; Houghton, R.; House, J. *et al.* Land-climate interactions. In: P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo-Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, *et al.*, eds. *Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/11/05_Chapter-2.pdf, 2019.
- Kauffman, A. J. & St-Pierre, N. R. The relationship of milk urea nitrogen to urine nitrogen excretion in Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 84 (10):2284-2294, 2001. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74675-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74675-9).
- Kolver, E. S. Nutritional limitations to increased production on pasture-based systems. *Proc. Nutr. Soc.* 62:291-300, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1079/PNS2002200>.
- León, J. M.; Mojica, J. E.; Castro, E.; Cárdenas, E. A.; Pabón, Martha L. & Carulla, J. E. 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. Pec.* 21:559-570, 2008.
- López, A. D.; Saavedra, M. G. F.; Arreaza, L. C.; Muñoz, M. J. G. & Rodríguez, M. C. E. Systems of feeding evaluation, like strategy to confront the seasonality in dairy cattle. *Ciencia y Agricultura*. 9 (2):39-46, 2012.
- Lui, K.-J. *Crossover designs: testing, estimation and sample size*. Hoboken, USA: John Wiley and Sons, 2016.
- Macrae, A. I.; Whitaker, D. A.; Burrough, E.; Dowell, A. & Kelly, J. M. Use of metabolic profiles for the assessment of dietary adequacy in UK dairy herds. *Vet. Rec.* 159 (20):655-661, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1136/vr.159.20.655>.
- Makkar, H. P. S. Smart livestock feeding strategies for harvesting triple gain – the desired outcomes in planet, people and profit dimensions: a developing country perspective. *Anim. Prod. Sci.* 56:519-534, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/AN15557>.
- Meyer, Paula M.; Machado, P. F.; Coldebella, A.; Casoli, L. D.; Coelho, Karyne O. & Rodrigues, P. H. M. *Fatores não-nutricionais e concentração de nitrogênio uréico no leite de vacas da raça Holandesa*. *R. Bras. Zootec.* 35 (3, supl.):1114-1121, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000400024>.
- Mojica, J. E.; Castro, E.; León, J. M.; Cárdenas, E. A.; Pabón, Martha L. & Carulla, J. E. Efecto de la

- oferta de pasto kikuyo y ensilaje de avena sobre la producción y calidad composicional de la leche bovina. *Corpoica. Cien. Tecnol. Agrop.* 10 (1):81-90, 2009.
- Molina-Botero, Isabel C.; Cantet, J. M.; Montoya, S.; Correa-Londoño, G. A. & Barahona-Rosales, R. Producción de metano *in vitro* de dos gramíneas tropicales solas y mezcladas con *Leucaena leucocephala* o *Gliricidia sepium*. *Rev. CES Med. Zootec.* 8 (2):15-31, 2013.
- Montoya, J. J.; Múnera, O. D. & Cerón, M. F. Factores relacionados con nitrógeno ureico en leche de vacas lecheras. *LRRD.* 29 (197). <http://www.lrrd.org/lrrd29/10/cero29197.html>, 2017.
- NRC. *The nutrient requirement of dairy cattle.* 7th. rev. Washington, D.C.: National Academy Press, 2001.
- Pedraza-Martínez, W. F. *Alternativas tecnológicas para el fortalecimiento de la soberanía y seguridad alimentaria de pequeños productores de leche en la provincia de Ubaté del departamento de Cundinamarca.* Tesis de maestría presentada como requisito para optar al título de: Magister en Seguridad Alimentaria y Nutricional. Bogotá: Facultad de Medicina, Departamento de Nutrición Humana, Universidad Nacional de Colombia, 2017.
- Rhoads, M. L.; Gilbert, R. O.; Lucy, M. C. & Butler, W. R. Effects of urea Infusion on the uterine luminal environment of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87 (9):2896-2901, 2004. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73420-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73420-7).
- Seifi, H. A.; Gorji-Dooz, M.; Mohri, M.; Dalir-Naghad, B. & Farzaneh, N. Variations of energy-related biochemical metabolites during transition period in dairy cows. *Comp. Clin. Pathol.* 16 (2):253-258, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00580-007-0682-2>.
- Vargas-Martínez, J.; Sierra-Alarcón, Andrea; Benavidez-Cruz, J.; Mayorga-Mogollón, Olga; Avellaneda-Avellaneda, Yesid & Ariza-Nieto, Claudia. Establecimiento y producción de raigrás y tréboles en dos regiones del trópico alto colombiano. *Agron. Mesoam.* 29 (1):171-191, 2018. DOI: <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.28077>.
- Villalobos, L. & Sánchez, J. M. Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. I. Producción de biomasa y fenología. *Agron. Costarricense.* 34 (1):31-42, 2010.
- Yuste, S.; Sánchez, W.; Vega, A. de & Guada, J. A. *Effects of substitution of kikuyu forage by oat silage on milk production and quality in dairy cows.* España: Unión de Entidades Españolas de Ciencia Animal. <http://ueeca.agripa.org/attachment/55c0b531-ff80-4c83-89e6-793001e264af>, 2016.