
ARTÍCULO CIENTÍFICO

Suplementación con pulpa de café deshidratada en vacas lecheras y su efecto en el desempeño productivo¹

Ana Laura Fernández-Navarro², Augusto Rojas-Bourrillon³, Carlos M. Campos-Granados⁴

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la inclusión de pulpa de café deshidratada en dietas de vacas lecheras en un sistema de pastoreo, en la zona de Copey del cantón de Dota, en San José, Costa Rica. El experimento se realizó con 30 vacas agrupadas de acuerdo con características similares en cuanto a número de parto, producción de leche, días en lactancia y condición corporal. Se utilizaron 3 tratamientos con 10 repeticiones cada uno: Control no suplementado, Tratamiento 1 (1 kg MF de pulpa de café/animal/día sustituyendo 1 kg de cáscara de banano maduro) y Tratamiento 2 (2 kg MF de pulpa de café/animal/día sustituyendo 1 kg de alimento balanceado). Se llevó un registro semanal por animal de la producción y calidad de leche, de células somáticas (CCS) y nitrógeno ureico en leche (NUL), así como de la condición corporal de los animales. También se recolectó información sobre los costos de las dietas evaluadas. Se utilizó un análisis de medidas repetidas en el tiempo con un modelo linear mixto, analizado con el software estadístico R y una prueba de Tukey para determinar la significancia ($p < 0.05$) de los posibles efectos de los distintos tratamientos. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) para ninguna de las variables de producción, calidad de leche ni condición corporal en los tratamientos evaluados. Sin embargo, sí se logró una reducción de

¹Esta investigación forma parte del trabajo de graduación de licenciatura del primer autor. Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Escuela de Zootecnia. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica.

²Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia y Centro de Investigación en Nutrición Animal. San José, Costa Rica. Correo electrónico: ana_lau646@hotmail.com (<https://orcid.org/000-0001-5555-0200>)

³Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia y Centro de Investigación en Nutrición Animal. San José, Costa Rica. Correo electrónico: arojasbourrillon@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-9834-2361>)

⁴Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia y Centro de Investigación en Nutrición Animal. San José, Costa Rica. Autor para correspondencia: carlosmario.campos@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-0079-2621>)

Recibido: 07 junio 2023 Aceptado: 29 enero 2024

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0.



un 3,4% en el costo de la dieta con la inclusión de 2 kg MF de pulpa de café deshidratada Tratamiento 2), logrando un mismo rendimiento en la producción y calidad de la leche. Bajo las condiciones de esta investigación, se concluye que la suplementación con pulpa de café deshidratada no tuvo efecto sobre el desempeño productivo de vacas en producción de leche, pero sí una reducción en los costos de alimentación de los animales, lo cual debe valorarse como una ventaja en el uso de este suplemento en dietas de ganado lechero.

Palabras clave: producción de leche, café, costos de alimentación, calidad de leche, condición corporal.

ABSTRACT

Supplementation with dehydrated coffee pulp in dairy cows and its effect on productive performance. The effect of including dehydrated coffee pulp in the diets of dairy cows in a grazing system, in Copey of Dota area of San Jose, Costa Rica, was evaluated. The experiment was conducted with 30 cows grouped according to similar characteristics in terms of birth number, milk production, days in milk, and body condition score. Three treatments with 10 repetitions each were used: Non-supplemented control, Treatment 1 (1 kg as fed of coffee pulp/animal/day replacing 1 kg of ripe banana peel), and Treatment 2 (2 kg as fed of coffee pulp/animal/day replacing 1 kg of balanced feed). Weekly records were kept on milk production and quality, somatic cell count (SCC), milk ureic nitrogen (MUN), as well as body condition score of the animals. Information on the costs of the evaluated diets was also collected. Repeated measures were analyzed over time using a mixed linear model with the statistical software R, with a Tukey test to determine the significance ($p < 0.05$) between treatments. No significant differences ($p > 0.05$) were found for any of the variables of production, milk quality, and body condition score for the evaluated treatments. However, a 3.4% reduction in the cost of the diet was achieved with the inclusion of 2 kg of dehydrated coffee pulp (Treatment 2), maintaining the same performance in milk production and quality. Under the conditions of this research, it's concluded that supplementation with dehydrated coffee pulp did not affect the

productive performance of cows in milk production but reduced the cost of feeding the animals, which should be valued as an advantage in dairy cattle diets.

Keywords: milk yield, coffee, feeding costs, milk quality, body condition.

INTRODUCCIÓN

Históricamente, Costa Rica ha sido un país de tradición cafetalera, caracterizada por su café de gran calidad a nivel nacional e internacional. La producción nacional de café fruta, en la cosecha 2019-2020, fue de alrededor de 1, 915, 959 fanegas (1 fanega = 258 kg) y la Zona de los Santos representó aproximadamente un 40% de la producción nacional, siendo esta área del país la de mayor producción de café (ICAFE, 2021).

El procesamiento industrial del café producido en Costa Rica tiene consigo un impacto ambiental, pues se generan residuos o subproductos que, si no son manejados adecuadamente, pueden generar alteraciones en el medio ambiente, ya sea directa o indirectamente. En este sentido, el beneficiado húmedo, que es el sistema utilizado en nuestro país, genera dos principales residuos: la pulpa de café y las aguas residuales (Alfaro y Rodríguez, 1994).

La conciencia conservacionista creciente desde hace varios años, tanto en el ámbito nacional como internacional, además de diferentes legislaciones y certificaciones de calidad, obligan y comprometen al sector cafetalero a desarrollar tecnologías adecuadas para disminuir el impacto ambiental y convertirlo en una actividad sostenible y amigable con el ambiente. Algunas de las tecnologías implementadas han sido la disminución del uso del agua en el proceso de beneficiado del café, así como usos alternativos para la pulpa (Vásquez, 1997).

Dentro de los usos alternativos para la pulpa de café, hace ya varios años se ha propuesto su uso como alimento para animales. Incluso, recientemente, este subproducto ha sido planteado

para la alimentación humana. Décadas atrás se realizaron diferentes estudios (Cabezas et al., 1978; Elías, 1978; Bressani, 1978a; Bressani, 1978b) e intentos por promover este subproducto para la alimentación animal, sin embargo, no tuvo mucho éxito en su difusión a nivel comercial, ya que en la época hubo poco interés por parte de los ganaderos y la conciencia ambiental a nivel de industria no estaba tan consolidada.

No obstante, en la actualidad, existe un interés por parte de los productores de encontrar alternativas viables, económicas y productivas con el objetivo de disminuir los costos de producción asociados principalmente con la alimentación de los animales y, en este sentido, la pulpa de café se convierte en una muy buena alternativa (Campos-Granados y Arce-Vega, 2016).

Debido a esto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la utilización de la pulpa de café deshidratada sobre el rendimiento productivo de animales en una lechería especializada, al igual que el impacto sobre los costos de alimentación de su incorporación como recurso alimenticio en los sistemas de producción bovina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El experimento se realizó en una finca lechera comercial ubicada en el distrito de Copey del cantón de Dota, en San José, Costa Rica, entre los meses de enero y abril del 2018. La finca se ubica a 1550 m s. n. m., la temperatura promedio ronda los 16,2 °C y la precipitación promedio es de 3496 mm al año (INTA, 2019).

Diseño del experimento, animales y dietas

Se utilizaron 30 vacas en producción de leche de las razas holstein, jersey y sus respectivos cruces durante 100 días de lactancia (DL). Estas fueron agrupadas de acuerdo con el número de parto (2 para todos los grupos), producción de leche (18 kg/animal/día en promedio para todos los grupos), días en lactancia (162 para todos los grupos), condición corporal (3 para todos los grupos) y raza. De manera que este agrupamiento no influyese en los resultados obtenidos.

Se definieron 3 tratamientos con 10 repeticiones cada uno: Control (dieta base de la finca), Tratamiento 1 (T1) (sustitución de 1 kg de cáscara de banano por 1 kg de pulpa de café) y Tratamiento 2 (T2) (sustitución de 1 kg de alimento balanceado por 2 kg de pulpa de café deshidratado). Las dietas correspondientes a los tratamientos se formularon y balancearon de forma que fueran isoenergéticas e isoproteicas.

La dieta base de los animales de la finca consistió en: pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) de 32 días de edad a libre consumo, alimento balanceado para ganado lechero en relación 3:1 (kg de leche: kg de concentrado) (5 kg promedio), 9 kg de cáscara de banano, 8 kg de pasta de banano, 8 kg de pasto king grass (*Cenchrus pupureum*) picado, 2 kg de pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) picado, 120 g de un suplemento mineral para ganado lechero y agua a libre consumo. Para los tratamientos 1 y 2 se incorporó la pulpa de café deshidratada. La composición nutricional de estos ingredientes se muestra en el Cuadro 1.

En el caso de la pulpa de café deshidratada se determinó también el fraccionamiento de la proteína, el cual se muestra en el Cuadro 2. Para determinar el aporte nutricional de la dieta se consideró un peso vivo promedio de los animales de 450 kg y un consumo de materia seca del 3% de su peso vivo. La composición nutricional de las dietas correspondientes a los tres tratamientos propuestos se puede observar en los Cuadros 3, 4 y 5, respectivamente.

Cuadro 1. Composición nutricional de los ingredientes de las dietas ofrecidas durante el desarrollo del experimento.

Ingrediente	MS* (%)	PC (%)	EE (%)	Ce (%)	FDN (%)	FDA (%)	Lig (%)	DIVM S (%)	DIVFD N (%)	ED (kcal/k g)	ENI (Mcal/k g)
Kikuyo	20,1	21,1	2,8	12,7	56,9	24,5	1,80	67,70	43,30	2830,0	1,51
	2	5	1	6	0	0				0	
AB**	87,0	16,0	3,0	5,10	15,3	7,00	0,5	-	-	3400,0	1,85
	0	0	0		0	0				0	
CB**	14,0	8,64	5,8	10,4	29,1	18,1	6,7	82,20	38,80	2970,0	1,58
	4		3	5	0	0	0			0	
PB**	15,2	10,2	0,9	6,34	15,3	6,10	1,40	79,20	-	3410,0	1,85
	2	8	9		0					0	
King grass	19,1	10,1	2,0	12,1	72,6	40,3	3,7	71,70	61,10	2330,0	1,25
	8	6	0	1	0	0	0			0	
Estrella africana	61,1	6,24	1,4	6,94	74,1	35,8	5,3	52,90	36,40	2290,0	1,22
	0		4		0	0	0			0	
PCD**	91,3	14,0	2,4	9,31	55,8	41,0	11,5	72,30	50,40	2000,0	1,07
	4	6	1		0	0	0			0	
Mineral	96,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0										

Fuente: Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA), Universidad de Costa Rica. Metodología de química húmeda (AOAC, 1998; Van Soest et al., 1991); Laboratorio de Aseguramiento de Calidad, Cooperativa Dos Pinos. Metodología de análisis de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS); Ecuación mecanicista del NRC (2001).

*MS: materia seca. PC: proteína cruda. EE: extracto etéreo. Ce: cenizas. FDN: fibra detergente neutro. FDA: fibra detergente ácido. Lig: lignina. DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca. DIVFDN: digestibilidad *in vitro* de la FDN. ED: energía digestible. ENI: energía neta de lactancia.

**AB: alimento balanceado. CB: cáscara de banano. PB: pasta de banano. PCD: pulpa de café deshidratada.

Cuadro 2. Fraccionamiento de la proteína de la pulpa de café deshidratada por el método Cornell (CNCPS) expresado como porcentaje de la proteína cruda total.

Componente	Valor (%)
Proteína cruda	14,06
Fracción A	26,90
Fracción B1	3,80
Fracción B2	18,40
Fracción B3	15,30
Fracción C	35,60

Fuente: Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA), Universidad de Costa Rica. Metodología de química húmeda (Sniffen et al., 1992).

Cuadro 3. Composición nutricional de la dieta correspondiente al tratamiento Control.

Ingrediente	MF* (kg)	MS* (kg)	PC* (kg)	ENI* (Mcal/kg)
Kikuyo	18,90	3,80	0,80	5,74
PB**	8,00	1,22	0,02	4,15
CB**	9,00	1,26	0,01	3,75
King grass	8,00	1,59	0,03	3,71
Estrella africana	2,00	1,27	0,05	2,92
AB**	5,00	4,35	0,70	14,79
Mineral	0,12	0,11	0,00	0,00
Total	51,02	13,50	1,61	35,06
Concentración	-	26,46%	11,93%	2,60 Mcal/kg

*MF: materia fresca. MS: materia seca. PC: proteína cruda. ENI: energía neta de lactancia.

**AB: alimento balanceado. CB: cáscara de banano. PB: pasta de banano.

Cuadro 4. Composición nutricional de la dieta correspondiente al Tratamiento 1.

Ingrediente	MF* (kg)	MS* (kg)	PC* (kg)	ENI* (Mcal/kg)
Kikuyo	15,06	3,03	0,65	4,58
PB**	8,00	1,22	0,02	4,15
CB**	8,00	1,12	0,01	3,34
King grass	8,00	1,59	0,03	3,71
Estrella africana	2,00	1,27	0,05	2,92
AB**	5,00	4,35	0,70	14,79
PCD**	1,00	0,91	0,14	1,83
Mineral	0,12	0,11	0,00	0,00
Total	50,18	13,50	1,60	35,32
Concentración	-	26,90%	11,86%	2,61 Mcal/kg

*MF: materia fresca. MS: materia seca. PC: proteína cruda. ENI: energía neta de lactancia.

*AB: alimento balanceado. CB: cáscara de banano. PB: pasta de banano. PCD: pulpa de café deshidratada.

Cuadro 5. Composición nutricional de la dieta correspondiente al Tratamiento 2.

Ingrediente	MF* (kg)	MS* (kg)	PC* (kg)	ENI* (Mcal/kg)
Kikuyo	14,15	2,85	0,62	4,30
PB**	8,00	1,22	0,02	4,15
CB**	9,00	1,26	0,01	3,75
King grass	8,00	1,59	0,03	3,71
Estrella africana	2,00	1,27	0,05	2,92
AB**	4,00	3,48	0,56	11,83
PCD**	2,00	1,83	0,28	3,65
Mineral	0,12	0,11	0,00	0,00
Total	47,27	13,50	1,58	34,31
Concentración	-	28,56%	11,70%	2,55 Mcal/kg

*MF: materia fresca. MS: materia seca. PC: proteína cruda. ENI: energía neta de lactancia.

*AB: alimento balanceado. CB: cáscara de banano. PB: pasta de banano. PCD: pulpa de café deshidratada.

Variables evaluadas

- Producción de leche: se llevó un registro de producción de leche diaria por animal y, además, se calculó la producción de leche corregida al 3,5% de grasa mediante la ecuación propuesta por Gaines (1928): $[(0,35 \times \text{kg leche/día}) + (15 \times \text{kg grasa/día})]$.

- Calidad de leche: se realizó un muestreo semanal de leche por animal para analizar el contenido porcentual de sólidos totales (grasa, proteína, lactosa) mediante la metodología de NIRS con el equipo MilkoScan FT-120; del contenido de nitrógeno ureico en leche (NUL) mediante el método enzimático y la cuantificación por espectrofotometría con el equipo ChemSpec® 150; y del conteo de células somáticas (CCS) mediante la metodología de colorimetría y de impulsos eléctricos de fluorescencia con el equipo Fossomatic Serie 400. Todos los análisis se realizaron en el laboratorio de la Cooperativa Dos Pinos.

- Condición corporal (CC): se realizaron evaluaciones visuales de la condición corporal (1-5) de las vacas dentro del ensayo de forma semanal, de acuerdo con la metodología de Ferguson et al. (1994).
- Costo de las dietas: se recolectó información sobre los costos de alimentación de los animales de los diferentes tratamientos para evaluar las diferencias económicas entre cada grupo y la relación costo-beneficio en la alimentación.

Análisis estadísticos

Se utilizó un análisis de medidas repetidas en el tiempo con un modelo lineal mixto con el software estadístico R 3.5.1 (R Core Team, 2018). Para determinar la significancia de los efectos de los distintos tratamientos se utilizó la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de 0.05. El modelo utilizado fue el siguiente:

$$y_{ijkl} = \mu + V_i + S_j + T_k + \beta (x_{ijkl} - X_{..}) + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

y_{ijkl} : l-ésima observación de la i-ésima vaca en la j-ésima semana del k-ésimo tratamiento.

μ : Media poblacional

V_i : Efecto de la i-ésima vaca.

S_j : Efecto de la j-ésima semana.

T_k : Efecto del k-ésimo tratamiento.

β : Coeficiente de regresión que relaciona y_{ijkl} con la covariable x_{ijkl} .

x_{ijkl} : Medida de la covariable para y_{ijkl} .

$X_{..}$: Media de los valores x_{ijkl} .

ϵ_{ijkl} : Error aleatorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de leche

La producción de leche diaria y la corregida al 3,5% de grasa obtenida para los 3 tratamientos se muestra en el Cuadro 6. La producción de leche por semana se muestra en la Figura 1.

Cuadro 6. Producción de leche diaria obtenida para los 3 tratamientos evaluados en el experimento.

Tratamiento	Producción de leche (kg/vaca/día)	Producción de leche corregida al 3,5% de grasa (kg/vaca/día)
Control	13,84 ± 1,38	10,27 ± 0,94
Tratamiento 1	12,52 ± 1,25	9,85 ± 0,91
Tratamiento 2	14,94 ± 1,70	10,76 ± 1,48

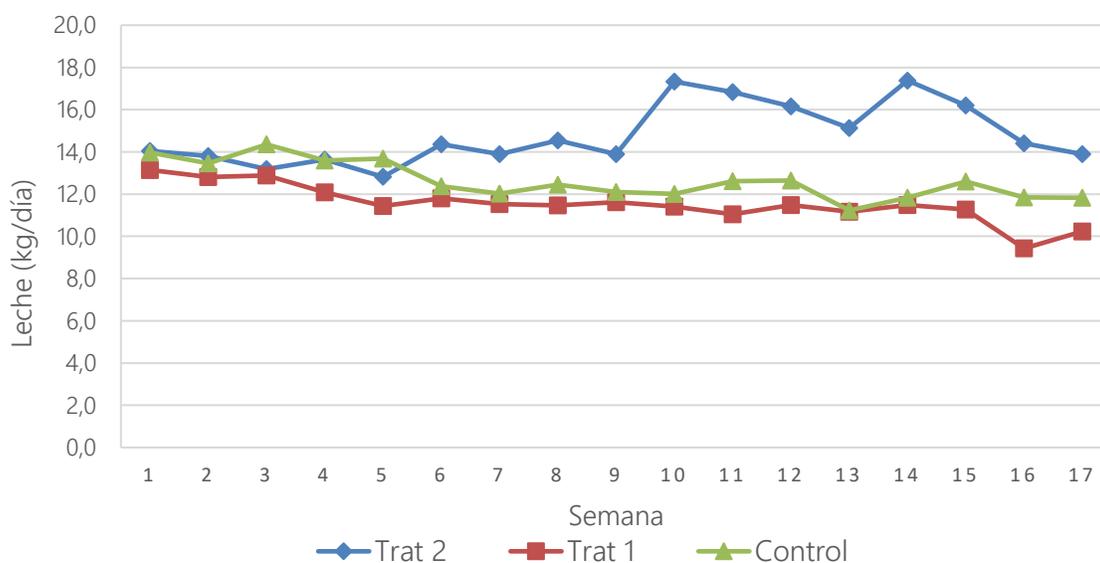


Figura 1. Producción de leche por semana de los animales correspondientes a los tres tratamientos evaluados.

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los diferentes tratamientos para las variables evaluadas. Esto concuerda con un estudio similar llevado a cabo por Pedraza et al. (2012), en donde se incluyó, en la dieta de vacas lecheras en pastoreo con días de lactancia tardíos, pulpa de café en proporciones de 0%, 10%, 15% y 20% en el concentrado (consumos de 0; 0,6; 0,9; 1,2 kg MS de pulpa de café/día/animal). La inclusión de 10% de pulpa de café mejoró en 1,38 kg de leche/día la producción diaria, pero esta mejoría no fue estadísticamente significativa, lo que puede sugerir que la inclusión de niveles moderados de la pulpa de café en las dietas del ganado lechero puede producir mejores resultados que cuando se incluyen en niveles más altos.

Esta respuesta positiva en producción podría ser atribuida al contenido moderado de taninos y fenoles de la pulpa de café. Souza et al. (2005) mencionan que bajos niveles de taninos y polifenoles ligan a las proteínas del alimento formando complejos tanino-proteína, los cuales actúan como proteína de sobrepaso, mejorando así el rendimiento del animal. Este contenido de taninos y polifenoles normalmente se encuentran representados en la fracción C de la proteína. Al observar el valor obtenido para la pulpa de café utilizada en este estudio (35,60% del total de la proteína), se puede asumir que también incluye los complejos taninos-proteína resistentes a la hidrólisis por enzimas microbianas y que, por lo tanto, se convierten en proteína de sobrepaso. Sin embargo, es difícil saber con certeza si este fenómeno ocurrió realmente en el presente experimento, ya que no se midió la utilización de nitrógeno ruminal ni la síntesis de proteínas microbianas.

Otro detalle importante de mencionar a favor de la utilización de la pulpa de café en dietas del ganado lechero es su aporte de FDN (55,80%). Este se considera que proviene de fuentes no forrajeras, las cuales generan un efecto de fibra efectiva en el rumen (Firkins, 1997), lo que se traduce en buena salud ruminal, y, por ende, un mejor aprovechamiento de la dieta por parte de los animales.

No obstante, es importante mencionar que es difícil separar los beneficios del aporte de la fibra efectiva de fuentes no forrajeras de los beneficios de la dilución en la concentración de

carbohidratos no fibrosos (CNF) de la dieta por la inclusión de estas fuentes, ya que ambas situaciones influyen positivamente en el pH del rumen. El reemplazo de CNF con FDN de fuentes no forrajeras puede aumentar el pH ruminal y esto incrementa la digestibilidad de la fibra, tanto de la que proviene de la fuente no forrajera como de las que proceden de fuentes forrajeras de la dieta, lo que se traduce en un mejor aprovechamiento de la fibra gracias a una mejor salud ruminal (Zebeli et al., 2012).

Por otro lado, el efecto de la fibra físicamente efectiva que presentan las fuentes de FDN no forrajeras puede aumentar el tiempo de retención promedio y disminuir la tasa de pasaje, aumentando las digestibilidades de la dieta. No obstante, este efecto depende de características del material, como tamaño de partícula, digestibilidad de la FDN, la densidad, gravedad específica, entre otras (Zebeli et al., 2012).

Si se toma a la cascarilla de soya como referencia, al ser un material similar en composición nutricional y partícula física a la pulpa de café deshidratada, se podría presumir que el comportamiento en la cinética del rumen y la tasa de pasaje ruminal son similares. Según lo planteado por Firkins (1997), la tasa de pasaje de la cascarilla de soya cambia considerablemente dependiendo de la fuente de forraje y la cantidad. Las tasas de pasaje ruminal de la cascarilla de soya de vacas en lactancia con un promedio de consumo de materia seca (CMS) de 15,7 kg/d, variaron de 0,043 a 0,050/h, valores que fueron similares a los encontrados para forrajes (0,037 a 0,046/h). Una tasa de pasaje más lenta podría aumentar la digestibilidad ruminal de la FDN, lo que proporciona energía para la síntesis de proteína microbiana.

En un estudio de Ranathunga et al. (2008), donde se sustituyó el almidón del maíz con fuentes de fibra no forrajeras a partir de destilados de maíz y cascarilla de soya (0; 3,19; 6,36; y 9,55% de MS de la dieta), se estimó el factor de fibra efectiva de cada dieta. Con la mayor inclusión de cascarilla de soya en la dieta aumentó proporcionalmente el factor de fibra efectiva de 35,1 hasta 37,5; estableciendo que hay una mayor retención de la fibra en el rumen con el uso de fuentes de fibra no forrajeras.

De acuerdo con lo anterior, es posible suponer que la pulpa de café deshidratada es un material fibroso que puede mejorar la salud ruminal y tener un efecto de retención por la fibra efectiva que aporta, dadas sus características de composición química y su tamaño de partícula. Esto puede aumentar la digestibilidad de la fibra de origen forrajero en sistemas lecheros con pastoreo.

Calidad de leche

Los valores promedio de la composición láctea, CCS y NUL para los diferentes tratamientos evaluados se muestran en el Cuadro 7. La composición de la leche por semana se muestra en la Figura 2.

Cuadro 7. Composición de la leche producida por las vacas de los 3 tratamientos evaluados en el experimento.

Tratamiento	Sólidos totales (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	NUL (mg/dl)	CCS*
Control	9,72 ± 0,49	1,74 ± 0,42	3,36 ± 0,13	4,45 ± 0,08	8,01 ± 2,14	4,27 + 0,84
Tratamiento 1	9,83 ± 0,42	2,23 ± 0,40	3,31 ± 0,09	4,46 ± 0,08	7,52 ± 2,48	5,08 ± 0,91
Tratamiento 2	10,55 ± 0,45	2,43 ± 0,41	3,59 ± 0,14	4,37 ± 0,12	8,16 ± 2,60	4,40 ± 0,79

*Conteo de células somáticas. Valores transformados de acuerdo con el USDA (2005): $\log_2(\text{CCS}/100,000) + 3$.

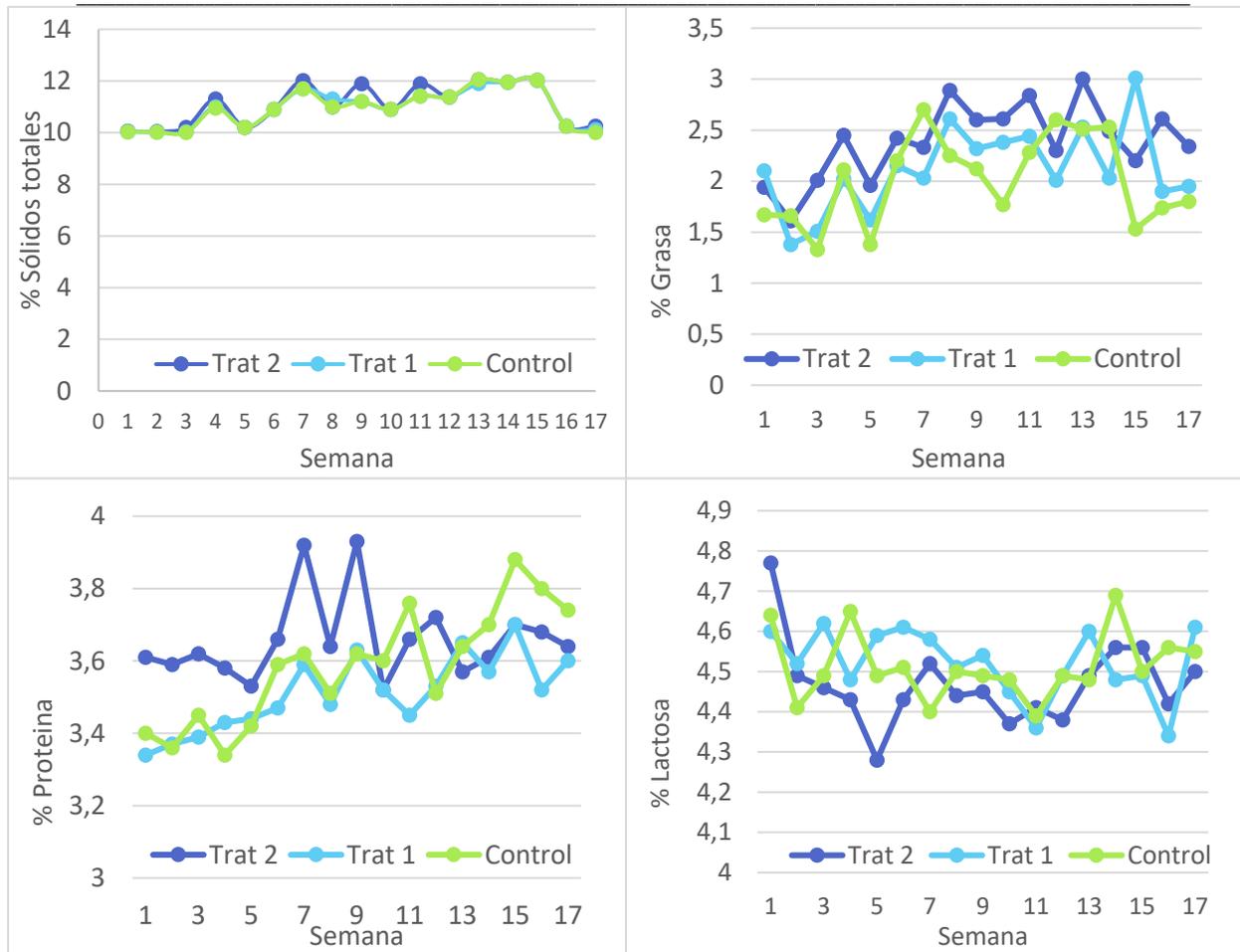


Figura 2. Concentración de sólidos totales, grasa, proteína y lactosa por semana de la leche producida por los animales correspondientes a los tres tratamientos evaluados.

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los diferentes tratamientos para las variables evaluadas. Esto concuerda con lo reportado por Souza et al. (2005), quienes alimentaron con diferentes niveles de pulpa de café deshidratada (con un rango de 0% a 10% de la MS de la dieta total) a vacas lecheras lactantes, reemplazando al maíz molido; no observaron diferencias significativas en concentraciones y cantidades de proteína, grasa ni sólidos totales de la leche, con valores medios de 3,1%; 4,0% y 12,2%, respectivamente. Resultados similares para la composición de la leche fueron encontrados por Barcelos et al. (1996), quienes evaluaron la inclusión de cáscara de café en la dieta de vacas con una media de producción de leche de 16,9 kg/día.

En otro estudio realizado por Pedraza et al. (2012), no se encontraron diferencias en la concentración de sólidos lácteos con la inclusión de pulpa de café en concentrados de vacas lecheras, en rangos de 10 a 20%, con valores medios de 4,5% de grasa, 3,2% de proteína y 13,09% de sólidos totales.

Las respuestas positivas en cuanto al aumento en el porcentaje de sólidos lácteos, y dentro de estos la grasa, normalmente se asocia con un aumento en la producción de ácido acético y ácido butírico en el rumen. Ambos son precursores de la grasa láctea, como consecuencia de un mayor consumo de fibra, principalmente de fuentes forrajeras (Linn, 1988).

Por el contrario, cuando se obtienen respuestas negativas en estos componentes de la leche, estas se asocian con un aumento en el consumo de CNF, específicamente de almidones provenientes del alimento balanceado. Estos alteran el pH del rumen de manera significativa, promoviendo una producción de ácido propiónico y ácido láctico, lo que disminuye o detiene la fermentación del forraje, reduciendo la producción de ácido acético y butírico, desencadenando un problema de Síndrome de Baja Grasa Láctea (Linn, 1988; Rojas-Bourrillon y Campos-Granados, 2017).

Por otro lado, cuando el pH ruminal desciende, se puede producir una alteración al proceso de biohidrogenación ruminal, que origina la formación de un compuesto trans-10-cis-12 C18:2 ALC. Por lo que, al estar disponible en la glándula mamaria, causa la depresión de la síntesis de grasa en leche porque este compuesto afecta la actividad enzimática lipogénica de las células de la glándula mamaria, produciendo una depresión en la síntesis de triglicéridos; lo que también corresponde al Síndrome de Baja Grasa Láctea (Rojas-Bourrillon y Campos-Granados, 2017).

De acuerdo con lo anterior, en general los tratamientos 1 y 2, por ser dietas con menor aporte de CNF, además del aporte de la pulpa de café deshidratada como fuente de FDN no forrajera, favoreció un pH ruminal más estable en los animales de estos tratamientos.

Respecto al contenido de proteína en la leche, no se obtuvo efecto significativo por la inclusión de pulpa de café deshidratada en la dieta ($p > 0.05$), lo que puede estar relacionado con el contenido de taninos en la pulpa de café. Los niveles bajos de taninos condensados, que están unidos a la proteína, convierten una parte de esta en proteína de sobrepaso, siendo más eficiente al ser absorbida en el intestino delgado (Pedraza et al., 2012).

Si bien el presente estudio no fue diseñado para evaluar el conteo de células somáticas, la suplementación de pulpa de café no tuvo efecto sobre el conteo de estas células ni en la incidencia de mastitis. Lo cual concuerda con lo reportado por Costa et al. (2005), quienes mencionan que, en el conteo de células somáticas influyen muchos factores que determinan su valor y que podrían afectar negativamente al sistema inmunológico y aumentar la incidencia de mastitis; como, por ejemplo: estrés, genética, condiciones ambientales, manejo, entre otros. Con respecto a la concentración de NUL, la inclusión de pulpa de café en la dieta no alteró en forma significativa ($p > 0.05$) este valor.

Resultados similares reportaron Souza et al. (2006), quienes analizaron el efecto de dietas con diferentes concentraciones de pulpa de café y no obtuvieron diferencias significativas ($p > 0.05$), presentando valores medios de 16,70 mg/dL en vacas lecheras con una producción media de 23,4 kg. No obstante, este autor encontró que el análisis de regresión sugirió un efecto lineal ($p < 0.05$) de los niveles de pulpa de café sobre la concentración de NUL (en mg/dL), estimándose un aumento de 0,035. Autores como Oliveira et al. (2007) indicaron un comportamiento similar, lineal creciente, para los valores de NUL expresados en mg/dL con la inclusión de niveles crecientes de compuestos nitrogenados (de 2,2 a 8,09%) en las dietas.

La concentración de NUL se puede utilizar como herramienta de manejo para el monitoreo del estado nutricional de vacas lecheras. En este sentido, se han establecido valores estándares para la identificación de las condiciones de manejo nutricional. Investigadores como Souza et al. (2006) afirman que la concentración de NUL debe variar de 10 a 16 mg/dL, dependiendo del nivel de producción, y que valores por encima del máximo pueden ser indicativos de consumo

excesivo de nitrógeno o de exceso de proteína degradable en el rumen. Si se consideran estas proposiciones, se puede inferir que los valores de NUL obtenidos con las dietas utilizadas en este experimento fueron inferiores a los estándares considerados como ideales.

Según Blandon et al. (2012), en términos generales, el requerimiento de proteína cruda en la dieta de una vaca en lactancia es de alrededor de 16 a 18%; además, el requerimiento de proteína degradable es de 10,5 a 11,9%. Las dietas para los tratamientos en este ensayo presentaron en promedio 12% de proteína cruda y 9,64% de proteína degradable. Por lo tanto, los valores bajos de NUL presentes en los tres tratamientos se pueden deber al bajo aporte de estas proteínas en la ración, ya que no se cumple con el requerimiento de los animales.

Los bajos niveles de NUL obtenidos en los 3 tratamientos de este experimento también se pueden atribuir a factores raciales y niveles bajos de producción de leche. En otro estudio, Gonzales y WingChing (2016) encontraron un efecto significativo ($p < 0.05$) en los niveles de NUL debido a la raza, donde los animales Jersey obtuvieron mayor concentración con un NUL promedio de 18,55 mg/dl, por encima de los Holstein y los cruces, los cuales presentaron concentraciones de 2,49 mg/dl y 3,82 mg/dl menos, respectivamente. Por otro lado, determinaron que, a medida que aumenta la producción de leche, las concentraciones de NUL aumentan de forma lineal por mayor ingesta y excreción de nitrógeno. Por lo tanto, las bajas producciones de leche en el presente ensayo generaron menores valores de NUL.

Condición corporal

No se detectó ningún efecto significativo ($p > 0.05$) sobre la condición corporal producto de la suplementación con pulpa de café deshidratada, siendo los promedios de esta muy similares entre sí (2,5 para Control; 2,75 para T1; 2,75 para T2).

A pesar de que no se encontró diferencia significativa por el consumo de la pulpa de café deshidratada, algunos autores sugieren que la ingesta de cafeína, presente en la pulpa, podría afectar el comportamiento y el peso del animal, ya que tiene la capacidad de acelerar

el metabolismo y disminuir la ganancia de peso y la eficiencia de conversión, además de un incremento en la sed del animal y un aumento en la excreción urinaria (Elías, 1978; Blandon et al., 2012). En este estudio no se analizó el contenido de cafeína de la pulpa de café deshidratada. Sin embargo, la administración de 8 mg de cafeína por kg de peso vivo (PV), en un ensayo realizado por Degraeves (1995), reportó que no genera ninguna alteración en el animal. Bajo esta consideración y el supuesto que el contenido medio de cafeína en la pulpa de café es de alrededor de 0,84% de la MS (Bressani, 1978a; Vargas et al., 1977; Barcelos et al., 2002), y utilizando este valor para la pulpa de café utilizada en este experimento, la ingesta diaria mayor fue para el Tratamiento 2, con un valor estimado de consumo de cafeína de 15,37 mg/kg PV en animales con un peso promedio de 450 kg.

Costos de la dieta

De acuerdo con el análisis económico de las dietas, la que obtuvo el menor costo fue la del Tratamiento 2 con ₡1392 por animal por día, debido a la reducción de 1 kg MF de concentrado (Cuadro 8). El costo de la dieta se redujo en un 3,4% con la inclusión de pulpa de café deshidratado, logrando un mismo rendimiento en la producción y calidad de la leche.

En un estudio de Pedraza et al. (2012), obtuvieron una reducción del 20% en el costo del concentrado con la inclusión de la pulpa de café (1,2 kg MS/vaca/día). Las cantidades de pulpa de café fueron similares a las ofrecidas en la presente investigación.

Por otro lado, Rocha et al. (2006) realizaron un estudio del consumo y digestibilidad de la pulpa de café con niveles de 0; 12,5; 25,0 y 37,5% de la MS de la ración total en vacas en lactancia, con consumos diarios de 18,89 kg MS, y no se encontró diferencias significativas en la producción ni composición de la leche. Sin embargo, la eficiencia de alimentación (ingreso bruto de la leche - costos de alimentación) por vaca y por litro de leche aumentó de forma lineal, reemplazando parcialmente el maíz con cáscara de café. Por lo que se puede inferir que la pulpa de café consigue reemplazar hasta el 15% del maíz en la dieta sin efectos perjudiciales sobre la producción.

Cuadro 8. Costos promedio de las dietas evaluadas en el experimento.

Ingredientes	Costo/kg *MF	Control		Tratamiento 1		Tratamiento 2	
		MF (kg/d)	Costos	MF (kg/d)	Costos	MF (kg/d)	Costos
Kikuyo	₡5,00	15,00	₡75,00	15,00	₡75,00	15,00	₡75,00
Pasta de banano	₡5,00	8,00	₡40,00	8,00	₡40,00	8,00	₡40,00
Cáscara de banano	₡5,00	9,00	₡45,00	8,00	₡40,00	9,00	₡45,00
King grass	₡7,00	8,30	₡58,10	8,30	₡58,10	8,30	₡58,10
Estrella africana	₡5,00	2,00	₡10,00	2,00	₡10,00	2,00	₡10,00
Pulpa café	₡86,96	-	-	1,00	₡86,96	2,00	₡173,91
Alimento balanceado	₡220,00	5,50	₡1.210,00	5,50	₡1.210,00	4,50	₡990,00
Total		47,80	₡1.438,10	47,30	₡1.520,06	48,80	₡1.392,01

*MF: materia fresca.

Tipo de cambio del dólar reportado por el BCCR: \$1 = ₡571.

El elevado precio de los alimentos concentrados (maíz y harina de soya) comúnmente utilizados en la alimentación animal fueron los principales responsables de los altos costos de las dietas. En este sentido, la evaluación de alimentos alternativos, como los residuos de la agroindustria en la dieta de vacas lactantes, puede contribuir a reducir los gastos de alimentación de los sistemas productivos y, al mismo tiempo, garantiza niveles satisfactorios de productividad (Campos-Granados y Arce-Vega, 2016).

CONSIDERACIONES FINALES

La capacidad de los rumiantes para digerir alimentos ricos en fibra hace que estos animales sean capaces de consumir dietas formuladas con fuentes de fibra no forrajeras. El uso de los subproductos de la caficultura, como la pulpa de café, tiene un enorme potencial para la alimentación del ganado en las regiones de clima tropical del mundo, ya que se produce en grandes cantidades.

Como se demostró en el presente estudio, en dosis moderadas (2 kg MF/vaca/día) puede mantener el desempeño habitual, reducir costos de alimentación y ser una forma sustentable de disponer la pulpa de café deshidratada, reduciendo la contaminación que esta genera. Asimismo, este consumo máximo evaluado no afectó la palatabilidad de la dieta, por lo que se debe considerar el mismo para futuras investigaciones como punto de partida; además de siempre incorporar gradualmente un ingrediente como este en las dietas, para permitir a los microorganismos del rumen la adaptación necesaria.

Para futuras investigaciones se recomienda evaluar el contenido de cafeína, polifenoles y taninos y sus posibles efectos en el desempeño productivo de animales lecheros.

AGRADECIMIENTOS

Los investigadores agradecen a los hermanos Leiva, propietarios de la finca La Florida, así como al personal de la finca por el apoyo y aportes brindados durante la realización de esta investigación. Asimismo, reconocen todo el soporte dado por la empresa Coopetarrazú y el señor Jimmy Porras Barrantes. Finalmente, valoran al personal de los laboratorios de la Cooperativa Dos Pinos y del Centro de Investigación en Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica por la ayuda en la realización de los análisis de laboratorio.

LITERATURA CITADA

- Alfaro, M. y J. Rodríguez. 1994. Impacto ambiental del procesamiento del café en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 18 (2): 217-225.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1998. *Official methods of analysis of AOAC International*. 16th ed, 4th rev. Gaithersburg, MD: AOAC International, USA.
- Barcelos, A.F., I.F. Andrade, I.M.E.V. Tiesenhausen, J.J. Ferreira, R.S. Sette, R. Amaral y P.S.A. Paiva. 1996. Aproveitamento da casca de café na alimentação de vacas em lactação.

- Proceedings of the 33 Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia, Fortaleza 1996. Anais Fortaleza: SBZ 128–129.
- Barcelos, A.F, P. Paiva, J. Pérez, V. Santos y R. Cardoso. 2002. Composição química da casca e polpa desidratada de café (*Coffea arabica* L.) armazenadas em diferentes períodos. Vol II p.636-639. En II Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil. Embrapa Café, Brasília, DF.
- Blandon, M., S. Blandon y K. Torres. 2012. Validación de ensilaje elaborado a partir de pulpa de café como una alternativa de alimentación de ganado lechero en dos etapas de experimentación. Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario y Forestal de Nicaragua. 147 p.
- Bressani, R. 1978a. Subproductos del fruto de café. En J. Braham y R. Bressani (eds.). Pulpa de Café. Composición, Tecnología y Utilización. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, Ciudad de Guatemala, Guatemala. pp 9-18.
- Bressani, R. 1978b. Factores antifisiológicos en la pulpa de café. En J. Braham y R. Bressani (eds.). Pulpa de Café. Composición, Tecnología y Utilización. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, Ciudad de Guatemala, Guatemala. pp 143-155.
- Cabezas, M., A. Flores y J. Egaña. 1978. Uso de la pulpa de café en alimentación de rumiantes. En Braham J. y R. Bressani (eds.). Pulpa de Café. Composición, Tecnología y Utilización. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, Ciudad de Guatemala, Guatemala. pp. 45-67.
- Campos-Granados, C. y J. Arce-Vega. 2016. Sustitutos de maíz utilizados en la alimentación animal en Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*, 10 (2): 91-113. doi: 10.15517/NAT.V10I2.27327.
- Costa, T., P. Neves, M. Tavares y M. Chaves. 2005. Performance of Holstein–Zebu cows under partial replacement of corn by coffee hulls. *Scientia Agricola*, 62 (2): 95–101. doi: 10.1590/S0103-90162005000200001.
- Degraves, F.J., D.C. Ruffin, S.H. Duran, J.S. Spano, E.M. Whatley, J. Schumacher y M.G. Riddell. 1995. Pharmacokinetics of caffeine in lactating dairy cows. *American Journal of Veterinary Research*, 56: 619-622.

- Elías, L. 1978. Composición química de la pulpa de café y otros subproductos. En Braham J. y R. Bressani (eds.). Pulpa de Café. Composición, Tecnología y Utilización. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, Ciudad de Guatemala, Guatemala. pp. 19-29.
- Ferguson, J.D., D.T. Galligan y N. Thomsen. 1994. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 77 (9): 2695-2703. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(94)77212-X.
- Firkins, J. L. 1997. Effects of feeding nonforage fiber sources on site of fiber digestion. *Journal of Dairy Science*, 80:1426-1437. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76072-7.
- Gaines, W.L. 1928. The energy basis for measuring milk yield in dairy cows. Illinois Agricultural Experimental Station Bulletin 308. University of Illinois Agricultural Experiment Station, Urbana. 40pp.
- Gonzales, J.P. y R. Wingching. 2016. Relación del valor de urea en leche con parámetros reproductivos y productivos en vacas Holstein, Jersey y sus cruces. Cuadernos de Investigación UNED, 8 (2): 175-183. ISSN: 1659-4266.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2021. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 103 p.
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). 2019. Zonificación Agroecológica para la región de Los Santos. Memoria Técnica. Proyecto "Desarrollo de capacidades en técnicos y productores de la Región Central de Costa Rica en la implementación de una herramienta práctica para la zonificación agroecológica y escenarios para la adaptación al cambio climático". 100pp. ISBN 978-9968-586-36-8.
- Linn, J.G. 1988. Designing foods: Animal product options in the marketplace. Washington (DC): National Academies Press (US); 1988. Factors Affecting the Composition of Milk from Dairy Cows. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK218193/>
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient Requirements of dairy cattle. 7 ed. National Academy Press, Washington DC., USA.

- Oliveira, A., A. Souza, V. Campos, A. Assis, T. Araújo, R. Navajas, P. dos Santos y G. Oliveira. 2007. Substituição do milho pela casca de café ou de soja em dietas para vacas leiteiras: comportamento ingestivo, concentração de nitrogênio uréico no plasma e no leite, balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36 (1): 205–215. doi: 10.1590/S1516-35982007000100025.
- Pedraza, P., J. Estrada, A. Martínez, I. Estrada, A. Rayas, G. Yong, M. Figueroa, F. Avilés y O. Castelán. 2012. On-farm evaluation of the effect of coffee pulp supplementation on milk yield and dry matter intake of dairy cows grazing tropical grasses in central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 44:329–336. doi: 10.1007/s11250-011-0025-9.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>.
- Ranathunga, S., K. Kalscheur, A. Hippen y D. Schingoethe. 2008. Replacement of starch from corn with non-forage fiber from distillers grains in diets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93: 1086–1097. doi: 10.3168/jds.2009-2332.
- Rocha, F.C, R. Garcia, A.W.P. Freitas, A. Souza, S. Valadares-Filho, O. Gomes, S. Sampaio, R. Gonçalves y G. Rocha. 2006. Casca de café em dietas para vacas em lactação: consumo, digestibilidade, produção e composição de leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35 (5):2154-2162. doi: 10.1590/S1516-35982006000700037.
- Rojas-Bourrillon, A. y C. Campos-Granados. 2017. Problemas de sólidos lácteos en la producción lechera debido al Síndrome de baja Grasa Láctea. *Revista UTN Informa*, 80: 8-12.
- Sniffen, C.J, J.D. O'Connor, P.J. van Soest y J.B. Russell. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, 70: 3562–3577. doi: 10.2527/1992.70113562x.
- Souza, A., R. Garcia, S. Valadares, M.L. Pereira, L. Silva y S. Valadares. 2006. Casca de café em dietas para vacas em lactação: balanço de compostos nitrogenados e síntese de

- proteína microbiana. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35 (4): 1860-1865. doi: 10.1590/S1516-35982006000600038.
- Souza, A., R. Garcia, S. Valadares, F. Rocha, J. Souza, L. Silva y K. Gobbi. 2005. Casca de café em dietas de vacas em lactação: Consumo, digestibilidade e produção de leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34 (6): 2496-2504. doi: 10.1590/S1516-35982006000700037.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2005. USDA Somatic Cell Score Evaluation. Animal Improvement Programs Laboratory USDA, Agricultural Research Service. Maryland, USA.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson y B.A. Lewis. 1991. Method for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74: 3583-3597. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.
- Vargas, E., M.T. Cabezas y R. Bressani. 1977. Pulpa de café en la alimentación de rumiantes. II. Absorción y retención de nitrógeno en novillos alimentados con concentrados elaborados con pulpa de café deshidratada. *Agronomía Costarricense*, 1 (2): 101-106.
- Vásquez, R. 1997. El manejo de efluentes en el beneficiado del café en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 21 (1): 69-76.
- Zebeli, Q., J.R. Aschenbach, M. Tafaj, J. Boguhn, B.N. Ametaj y W. Drochner. 2012. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 95 (3): 1041-1056. doi: 10.3168/jds.2011-4421.