

Uso de ensilaje de café en la suplementación de vacas doble propósito en Santander, Colombia

Use of coffee silage in the supplementation of dual-purpose cows in Santander, Colombia

Juan Leonardo Cardona-Iglesias^{1*} , José Fernando Peñaloza-García² , Juan Manuel Niño-Arcila² , Hugo Velandia-León² ,
Juan Rueda-Albarracín² , Viviana Lucia Cuarán¹ , Yesid Avellaneda-Avellaneda¹ 

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Colombia.

²Asociación Comunera de Ganaderos-ASOCOGAN. Santander, Colombia.

*Autor para correspondencia: jcardona@agrosavia.co

RESUMEN

Ante la disminución de la oferta forrajera ocasionada por los eventos de variabilidad climática, los subproductos de cosecha del café (*Coffea arabica*), pueden ser una alternativa para la suplementación bovina, en zonas productoras de café. El objetivo de este trabajo fue evaluar la inclusión de ensilaje de cáscara (pulpa) y mucilago de café (ECMC), sobre variables productivas de vacas doble propósito en pastoreo, como estrategia de suplementación estratégica, en la provincia Comunera del departamento de Santander, Colombia. Los tratamientos fueron: pastoreo + ECMC (T1) y pastoreo + alimento balanceado (T2); el ECMC se ofreció a razón de 2 kg-animal⁻¹·día⁻¹ y el balanceado a una dosis de 1000 g-animal⁻¹·día⁻¹, distribuidos en dos ordeños. Los animales pastoreaban praderas de *Brachiaria decumbens* de 25 días de rebrote. El ECMC tenía un tiempo de almacenamiento de 10 meses al momento de ofrecerlo a los animales. Se utilizaron 12 vacas multiparas doble propósito que registraban 105 días de lactancia. El efecto del ECMC se evaluó durante dos secuencias de medición, cada una de 12 días (siete de adaptación y cinco de medición). La producción de leche (L·vaca⁻¹·día⁻¹), proteína (%P), grasa (%), sólidos totales (%ST), lactosa (%Lac) y nitrógeno ureico en leche (NUL mg·dL⁻¹) se analizaron mediante un diseño de sobre cambio. No hubo efecto de la suplementación con ECMC ($P>0,05$) sobre la producción de leche (13,5 y 14,2 L·vaca⁻¹·día⁻¹, para las vacas de T1 y T2, respectivamente), ni sobre las variables de composición láctea. En otros estudios también se ha evidenciado el mantenimiento en la producción de leche al utilizar ECMC. Los ECMC pueden ser una opción promisoriosa para la suplementación bovina, sin embargo, en Colombia es necesario seguir evaluando aspectos de calidad composicional, niveles óptimos de uso y respuesta animal, de esta clase de residuos de cosecha.

Palabras clave: Contaminación ambiental; economía circular; subproductos de café; producción de leche

ABSTRACT

In view of the decrease in forage supply caused by climatic variability events, coffee (*Coffea arabica*) harvest by-products can be an alternative for cattle supplementation in coffee producing areas. The objective of this study was to evaluate the inclusion of coffee husk silage (pulp) and coffee mucilage (ECMC) on productive variables of dual purpose cows in grazing as a strategic supplementation strategy in the Comunera province of the department of Santander, Colombia. The treatments were: grazing + ECMC (T1) and grazing + balanced feed (T2); the ECMC was offered at a rate of 2 kg-animal⁻¹·day⁻¹ and the balanced feed at a dose of 1000 g-animal⁻¹·day⁻¹, distributed in two milkings. The animals grazed *Brachiaria decumbens* pastures of 25 days of regrowth. The ECMC had a storage time of 10 months at the time it was offered to the animals. Twelve multiparous dual-purpose cows with 105 days of lactation were used. The effect of ECMC was evaluated during two measurement sequences, each of 12 days (seven adaptation and five measurement days). Milk production (L·cow⁻¹·day⁻¹), protein (%P), fat (%), total solids (%ST), lactose (%Lac) and milk urea nitrogen (NUL mg·dL⁻¹) were analyzed using an over-change design. There was no effect of ECMC supplementation ($P>0.05$) on milk production (13.5 and 14.2 L·cow⁻¹·day⁻¹, for T1 and T2 cows, respectively), nor on milk composition variables. Other studies have also demonstrated the maintenance of milk production when using ECMC. ECMC can be a promising option for bovine supplementation; however, in Colombia it is necessary to continue evaluating aspects of compositional quality, optimal levels of use and animal response of this type of crop residues.

Key words: Environmental pollution; circular economy; coffee by-products; milk production

INTRODUCCIÓN

Colombia es uno de los principales productores de café (*Coffea*) en el mundo, se considera el de mayor producción de arábigo (*Coffea arabica*) suave. En 2022 se registró la producción de 11,1 millones de sacos de café de 60 kg [1]. El país dispone de un área para este cultivo cercana a los 3,6 millones de hectáreas (ha), cultivándose unas 970 mil ha; toda la industria del café desempeña un papel fundamental en la economía nacional y beneficia sobre todo a miles de pequeñas y medianas familias productoras, ubicadas mayoritariamente en la región andina del país [2, 3].

Pese a que la importancia socio económica de este cultivo en el país es innegable, se debe tener en cuenta que aún existe la necesidad de cerrar brechas, en torno a estrategias para mitigar el impacto ambiental de este cultivo sobre el medio ambiente [4]. En Colombia, las diferentes etapas del cultivo generan cerca de 784.000 t de biomasa residual, compuesta mayoritariamente de cáscara (pulpa), cascarilla y mucilago [5]. Los subproductos resultantes de la cosecha del café presentan desafíos en términos de manejo y gestión adecuada, ya que la alta generación de estos constituye una seria problemática ambiental. Dichos residuos se descomponen sobre el suelo causando problemas fitosanitarios, contaminación cruzada y afectación de las fuentes hídricas y el aire [4, 5].

En Colombia el beneficio húmedo del café, que es el primer proceso postcosecha antes de obtener el grano en pergamino, como generalmente se comercializa el producto, genera sobre todo dos residuos principales; la cáscara o pulpa y el mucilago, el promedio de cáscara que se genera es de 2 t·ha⁻¹·año⁻¹, lo que equivale a 163.000 t de cáscara que se genera en fresco, por cada millón de sacos de café en pergamino que se exporta [6]. La cáscara del café está conformada por el epicarpio y cierta porción del mesocarpio, pesa alrededor del 44 % del fruto en fresco y contiene alrededor del 86 % de humedad; en conjunto con el mucilago equivalen al 56 % del grano. Para la cáscara se ha reportado un contenido de proteína cruda (PC) entre el 7 % y 15 %, carbohidratos solubles del 21 % - 32 % y grasa del 2 % al 7 %, además de pectinas, cafeína y polifenoles en moderadas proporciones, por lo que este subproducto se cataloga con potencial nutricional para ser utilizado en alimentación animal [5, 7, 8].

Debido a su aceptabilidad en los animales y potencial valor nutricional, el ECMC ha sido considerado como una alternativa para la reutilización de dicho subproducto. Los niveles de inclusión en la dieta oscilan entre el 20 % y el 40 %, como sustituto del suplemento balanceado comercial (concentrado), o del 10 % al 20 % de la materia seca (MS) consumida, sin afectar parámetros productivos en bovinos [9, 10]. En el actual contexto de cambio climático escasea la cantidad y calidad de los forrajes en el trópico; sumado a la incertidumbre en los precios internacionales de los insumos, esta situación afecta directamente la productividad animal y sostenibilidad del negocio ganadero, por lo que es necesario generar estrategias para la valorización de subproductos, generando menor huella ambiental en los territorios [11, 12].

El ensilaje de subproductos de cosecha como el ECMC, podría convertirse en una alternativa alimentaria para la producción ganadera y así intensificar sosteniblemente la producción agropecuaria campesina y comunitaria, con el fin de generar nuevos productos en las economías emergentes bajo un contexto de cambio climático y pospandemia [13, 14]. En ese orden de ideas el objetivo de este trabajo fue evaluar la inclusión de ECMC, sobre variables productivas de vacas doble propósito en pastoreo, en condiciones de trópico medio, como estrategia de suplementación alternativa, en la provincia Comunera del departamento de Santander-Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El experimento se realizó en la finca El Triunfo, municipio de Palmas del Socorro, departamento de Santander-Colombia, a una latitud N 6°39'08.33" y longitud W 73°26'0.56", altitud de 1,561 msnm, temperatura media de 27°C, humedad relativa del 60 %, la región presenta una precipitación media anual de 3147 mm. La zona de vida corresponde a bosque húmedo premontano (bh-PM) [15]. La investigación se realizó durante los meses de febrero a mayo de 2023, cuando se registró una precipitación promedio de 60 mm, atribuible en la zona como periodo de bajas precipitaciones.

Animales experimentales

Para este estudio se seleccionaron 12 vacas lactantes con genética mayoritariamente Gyrolando (*Bos taurus-indicus*), iniciando el segundo tercio de lactancia, con peso corporal promedio de 450 kg y con condición corporal media de 3,3 (escala 1-5, donde 1 refiere a flaca y 5 a obesa) [16]. Las características productivas antes de iniciar el ensayo se presentan en la TABLA I; con un manejo que incluía la oferta de 1,0 kg de suplemento comercial por animal·día⁻¹. El sistema productivo para la zona es considerado de doble propósito (DP).

TABLA I
Características de las vacas al iniciar el experimento

Parámetro	Media ± DE
Peso vivo (kg)	450 ± 30,50
Condición corporal (cc)	3,3 ± 0,30
Días de lactancia (DEL)	109 ± 20
Producción leche (L·día ⁻¹)	11,6 ± 3,50
Contenido de grasa (%)	4,0 ± 0,60
Contenido de proteína (%)	2,9 ± 0,32
Sólidos totales (%)	12,5 ± 1,30

Sistema de pastoreo

Durante la investigación los animales pastorearon en praderas mayoritariamente de pasto *Brachiaria decumbens*, bajo un sistema rotacional con un tiempo de ocupación en cada potrero de máximo dos días (d) y un periodo de descanso de 25 d. Durante la época de estudio, por ser un periodo de bajas precipitaciones, no se realizó fertilización en las praderas.

Dietas experimentales

Los tratamientos fueron: pastoreo + ECMC, a razón de 2 kg en fresco vaca⁻¹·día⁻¹ (T1), y pastoreo + alimento balanceado comercial (concentrado), que se suministró a razón de 1 kg·vaca⁻¹·día⁻¹, de acuerdo con el manejo habitual de finca (T2). El material ensilado que se ofreció a los animales tenía 10 meses promedio de almacenamiento y fue elaborado artesanalmente en canecas plásticas de 200 L; se tomó la cáscara y el mucilago de café variedad arábica, recién extraídos del beneficio en húmedo del grano de café, posteriormente se almacenó el material en fresco en las canecas las cuales se sellaron herméticamente.

La suplementación con ECMC se realizó dos veces al día, en el ordeño de la mañana (6:00 horas) y de la tarde (14:00 h), disponiéndolo en los cubículos individuales del ordeño mecánico (P2100 DeLaval-España), lo que permitió registrar la cantidad de ensilaje fresco ofrecido y rechazado por cada vaca. Luego de cada ordeño, y de acuerdo con el manejo del hato, los animales se llevaban de nuevo a pastorear. Durante cada ordeño en el comedero se suministró a cada animal 40 g de sal mineralizada (80 g-vaca⁻¹·día⁻¹) con un 6 % de fósforo.

Diseño experimental

La estructura del estudio correspondió a un diseño de sobre cambio [17], en donde dos grupos de animales recibieron cada uno un tratamiento durante un primer periodo experimental y luego, en un segundo periodo, cambiaron estos tratamientos, para que estos fueran evaluados en los dos grupos y así tener mayor número de mediciones. En ese sentido, el efecto de ración suministrada se evaluó durante dos periodos, cada uno de 12 d, correspondiendo siete a adaptación y cinco a medición. Para el experimento se usaron 12 vacas doble propósito lactantes, aleatorizadas en dos grupos, a razón de seis animales por tratamientos y periodo. Como se mencionó previamente, en el segundo periodo, el grupo de animales cambió de tratamiento. Es decir, los seis que estuvieron en T1 pasaron a T2 y viceversa.

Variables respuesta

Consumo de materia seca (CMS)

Durante la investigación se estimó el consumo de materia seca total (CMST). El pasto promedio consumido por cada animal se estimó mediante el método agronómico (entrada y salida) donde se asumió que la diferencia entre el aforo de entrada y el de salida fue la cantidad de forraje consumido por las vacas, se utilizó la metodología del doble muestreo [18]. También se midió durante toda la investigación la cantidad de ensilaje y concentrado consumido por cada vaca (oferta – rechazo). Por lo tanto, el CMST: se calculó como la suma del consumo de pasto más ensilaje o concentrado, expresados en unidades de MS.

Producción y calidad composicional de leche

Se registró la producción de leche (L-vaca⁻¹·día⁻¹), durante los periodos de medición, en los ordeños am (06:00 h) y pm (14:00 h). El ordeño se realizó en sala de ordeño mecánico. En los días de medición, y durante los ordeños, se tomó una muestra de leche representativa de cada vaca, la cual posteriormente fue homogeneizada por día y enviada al laboratorio para los respectivos análisis. Dichas muestras fueron analizadas en el laboratorio de Microbiología pecuaria y salud animal del centro de investigación (C.I) Tibaitatá, perteneciente a AGROSAVIA (Mosquera, Cundinamarca, Colombia). A dichas muestras se les determinó el contenido de grasa (g·100 g⁻¹), proteína (g·100 g⁻¹); sólidos totales (g·100 g⁻¹); lactosa (g·100 g⁻¹) y MUN (Nitrógeno Ureico Leche) (mg·dL⁻¹) o por sus siglas en inglés: Milk Urea Nitrogen mediante el método de espectroscopia infrarroja (MIR) usando el método AOAC 992.16 ed. 22nd (2023), equipo: FOSS Milkoscan FT plus – Fabricado por FOSS Analytical A/S – Dinamarca.

Composición química de la dieta

Dentro de los periodos de medición (5 d), los días 1 y 5, se tomaron submuestras del ensilaje directamente, así como también muestras de la gramínea en la pradera, teniendo en cuenta la metodología de Ariza-Nieto et al. [19]. Las muestras se enviaron a los laboratorios de

bromatología del C.I Tibaitatá y del C.I Turipana en Montería-Córdoba, Colombia, para la determinación de la composición química de los alimentos: proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácida (FDA), hemicelulosa, lignina, extracto etéreo (EE), energía bruta (EB), cenizas y materia seca (MS), se utilizó la técnica de espectroscopía de reflectancia en infrarrojo cercano [20], con un equipo NIRS DS 2500-FOSS Analytical A/S, Dinamarca; la energía neta de lactancia (ENL) tanto de la pastura como del ensilaje, fue estimada por el equipo en mención. Las muestras de ensilaje se analizaron mediante técnicas analíticas de la AOAC (2005). Para calcio (Complexométrica con EDTA), fósforo (Espectrometría UV-VIS, NTC 4981), cenizas totales (Incineración directa AOAC 942,05), fibra detergente ácida (ISO 13906:2009), fibra detergente neutra (ISO 16472:2007), humedad (ISO 6496:2009 – NTC 4888:2000), extracto etéreo (AOAC 2003.06–2006 ed. 21st 2019), proteína bruta (AOAC 960.52–2008 ed. 21st 2019), fibra bruta (ISO 6865:2000 – NTC 5122:2002), lignina As (ISO 13906:2009), y almidón (AOAC 996.11–2005 ed. 21th 2019).

Análisis estadístico

La información se analizó como un diseño de sobrecambio e incluyó el efecto de los periodos de evaluación, usando la opción MIXED del software estadístico SAS (2016) [21]. La ecuación que define ese diseño es la siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_k + \text{SUB}(\beta)_{jk} + t_l + E_{ijkl}$$

Dónde: Y_{ijkl} = Variable respuesta; μ = Media general; τ_i = Efecto fijo del tratamiento i -ésimo ($i = 1, 2$); β_k = Efecto del k -ésimo orden de aplicación de los tratamientos ($k = 1, 2$); $\text{SUB}(\beta)_{jk}$ = Efecto aleatorio de j -ésimo dentro del orden k ; t_l = Efecto del periodo l ($l = 1, 2$); E_{ijkl} = Error residual

Se consideró un nivel de significancia para efectos fijos de 0.05. Cuando se rechazó la hipótesis de igualdad entre medias, se empleó el test de Tukey para identificar la diferencia entre tratamientos. En todos los análisis se evaluó la normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (test de Bartlett) [17].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química de la pastura y el ensilaje

La composición nutricional del ECMC, la gramínea (*Brachiaria decumbens*), y del alimento balanceado comercial (concentrado) utilizados en esta investigación se presentan en la TABLA II.

La MS del ECMC fue del 35 %, mayor al 19,8 y 16 % reportados por Flórez et al. [10], y Flórez [2], respectivamente. En términos generales la humedad correspondió a lo esperado para un ensilaje vegetal; en este caso la cáscara es el componente que aporta mayor materia seca mientras que el mucílago, de consistencia líquida, proporciona a los ensilajes mayor contenido de humedad [13]. Una estrategia que se viene desarrollando es el deshidratado al sol de la cáscara del café, con lo cual se podrían alcanzar niveles de hasta 87 % de MS, y con ello aumento en la concentración de nutrientes [22]. El valor de proteína cruda (PC) encontrado en el ensilaje fue del 15,3 %, valor mayor a lo reportado por Encalada et al. [23], de 12,56 %, pero similar a los valores de PC de 14,38 % que fue reportado por Rodríguez-Valencia [24], y el 16,5 % reportado por Flórez et al. [10] para este mismo material. En este estudio el valor de PC del ensilaje fue superior al encontrado para la pastura base, *Brachiaria decumbens* (10,3 %); así mismo la

TABLA II
Composición nutricional del ECMC, la gramínea *Brachiaria decumbens* y el alimento balanceado (concentrado) suministrado a las vacas

Fracción	Unidad	Ensilaje	Gramínea	Concentrado
Materia seca (MS)	% Alimento	35,0	21,4	87,3
Proteína cruda (PC)	% MS	15,3	10,3	20,1
Fibra detergente neutro (FDN)	% MS	48,0	66,0	-
Fibra detergente ácido (FDA)	% MS	36,0	33,4	-
Hemicelulosa	% MS	12,0	32,6	-
Lignina	% MS	12,4	8,5	-
Extracto etéreo (EE)	% MS	2,2	1,8	3,0
Energía neta de lactancia (ENL)	Mcal·kg ⁻¹ MS	1,2	1,1	1,9
Cenizas	g·kg ⁻¹ MS	10,0	10,6	10,1
Calcio (C)	g·kg ⁻¹ MS	0,70	0,24	-
Fósforo (P)	g·kg ⁻¹ MS	0,20	0,28	-

concentración de componentes nitrogenados fue superior a lo reportado para otros ensilajes, como ensilaje de naranja (8,4 % PC), de *Avena sativa* (9 %), y de la mezcla de naranja y avena (7,2 % PC) [11, 25, 26]. Por su parte Navarro y Roa [27], indicaron que forrajes, materias primas y cualquier otro subproducto agroindustrial destinado para la alimentación animal se considera de buena calidad cuando su contenido de proteína supera el 11 %, lo que significa que el ensilaje de cáscara de café podría ser considerado como una alternativa nutricional promisoría, aportante de proteína en la dieta para bovinos.

En el presente estudio el contenido de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y Lignina del ensilaje fue de 48, 36 y 12,4 %, valores en el rango de lo encontrado por Flórez *et al.* [11], de 49,85, 37,97 y 11,88 % para FDN, FDA y Lignina, respectivamente, en ECMC con 45 d de fermentación. El contenido fibroso de la cáscara podría ser un factor limitante en el consumo del ensilaje, siendo recomendable utilizar en vacas lecheras en un rango del 10 al 20 %, y en bovinos para ceba entre el 20 al 30 % del consumo total de MS [8]. Niveles altos de ECMC en la dieta podrían incrementar los niveles de FDN en la ingesta, en detrimento de los carbohidratos no fibrosos (CNF), por lo que puede ser uno de los factores para tener en cuenta en su utilización [28]. Sin embargo, el nivel de fibra del ensilaje de cáscara de café es menor al de otros residuos de cosecha con potencial en la alimentación de rumiantes en el trópico, como la cáscara y cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.), las cuales tienen una FDN de 64,9 y 61,4 %, o el cogollo y bagazo de caña (*Saccharum officinarum*) con 68,2 y 71,8 % de FDN, respectivamente [29, 30].

El ECMC presentó una energía neta de lactancia (ENL) de 1,2 Mcal·kg⁻¹ MS, superior a la ENL que ha sido reportada para la cáscara en fresco, de 1,05 Mcal·kg⁻¹ MS [30], y superior a lo reportado por Fernández *et al.* [31], para cáscara de café deshidratada (1,07 Mcal·kg⁻¹ MS). Además, el valor de ENL de ECMC fue superior a lo reportado en pasturas utilizadas en sistemas de alimentación bovina del trópico, como el pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vandyerst) de 21 d de 1,04 Mcal·kg⁻¹ MS [32], y en el rango de las ENL reportadas para residuos de papa

-*Solanum tuberosum*- (1,25 Mcal·kg⁻¹ MS), y en el pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) de 1,2 y 1,3 Mcal·kg⁻¹ MS [12, 28, 33]. La ENL contenida en las dietas para vacas lecheras es importante para mantener la productividad láctea, por lo que es pertinente en pasturas de regular calidad suplementar a los animales con subproductos con potencial para elevar los niveles de energía [34].

El consumo de materia seca es un parámetro de suma importancia en la producción ganadera, estimar este valor es importante para establecer planes de manejo nutricional y estrategias de suplementación [35]. Cuando en la dieta se incorporan especies forrajeras no tradicionales o subproductos para ensilajes, conocer la aceptación y nivel de consumo es importante para tomar decisiones sobre el uso de estos recursos alimenticios alternativos [36]. En la TABLA III se evidencia que no hubo diferencias estadísticas en el consumo ($P > 0,05$) para las vacas en el experimento, el cual fue de 12,1 y 12,3 kg MS total·día⁻¹, para los animales con inclusión y sin inclusión del ensilaje respectivamente, estos consumos de MST equivalen al 2,68 y 2,71 % del CMST respecto al peso vivo de los animales. En este ensayo se suministró a los animales 0,7 kg de MS del ensilaje, equivalente a 2 kg frescos de ensilaje. Por su parte Florez *et al.* [10], encontraron un aumento en el consumo de MS al incorporar en la dieta 0,28, 0,56 y 0,84 kg de MS de ECMC en vacas cruzadas. Estos consumos se pueden interpretar como bajos, si se comparan con ensilajes de cereales forrajeros como la avena (*A. Sativa*), de los cuales se reportan en vacas lactantes consumos de entre 2,7 y 6,7 kg MS·día⁻¹; aunque se debe tener en cuenta que el nivel de consumo de los ensilajes, además de la calidad nutricional de la materia prima utilizada, es regulado por el tamaño, biotipo, y estado fisiológico de los animales [37].

El contenido de fibra de la ración está relacionado con el consumo de MST, en este ensayo la concentración de FDN en la dieta fue del 64,9 y 61,6 % para el grupo de animales suplementados y no suplementados con ensilaje, respectivamente. Según Banakar *et al.* [38], los anteriores valores de FDN son considerados altos y podrían contribuir a la disminución de la tasa de pasaje ruminal. En este sentido Florez y Rosales [8], para evitar la disminución del CMST, sugieren incorporar no más del 30 % de ensilaje de cáscara de café (base seca) en la ración de bovinos para carne y leche. Según Oropeza [39], el uso de cascarilla y cáscara de café como fuente de fibra no forrajera en la alimentación de vacas lactantes puede sustituir parcialmente parte del forraje, siendo una alternativa para cubrir las necesidades de fibra efectiva, sobre todo cuando escasea la base forrajera.

TABLA III
Efecto sobre el consumo de materia seca en vacas doble propósito, al incluir ensilaje de cáscara y mucilago de café en la dieta (Promedio ± error estándar)

Indicador	T1	T2	Valor-P
CMS ensilaje, kg·día ⁻¹	0,7 ± 0,13	-	-
CMS pasto, kg·día ⁻¹	11,4 ± 0,17 ^a	11,4 ± 0,17 ^a	0,9873
CMS concentrado, kg·día ⁻¹	-	0,87 ± 0,16	-
CMST, kg·día ⁻¹	12,1 ± 0,13 ^a	12,3 ± 0,16 ^a	0,7698

CMS: consumo materia seca; CMST: consumo materia seca total; T1 - pastoreo (*Brachiaria decumbens*) + ensilaje de cáscara y mucilago de café, a razón de 0,5 kg MS·vaca⁻¹·día⁻¹, y T2 - pastoreo (*Brachiaria decumbens*) + 0,5 kg MS concentrado·vaca⁻¹·día⁻¹; EE: error estándar; ^{a,b} valores con superíndice no comunes en la horizontal difieren $P < 0,05$ (Tukey)

La fibra de los subproductos del café es considerada como de mediana degradación, por lo que incluso puede utilizarse como componente de la dieta en especies monogástricas como los pollos y cerdos de engorde [40, 41]. El nivel de ingestión de los subproductos del café, así como su relación con parámetros productivos, está relacionada también con la concentración de compuestos polifenólicos como los taninos, alcaloides como la cafeína y la alta concentración de lignina [42].

En el presente estudio no se analizó la concentración de cafeína del ensilaje, pero según reportan Fernández *et al.* [31], el contenido medio de cafeína en la cáscara es alrededor de 0,84 % de la MS, siendo perjudiciales para bovinos consumos por encima de los 8 mg de cafeína por kg de PV. Los niveles de subproductos de café en la dieta de bovinos deben ser regulados, para alcanzar estándares adecuados de consumo y productividad, el exceso de compuestos secundarios puede conllevar a limitar la velocidad de paso y la degradación ruminal de los nutrientes [8]. Se debe tener en cuenta que la concentración de compuestos antioxidantes en los subproductos del café está estrechamente ligada a la especie, por ejemplo, la cafeína es mayor en *Coffea canephora*, y en el caso de los taninos las variedades de cáscara amarilla poseen más cafeína que las rojas [43].

En la TABLA IV, se muestran los resultados de la cantidad y calidad de la leche producida por las vacas doble propósito durante el ensayo; de manera general no se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) entre los tratamientos para las variables evaluadas. Sin embargo, en las vacas que siguieron la dieta tradicional hubo una tendencia ($P<0,1$) a incrementar la producción de leche en 5,2 %. Además, el contenido de sólidos totales y la concentración de nitrógeno ureico también tendió ($P<0,1$) a ser superior en la leche de las vacas con la dieta tradicional. Por otra parte, el porcentaje de grasa y proteína láctea fue estadísticamente similar entre los dos tratamientos.

Al igual que en este trabajo, Fernández *et al.* [31], tampoco encontraron diferencia estadística en la producción y calidad de leche al incluir en vacas cruzadas, 0,91 y 1,83 kg MS de cáscara de café deshidratada, respecto a la dieta control. También coincide con lo reportado por Pedraza *et al.* [44], los cuales incorporaron en la dieta 0,6, 0,9 y 1,2 kg MS de cáscara de café fresca-vaca⁻¹·día⁻¹. La inclusión de 0,6 kg de MS del ensilaje tuvo una tendencia a mejorar 1,4 L de leche-vaca⁻¹·día⁻¹, pero no fue estadísticamente significativo, los autores sugirieron que los niveles moderados de cáscara de café en la dieta de vacas lactantes podrían producir mejores resultados que la incorporación de niveles altos.

En este mismo sentido, Florez *et al.* [10], incorporaron en vacas cruzadas 0,28, 0,56 y 0,84 kg MS de ensilaje de cáscara de café y no encontraron diferencias estadísticas para la producción de leche (kg-vaca⁻¹·día⁻¹) ni para los parámetros grasa y proteína (g·kg⁻¹). Dichos autores encontraron una tendencia en la concentración de sólidos no grasos y lactosa, justificada según ellos por una mayor ingesta de MS, proteína y de carbohidratos no fibrosos, lo que conlleva a mayor producción de propionato en rumen, el cual se metaboliza a glucosa en hígado y glándula mamaria [45].

En el presente estudio la concentración de proteína en la leche para ambos tratamientos fue de 2,90 % y 2,92 % para T1 y T2, respectivamente, considerados como valores bajos, según la clasificación para la composición de leche de vaca en Colombia, elaborada por Barragán *et al.* [46], la cual presenta concentraciones de proteína en leche de 3,37 % como normales (desviación estándar 0,34). La concentración de grasa y sólidos totales están dentro de los rangos normales de dicha clasificación. La baja concentración de proteína en leche estaría más relacionada con el consumo de MS total, el cual no es el óptimo, y el bajo aporte de proteína de la pastura, y el ensilaje, habría que incrementar el consumo de este último para observar variaciones.

Se ha reportado que la presencia de cafeína, en concentraciones entre 2,4 y 4,6 g·kg⁻¹ [47], puede tener un efecto negativo sobre la productividad animal [48], relacionada con un mayor gasto energético por actividad motora, y una pérdida en la eficiencia de uso del nitrógeno, promovida además por la presencia de taninos, y que se relaciona con incremento en la evacuación urinaria [48]; en este trabajo la producción de leche no presentó diferencia estadística, lo que podría indicar que la concentración de cafeína en el ensilaje fue baja o que el consumo total no superó el umbral en el que se evidencian los efectos de este alcaloide.

Se evidenció una tendencia a incrementar el valor de nitrógeno ureico en la leche, en las vacas con dieta tradicional el cual está correlacionado con la excreción de nitrógeno vía urinaria [49], lo que podría indicar una pérdida en la eficiencia de uso del nitrógeno, si se tiene en cuenta que el consumo estimado de proteína fue menor en las vacas suplementadas con ensilaje de café (1,281 y 1,330 g, para el grupo con ensilaje y suplemento comercial, respectivamente).

En otros trabajos tampoco se ha observado efecto negativo del consumo de subproductos del café sobre la producción de leche o composición láctea [31, 44], e incluso, en un trabajo reciente de San Martín *et al.* [50] se ha concluido que los residuos del grano de café pueden llegar a ser incluidos en las dietas para vacas lecheras en hasta el 5 %, sin afectar la producción o composición láctea. Noriega *et al.* [9] recomiendan que para mejorar el consumo y los indicadores productivos en animales, cuando se utilizan subproductos del café como la cáscara, es recomendable acompañarla de forrajes y suplementos proteicos y de buena digestibilidad.

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación muestran que la inclusión de ensilaje de cáscara y mucilago de café en la dieta de vacas doble propósito no afectó la producción ni la calidad composicional de la leche. En las fincas ganaderas ubicadas en zonas cafeteras de Colombia, las cuales generalmente son de pequeños productores, topografía en ladera y donde la disponibilidad de pasturas es escasa, es propicio seguir evaluando los subproductos del café

TABLA IV
Efecto de la inclusión de cáscara de café sobre la producción y calidad composicional de la leche en vacas doble propósito

Componente	T1	T2	Valor-P
PL, litros-vaca ⁻¹ ·día ⁻¹	13,5±0,23 ^a	14,2±0,23 ^a	0,0616
Contenido de grasa, %	4,02±0,14 ^a	4,17±0,14 ^a	0,3317
Contenido de Proteína %	2,90±0,09 ^a	2,92±0,09 ^a	0,3126
Contenido de Sólidos Totales %	12,9±0,22 ^a	13,1±0,22 ^a	0,0809
MUN (mg·dL ⁻¹)	10,9±0,06 ^a	11,0±0,06 ^a	0,0682

T1 - pastoreo (*Brachiaria decumbens*) + ensilaje de cáscara y mucilago de café, a razón de 0,5 kg MS-vaca⁻¹·día⁻¹, y T2 - pastoreo (*Brachiaria decumbens*) + 0,5 kg MS concentrado-vaca⁻¹·día⁻¹; EE: error estándar; ^{a,b} valores con superíndice no comunes en la horizontal difieren $P<0,05$ (Tukey)

como alternativa de suplementación animal, con el fin de disminuir costos de producción y mitigar los impactos ambientales de dichos subproductos sobre el medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al convenio: “Fortalecimiento de capacidades para el aprovechamiento de residuos del café, como un desafío para la nutrición animal y la sostenibilidad ambiental, en las provincias Guanentá y Comunera en Santander”, entre ASOCOCHAN y AGROSAVIA entre los años 2022 y 2023. Desde AGROSAVIA se agradece a la junta directiva y asociados de ASOCOCHAN por el aporte del ensilaje, la finca y los animales para llevar a cabo esta investigación piloto, así como por su participación en las actividades de vinculación de tecnologías para el sector ganadero en la provincia Comunera de Santander.

Conflicto de interés

Los autores declaran la no existencia de conflictos de interés en el presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Federación Nacional de Cafeteros de Colombia: Noticias [Internet]. Bogotá (Colombia): Federación Nacional de Cafeteros; 2024. Producción anual de café de Colombia cierra 2022 en 11,1 millones de sacos; 4 Ene. 2023 [consultado 10 Mar. 2024]; Disponible en: <https://goo.su/2GKAaczl>
- [2] Flórez DF. Efecto del tiempo de fermentación sobre la calidad nutricional del ensilaje de pulpa de *Coffea arabica* L. Cien. Tecnol. Agropecu. [Internet]. 2020; 21(3):e1423. doi: <https://doi.org/gt8hs3>
- [3] Salazar Gallego F. Café de Colombia, análisis de los principales productores de café del mundo [tesis de grado en Internet]. [Medellín, Colombia]: Universidad Pontificia Bolivariana; 2021 [consultado 10 Mar. 2024]. 54 p. Disponible en: <https://goo.su/OHFMDn>
- [4] Fernández-Cortés Y, Sotto-Rodríguez KD, Vargas-Marín LA. Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. Rev. P+L [Internet]. 2020; 15(1):93-110. doi: <https://doi.org/gt8hs4>
- [5] Serna-Jiménez JA, Torres-Valenzuela LS, Martínez K, Hernández MC. Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. Revista ION [Internet]. 2018; 31(1):37-42. doi: <https://doi.org/gt8hs5>
- [6] Ocampo-López OL, Álvarez-Herrera LM. Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia. Apuntes del CENES [Internet]. 2017; 36(64):139-165. doi: <https://doi.org/gfdc52>
- [7] Esquivel P, Jiménez VM. Functional properties of coffee and coffee by-products. Food Res. Int. [Internet]. 2012; 46(2):488-495. doi: <https://doi.org/bpb9fm>
- [8] Flórez-Delgado DF, Rosales-Asensio E. Uso del ensilaje de pulpa de café en alimentación animal. Mundo Fesc [Internet]. 2018; 8(15):73-82. doi: <https://doi.org/nfmc>
- [9] Noriega-Salazar A, Silva-Acuña R, García de Salcedo M. Composición química de la pulpa de café a diferentes tiempos de ensilaje para su uso potencial en la alimentación animal. Zootec. Trop. [Internet]. 2009 [consultado 12 Feb. 2024]; 27(2):135-141. Disponible en: <https://goo.su/XnmNnb>
- [10] Flórez-Delgado DF, Gil-Herrera RJ, Maza-Ortega RE. Effects of the inclusion of coffee pulp silage in the diet on the performance and profitability of crossbred milk cows in the middle tropics. Trop. Anim. Health Prod. [Internet]. 2023; 55(78):1-9. doi: <https://doi.org/gt8hs6>
- [11] Flórez-Delgado DF, Capacho-Mogollón AE, Quintero-Muiño SM, Báez-Gamboa P. Efecto de la suplementación con ensilaje de naranja sobre la composición de la leche bovina. RIAA. [Internet]. 2020; 11(2):71-79. doi: <https://doi.org/gt8hs7>
- [12] Sanabria-Bautista D, Maza-Ortega R, Cardona-Iglesias JL, Cuarán VL. Productividad y estimación de la emisión de metano en vacas de leche en pastoreo suplementadas con papa (*Solanum tuberosum*). RIAA. [Internet]. 2024; 15(1):211-227. doi: <https://doi.org/gt8hs8>
- [13] Pinto RR, Medina JA, Medina FJ, Guevara F, Gómez H, Ley A, Carmona J. Sustitución de melaza por mucilago de café (*Coffea arabica* L.) en bloques nutricionales para rumiantes. Arch. Zootec. [Internet]. 2014; 63(241):65-71. doi: <https://doi.org/gt8hs9>
- [14] Food and Agriculture Organization. FAO en Colombia [Internet]. Bogotá: FAO. El abastecimiento de alimentos en tiempos de Covid-19; 21 Abr. 2020 [consultado 13 Feb. 2024]; 1 p. Disponible en: <https://goo.su/zAtwaB>
- [15] Holdridge LR. Ecología basada en zonas de vida. 5ta reimpr. San José (Costa Rica): Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura; 2000; 89 p.
- [16] Frasinelli CA, Casagrande HJ, Veneciano JH. La condición corporal como herramienta de manejo en rodeos de cría bovina [Internet]. San Luis (Argentina): INTA; 2004 [consultado 13 Feb. 2024]. 17 p. Disponible en: <https://goo.su/P1Ap>
- [17] Kaps M, Lamberson WR. Biostatistics for Animal Science. 3rd ed. Wallingford (Oxfordshire, United Kingdom): CABI; 2017. 561 p.
- [18] Haydock KP, Shaw NH. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. Aust. J. Exp. Agric. [Internet]. 1975; 15(76):663-670. doi: <https://doi.org/dd2ghq>
- [19] Ariza-Nieto C, Mayorga-Mogollón OL, Gualdrón-Duarte L, Valencia-Echavarría D, Mestra-Vargas LI, Santana-Rodríguez MO, Ortiz-Cuadros RE, Pérez-Almarino N, Camargo-Hernández DB, Carvajal-Bazurto CT, Parra-Forero DM, Sierra-Alarcón AM. Alimento: el valor nutricional de recursos forrajeros de Colombia [Internet]. Bogotá: AGROSAVIA; 2020; 48 p. doi: <https://doi.org/gt8htb>
- [20] Ariza-Nieto C, Mayorga OL, 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. [Internet]. 2017; 26(1):44-52. doi: <https://doi.org/gdc42d>
- [21] SAS Institute Inc. SAS/STAT Ver. 9.4 User's Guide. Cary, NC (EUA): SAS Institute Inc. 2016; 646 p.

- [22] Fernández-Navarro AL. Suplementación con pulpa de café deshidratada en vacas lecheras y su efecto sobre producción, calidad de leche y costos de la dieta [tesis de grado en Internet]. [San José, Costa Rica]: Universidad de Costa Rica; 2019 [consultado 10 Mar. 2024]. 58 p. Disponible en: <https://goo.su/4UUujQ4>
- [23] Encalada M, Fernández P, Jumbo N, Quichimbo A. Ensilaje de pulpa de café con la aplicación de aditivos en el cantón Loja. Bosques Latitud Cero [Internet]. 2017 [consultado 12 Feb. 2024]; 7(2):71-82. Disponible en: <https://goo.su/fW2g>
- [24] Rodríguez-Valencia N. Ensilaje de pulpa de café. Avances Técnicos Cenicafé [Internet]. 2003 [consultado 10 Mar. 2024]; 313:8. Disponible en: <https://goo.su/xK07>
- [25] Cardona-Iglesias JL, Castro-Rincón E, Valenzuela-Chirán M, Hernández-Oviedo F, Avellaneda - Avellaneda Y. Efecto del ensilaje de avena sobre la productividad de vacas lactantes en Nariño, Colombia. Rev. Cient. FCV-LUZ [Internet]. 2019 [consultado 18 Feb. 2024]; 29(3):165-169. Disponible en: <https://goo.su/MWs7iLr>
- [26] Cruz-Carrillo A, Rodríguez-Salgado AM, Pineda-Pulido C. Efecto de la suplementación con ensilaje de cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) sobre algunos parámetros metabólicos en vacas de leche. Rev. Investig. Vet. Perú. [Internet]. 2019; 30(4):1494-1503. doi: <https://doi.org/gt8htc>
- [27] Navarro-Ortiz CA, Roa-Vega ML. Comparación de la digestibilidad de tres especies forrajeras estimada mediante diferentes técnicas. Orinoquia [Internet]. 2018; 22(1):15-33. doi: <https://doi.org/gt8htd>
- [28] Cardona-Iglesias JL, Mahecha-Ledesma L, Angulo-Arizala J. Consumo y productividad en vacas Holstein pastoreando un sistema silvopastoril vs monocultivo de kikuyo y suplementadas con grasas insaturadas. Rev. Cient. FCV-LUZ [Internet]. 2019 [consultado 12 Feb. 2024]; 29(1):20-33. Disponible en: <https://goo.su/vDqd>
- [29] Vera-Rodríguez JH, Jiménez-Murillo WJ, Naula-Mejía MC, Villa-Cárdenas UJ, Zaruma-Quito FA, Montecé-Maridueña GY, Cabrera-Carreño WJ, Zambrano-Valencia FN, Astudillo-Ludizaca CM. Residuos de la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) como alternativa alimenticia para rumiantes. Rev. Colombiana Cienc. Anim. RECIA [Internet]. 2021; 13(2):e839. doi: <https://doi.org/gt8htf>
- [30] Lagos-Burbano E, Cardona-Iglesias JL, Castro-Rincón E. Subproductos de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.): usos en la alimentación animal y producción de compost [Internet]. Bogotá: AGROSAVIA; 2022. 88 p. doi: <https://doi.org/gt8htg>
- [31] Fernández-Navarro AL, Rojas-Bourrillon A, Campos-Granados CM. Suplementación con pulpa de café deshidratada en vacas lecheras y su efecto en el desempeño productivo. Nutrición Animal Tropical [Internet]. 2024; 18(1):1-25. doi: <https://doi.org/gt8htj>
- [32] Ferrufino-Suárez AJ, Mora-Valverde D, Villalobos-Villalobos L.A. Biomasa y bromatología del pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) con cinco periodos de rebrote. Agron. Mesoam. [Internet]. 2022; 33(2):8-15. doi: <https://doi.org/gt8htj>
- [33] Angulo-Arizala J, Nemocón-Cobos A, Barragán-Hernández WA, Gallo-Marín J, Mahecha-Ledesma L. Residuos de la industria alimentaria (snacks) como alimento en una lechería en el trópico alto colombiano. Cienc. Tecnol. Agropecuaria. [Internet]. 2022; 23(1):e2055. doi: <https://doi.org/nfts>
- [34] National Research Council. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. [Internet]. 7th ed. Washington, DC (EUA): National Academy Press; 2001. 381 p. doi: <https://doi.org/ft2s>
- [35] Rosero-Noguera R, Bedoya-Mazo S, Posada-Ochoa SL. Predicción del consumo de materia seca de forraje en vacas lecheras mediante el uso de acelerómetros. Inf. Tecnol. [Internet]. 2022; 33(4):63-72. doi: <https://doi.org/gt8htm>
- [36] Quiñones-Chillambo JD, Cardona-Iglesias JL, Castro-Rincón E. Ensilaje de arbustivas forrajeras para sistemas de alimentación ganadera del trópico altoandino. Rev. Investig. Altoandín. [Internet]. 2020; 22(3):285-301. doi: <https://doi.org/gt8htn>
- [37] Cardona-Iglesias JL, Avellaneda-Avellaneda Y, Castro-Rincón E. Estimación del consumo de forraje para dos biotipos bovinos lecheros en el trópico altoandino de Nariño, Colombia: Consumo materia seca bovinos. Rev. Investig. Altoandín. [Internet]. 2021; 23(4):220-228. doi: <https://doi.org/gt8htp>
- [38] Banakar PS, Anand Kumar N, Shashank C, Neeti L. Physically effective fiber in ruminant nutrition: A review. J. Pharmacog. Phytochem. [Internet]. 2018 [consultado 12 Feb. 2024]; 7(4):303-308. Disponible en: <https://goo.su/StL3VX>
- [39] Oropeza-Mariano E. Meta-análisis de diferentes dietas para rumiantes con diferentes niveles de cascarilla y pulpa de café [tesis de maestría en Internet]. [Montecillo, México]: Colegio de postgraduados; 2021 [consultado 15 Sep. 2023]. 105 p. Disponible en: <https://goo.su/ntVFBXf>
- [40] Carvalho PLO, Moreira I, Furlan AC, Paiano D, Piano LM, Sierra LMP. Sticky coffee hull silage on the feeding of growing and finishing pigs. Rev. Bras. Zootec. [Internet]. 2011; 40(2):343-351. doi: <https://doi.org/br4bgq>
- [41] dos Santos EM, de Macedo LM, Tundisi LL, Ataíde JA, Camargo GA, Alves RC, Oliveira MBPP, Mazzola PG. Coffee by products in topical formulations: A review. Trends Food Sci. Technol. [Internet]. 2021; 111(1):280-291. doi: <https://doi.org/gr8f2b>
- [42] Roseira JPS, Garcia R, da-Silveira TC, Veloso CM, da-Silva TC, da-Silva LD, Ribeiro ET. Rumen degradation kinetics of coffee hulls treated with calcium oxide under aerobic or anaerobic conditions. Rev. Colomb. Cienc. Pecu. [Internet]. 2021; 34(1):51-62. doi: <https://doi.org/gt8htq>
- [43] Pandey A, Soccol CR, Nigam P, Brand D, Mohan R, Roussos S. Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. Biochem. Eng. J. [Internet]. 2000; 6(2):153-162. doi: <https://doi.org/fwpd62>
- [44] Pedraza-Beltrán P, Estrada-Flores JG, Martínez-Campo AR, Estrada-López I, Rayas-Amor AA, Yong-Angel G, Figueroa-Medina M, Avilés-Nova F, Castelán-Ortega OA. On-farm evaluation of the effect of coffee rom supplementation on milk yield and dry matter intake of dairy cows grazing tropical grasses in central Mexico. Trop. Anim. Health Prod. [Internet]. 2012; 44(1):329-336. doi: <https://doi.org/cr9bt9>
- [45] Huntington GB, Harmon DL, Richards CJ. Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. J. Anim. Sci. [Internet]. 2006; 84(Suppl. 13):E14-E24. doi: <https://doi.org/gt8hts>

- [46] Barragán-Hernández WA, Mahecha-Ledesma L, Angulo-Arizala J, Olivera-Angel M. Characterization and classification of the compositional quality of milk from river buffaloes (*Bubalus bubalis*) and cows (*Bos spp.*) in Colombia. *Rev. Med. Vet. Zoot.* [Internet]. 2019; 66(1):43-52. doi: <https://doi.org/gt8hts>
- [47] Serna-Jiménez JA, Siles JA, Martín MA, Chica AF. A Review on the Applications of Coffee Waste Derived from Primary Processing: Strategies for Revalorization. *Processes* [Internet]. 2022; 10(11):2436. doi: <https://doi.org/gr8f4g>
- [48] Furusho-Garcia IF, Perez JRO, Teixeira JC. Componentes de carcaça e composição de alguns cortes de cordeiros Texel × Bergamácia, Texel × Santa Inês e Santa Inês puros, terminados em confinamento, com casca de café como parte da dieta. *Rev. Bras. Zootec.* [Internet]. 2003; 32(6 Suppl. 2):178-199. doi: <https://doi.org/c8f4nv>
- [49] Kauffman AJ, St-Pierre NR. The relationship of milk urea nitrogen to urine nitrogen excretion in Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* [Internet]. 2001; 84(10):2284-2294. doi: <https://doi.org/cz37vh>
- [50] San Martín D, Orive M, Iñarra B, García A, Goiri I, Atxaerandio R, Urkiza J, Zufía J. Spent coffee ground as second-generation feedstuff for dairy cattle. *Biomass Convers. Biorefin.* [Internet]. 2021; 11:589-599. doi: <https://doi.org/gt8htt>