



PRODUCTIVIDAD Y ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE METANO EN VACAS DE LECHE EN PASTOREO SUPLEMENTADAS CON PAPA (*Solanum tuberosum*)

THE PRODUCTIVITY AND METHANE EMISSION ESTIMATION IN DAIRY COWS ON PASTURE SUPPLEMENTED WITH POTATO (*Solanum tuberosum*)

Duván Sanabria Bautista ¹

Román Maza Ortega ²

Juan Leonardo Cardona Iglesias ³

Viviana Lucia Cuarán ⁴

¹ Zoot, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.
duvan.sanabria@unipamplona.edu.co

² MVZ., Ph.D. en Zootecnia, Universidad de Pamplona, Colombia.
roman.maza@unipamplona.edu.co

³ Zoot., MSc., Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, Centro de Investigación La Suiza, Rionegro, Santander, Colombia.
jlcardona@agrosavia.co

⁴ Ing. Agrónoma, MSc., Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, Centro de Investigación La Suiza, Rionegro, Santander, Colombia.
vcuaran@agrosavia.co

Citación: Sanabria, D., Maza, R., Cardona, J. y Cuarán, V. (2024). Productividad y estimación de la emisión de metano en vacas de leche en pastoreo suplementadas con papa (*Solanum tuberosum*). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 211-227
<https://doi.org/10.22490/21456453.6627>

RESUMEN

Contextualización: los sistemas de alimentación bovina deben enfocarse en propiciar el aumento de la productividad, generando la menor huella ambiental posible en los ecosistemas. Dentro de los sistemas ganaderos de trópico alto del departamento de Santander, Colombia, el uso de papa (*Solanum tuberosum*) de rechazo en la alimentación animal, podría ser una ruta de valorización sostenible de este producto.

Vacío de conocimiento: algunos estudios sobre la producción de leche bovina han demostrado efectos positivos de la suplementación con papa. Sin embargo, son escasos los estudios sobre el efecto de la suplementación con papa de desecho en la producción y composición de leche, así como su efecto sobre la producción de metano (CH_4) en vacas de leche.

Propósito: evaluar el efecto de la suplementación con papa variedad Única, sobre la producción y composición de la leche, y estimación de la producción de CH_4 de vacas de leche en pastoreo.

Metodología: fueron utilizadas 12 vacas Normando con peso corporal inicial promedio de 460 kg. Se empleó un diseño completamente al azar con dos trata-

mientos y seis repeticiones: control (sin suplementación) y suplementado (suplementación con 6 kg de papa por animal/día), esta cantidad se asumió teniendo en cuenta que garantizara un 20% de NDT y un 7% de proteína bruta. Los procedimientos estadísticos se realizaron utilizando el procedimiento GLM de SAS; la significancia estadística se consideró cuando $p \leq 0,05$.

Resultados y conclusiones: la suplementación con 6 kg de papa incrementó la producción de leche (PL kg/día) y PLCG4% ($p < 0,05$) de los animales, no obstante, la suplementación no afectó ($p > 0,10$) la concentración de grasa, proteína, sólidos totales y MUN de la leche. Finalmente, la producción de CH_4 en g/kg de leche fue disminuida ($p < 0,05$) con la suplementación con papa. Concluyendo que, la suplementación con 6 kg de papa mejora la producción de leche, sin embargo, no afecta composición de la leche de las vacas en pastoreo. La suplementación con papa reduce la producción de CH_4 en g/kg de leche producida por los animales.

Palabras clave: emisión de metano, forraje tropical, papa de desecho, vacas Normando

ABSTRACT

Contextualization: Cattle feeding systems should focus on increasing productivity, generating the smallest possible environmental footprint on ecosystems. In the high tropic livestock systems of the department of Santander, Colombia, the use of rejected potatoes (*Solanum tuberosum*) in animal feed could be a route for the sustainable valorization of this product.

Knowledge gap: Some studies have shown the positive effects of potato supplementation on cow milk production. However, studies on the effect of supplementation with waste potato on milk production and composition are scarce, as well as its effect on methane (CH₄) production in dairy cows.

Purpose: To evaluate the effect of supplementation with Unica potato variety on milk production, milk composition, and estimated CH₄ production by dairy cows on pasture.

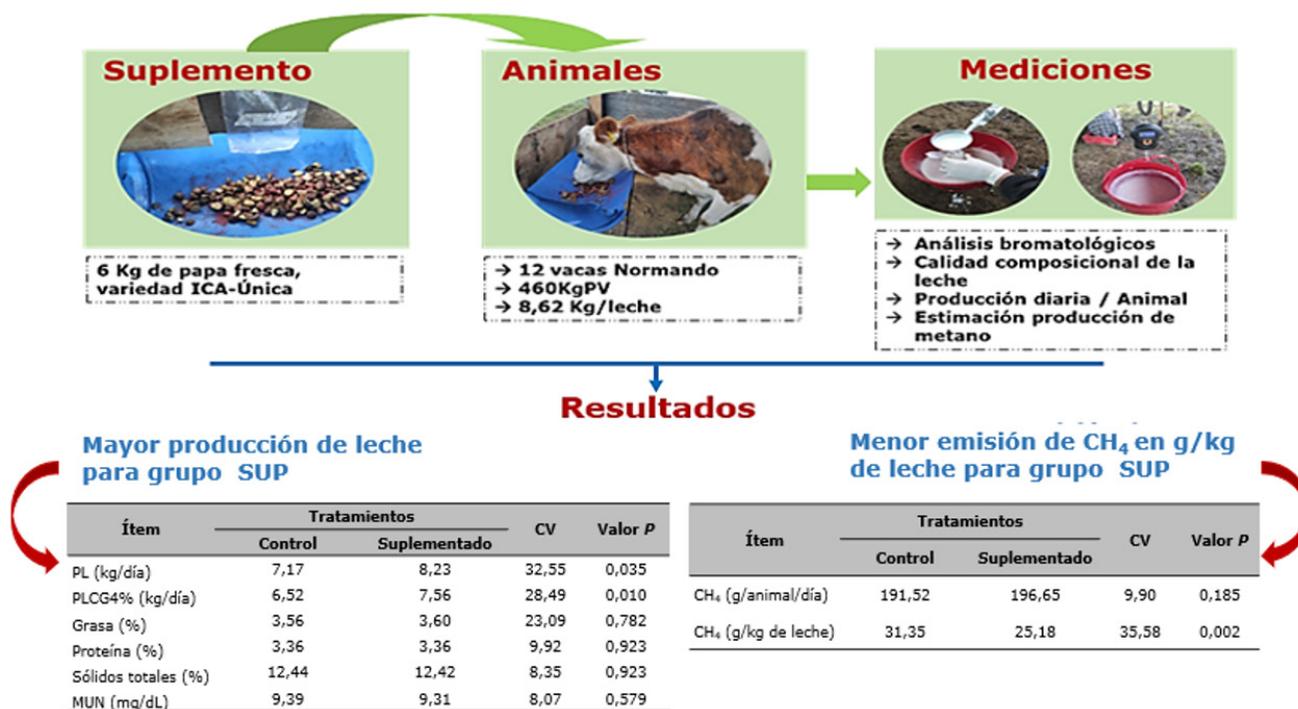
Methodology: 12 Normande cows with an average initial body weight of 460kg were used. A completely randomized design with two treatments and six replicates was used: Control (no supple-

mentation) and supplemented (supplementation with 6kg of potato per animal/day); this amount was established considering it to guarantee 20% TDN and 7% crude protein. Statistical procedures were performed using the GLM procedure of SAS. Statistical significance was considered when $p \leq 0.05$.

Results and conclusions: Supplementation with 6kg of potato increased milk production (PL for its Spanish acronym) (PL kg/day) and PLCG (for its Spanish acronym meaning general milk production) 4% ($p < 0.05$) of the animals. However, supplementation did not affect ($p > 0.10$) the milk fat, protein, total solids, and MUN concentration. Finally, the production of CH₄ in g/kg of milk decreased ($p < 0.05$) by supplementation with potato. In conclusion, supplementation with 6kg of potato improves milk production. Furthermore, it does not affect the milk composition of cows on pasture. The supplementation with potato reduces the CH₄ production in g/kg of milk produced by the animals.

Keywords: methane emission, tropical forage, waste potato, Normande cows

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

En el trópico alto colombiano, dos de las principales actividades económicas son el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en asocio con la ganadería de leche, de las cuales dependen muchos pequeños productores agropecuarios y sus familias (Moyano, 2014); sin embargo, factores como la fluctuación de los precios en el mercado, el tamaño del tubérculo o daños físicos que puedan sufrir a la hora de cosechar, ocasionan grandes pérdidas (alrededor del 14%) del tubérculo, lo que

genera grandes cantidades de “papa de desecho”. A este remanente de la cosecha no se le suele dar un manejo adecuado, lo que ocasiona problemáticas ambientales en los ecosistemas (Moyano, 2014).

Por otro lado, los sistemas productivos de lechería del trópico alto basan la alimentación del ganado en monocultivos de gramíneas con inadecuados manejos agronómicos y del pastoreo (Benavides *et al.*, 2021; Cardona *et al.*, 2021); sumado a lo anterior, los efectos de la estacionalidad forrajera

derivada de los elementos climáticos, limitan la capacidad de rebrote, crecimiento y vigor de los forrajes, ocasionando una disminución de la calidad o producción de biomasa consumible por los animales. (Sánchez *et al.*, 2013; Castro *et al.*, 2020).

De acuerdo con lo anterior, es común encontrar desequilibrios nutricionales en los animales, lo que conlleva a una ineficiencia productiva con el consecuente aumento en la emisión de gases de efecto invernadero como el metano (CH_4) (Tigmasa, 2022). Además de la contaminación al medio ambiente, el CH_4 genera una pérdida energética en el ganado, hasta del 18% de la energía digerible consumida (Sandoval *et al.*, 2020). Una de las alternativas para disminuir la intensidad del CH_4 (producción de CH_4 por kilogramo de producto) está relacionada con una mayor producción de leche (Cardona *et al.*, 2019).

En ese sentido, es importante la búsqueda de estrategias de suplementación con recursos alimenticios disponibles localmente, que contribuyan al balance nutricional de la dieta de los animales y, consecuentemente, a mejorar la eficiencia productiva.

Moyano (2014), sugiere que la papa de desecho puede ser una alternativa económica interesante al poseer un alto porcentaje de almidón (60-80%), contribuyendo al estatus energético en la dieta, lo cual permite hacer frente a la carencia de energía que generalmente presentan los forrajes del trópico alto.

Así, el objetivo de estudio fue evaluar el efecto de la suplementación con papa (*Solanum tuberosum*) variedad Única, sobre la producción y composición de la leche, además de la emisión de CH_4 de vacas de leche en pastoreo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y clima

El experimento fue desarrollado en la finca Pozo grande, municipio de Cerreto, Santander, Colombia, a una latitud N $6^{\circ}51'45.7902''$ y longitud W $72^{\circ}39'14.706''$, altura 3.275 msnm, temperatura media de $11,10^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa del 85,30 %.

Animales, diseño experimental y tratamientos

Para este estudio se utilizaron 12 vacas lactantes de raza Normando, multíparas

segundo tercio de lactancia, con peso corporal (PC) promedio de 460 Kg, en óptimas condiciones sanitarias, con una condición corporal media de 3,5 (escala 1-5, donde 1 refiere a flaca, y 5 a obesa) (Frasinelli *et al.*, 2004).

Los animales fueron distribuidos bajo un diseño completamente al azar en dos tratamientos y seis repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron: control (sin suplementación) y suplementado (suplementación con 6 Kg/animal/día de papa variedad Única). Esta cantidad tenía

como objetivo satisfacer aproximadamente un 20% de exigencias de nutrientes digestibles totales (NDT), y un 7 % de las exigencias de proteína bruta (PB) para una vaca de 460 kg de peso corporal (PC), además de 8,62 kg/día de producción de leche (NCR, 2001).

Manejo animal

El experimento tuvo una duración de 30 días, dividido en dos períodos de 15 días. En cada período los animales fueron sometidos a 10 días de adaptación a la dieta y área experimental. El suministro de la papa fue de forma gradual hasta llegar a la cantidad deseada. Los animales pastorearon en potreros con 90 días de descanso, establecidos con Falsa Poa (*Holcus lanatus*) en un 60%, Ryegrass (*Lolium perenne*) en un 30%, y Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en un 10%. Fue manejada una franja diaria de pastoreo, la cual se asignó en un solo momento del día (8:00 am) después del ordeño de la mañana, empleando una cinta eléctrica para delimitar el área de pastoreo. Durante la experimentación los animales tuvieron acceso a agua fresca a voluntad y se les suministró 180 g/día/animal de sal mineralizada.

La papa suministrada a los animales fue previamente sometida a: a) Selección (retirar del costal papas en mal estado); b) lavado; c) oreo; y d) picado. Posteriormente, fue ofrecida a los animales durante el ordeño de la mañana (6:00 am) en comederos individuales. El consumo de la papa se determinó por la diferencia entre lo ofertado y lo rechazado.

Procedimiento experimental y muestreo

La composición química de los forrajes se evaluó mediante muestras recolectadas en los días 1, 3 y 4 de cada período experimental, empleando el método de corte manual (Hand plucking) (Detmann *et al.*, 2016). Al final de cada período experimental se tomó una muestra compuesta de 500 g/forraje para posteriores análisis de laboratorio; para estimar la composición química de la papa en base húmeda, se tomaron muestras al azar de los bultos de papa, obteniendo una muestra compuesta; las muestras de forraje y papa fueron enviadas al laboratorio de Nutrición Animal del Centro de Investigación (C.I) Turipaná de AGROSAVIA en Montería, Córdoba, para sus respectivos análisis.

La producción de leche de cada animal se registró, durante los 24 días del período experimental, por medio de pesaje manual con la ayuda de un balde plástico y una balanza digital. Durante los últimos cinco días de cada período experimental se obtuvieron muestras individuales de leche (GA-G-18, guía de toma de muestra de leche cruda-AGROSAVIA), las cuales fueron conservadas con bronopol y refrigeradas a 4°C para su posterior análisis. Las muestras de leche fueron analizadas en el laboratorio de leche del Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA (Mosquera, Cundinamarca).

Procedimientos analíticos

Las muestras de forraje (secadas en estufa de ventilación forzada a 65°C durante 72 h, y molidas en un molino estacionario con una malla de 1,0 mm) se analizaron mediante la técnica de espectroscopia de reflectancia en infrarrojo cercano; NIRS DS 2500-FOSS Analytical A/S-Dinamarca (Ariza *et al.*, 2017) para la determinación de la composición química.

Las muestras de papa en base húmeda se analizaron mediante técnicas analíticas de la Association of Official Analytical Chemist (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. 21 st 2019); proteína bruta (AOAC 960.52-2008 ed. 21 st 2019); Fibra bruta (ISO 6865:2000-NTC 5122:2002); Lignina As (ISO 13906:2009); Digestibilidad *in situ* de la MS (Método de Orskov, 1979); y Almidón (AOAC 996.11-2005 21 th 2019).

La producción de leche, corregida para el 4 % de grasa, fue calculada de acuerdo con la ecuación descrita por el NRC (2001):

$$PLCG4\% \text{ (kg)} = 0.4 \times (\text{producción de leche}) + [15 \times (\text{grasa en la leche}/100) \times \text{producción de leche}]$$

En las muestras de leche se estimó el contenido de 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), con un equipo FOSS Milkoscan TM 7RM, FOSS Analytical A/S, Dinamarca.

Finalmente, para estimar la producción de CH₄ en los animales, se utilizaron modelos matemáticos, referenciados en la literatura propuesta por Cardona *et al.* (2019). Los modelos utilizados tuvieron en cuenta variables como: el consumo de materia seca (CMS), proporción de forraje y suplemento consumido, Peso Vivo, Producción de Leche y factores de emisión (Ecuación 1 y 2).

Modelos matemáticos utilizados en la estimación de emisión de metano:

$$CH_4(g/d) = 10 + 4,9 * \text{producción de leche (L/d)} + 1,5 * PV^{0,75}$$

Dónde: Producción Leche: producción media litros leche/día/animal: PV: peso vivo elevado a la 0,75 (peso metabólico) (Kirchgeßner *et al.*, 1995)

$$CH_4(g/d) = \frac{[8,56 + 0,14 * \text{forraje (\%)}]}{0,05565}$$

Dónde: Porcentaje forraje: % forraje consumido en la ración total. 0,05565 MJ, corresponde a la cantidad de energía de cada g de CH₄ emitido (Ellis *et al.*, 2007).

Se estimaron los gramos de CH₄ producidos por animal/día, y los gramos de CH₄ por cada litro de leche producido, según la metodología propuesta por Cardona *et al.* (2019).

Análisis estadístico

Los procedimientos estadísticos se realizaron utilizando el procedimiento GLM de SAS 9.4 (SAS Institute Inc., NC, EEUU.). La producción y composición de la leche, y estimación de la producción de CH₄ fueron sometidos a ANOVA, utilizando la prueba *t* de Student. El efecto de tratamiento sobre todas las variables evaluadas fue realizado

de acuerdo con el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}, \text{ donde:}$$

Y_{ij} = observaciones del individuo j en el tratamiento i ; μ = media general; T_i = efecto fijo de tratamiento; ϵ_{ij} = error aleatorio, no observable, asociado a cada j observación en el tratamiento i , asumido como normal e independientemente distribuido. La normalidad de los datos fue evaluada utilizando la prueba de Shapiro Wilks y la homocedasticidad a través de la prueba de Lavene. La significancia estadística se consideró en $p \leq 0,05$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En promedio, el forraje consumido por los animales durante el periodo experimental fue de calidad media (13,23% de PB en la MS y 60,67% de FDN en la MS) (NASEM, 2016). Adicionalmente, el valor de PB es superior al 7 a 8% sugerido por Sampaio *et al.* (2009) como mínimo necesario para que los microorganismos ruminales presenten una adecuada degradación de los carbohidratos fibrosos del forraje.

La composición nutricional de papa utilizada en este estudio, en términos de PB, FDN, FDA, presentó concentraciones de 8,0, 7,3 y 5,0%, respectivamente (Tabla 1). Valores próximos fueron reportados por Posada *et al.* (2014), 9,5% para la PB, y FDN 5,2%; y Betancourt *et al.* (2012) en papa de desperdicio (PB: 9,10%; FDN: 3,5;

FDA: 7,56%). Según Blas *et al.* (2019), la papa es un interesante recurso para ser utilizado en alimentación animal debido a su aceptable valor de PB, que incluso supera a otros recursos energéticos como la yuca (4,5%) e incluso el maíz (7,7%); además de su buena concentración de almidón, que supera el 60%. Estos resultados están en concordancia a los observados en este estudio, donde la papa consumida por los animales presentó un contenido de almidón de 66,4%. Resultados que difieren a los reportados por Fernández (2021), quien encontró en el cultivar ICA-Única un valor de almidón del 74%. Sin embargo, Ospina (2012) reportó para la papa Parda Pastusa y Puracé concentraciones de almidón de 16,5% y 15,3%, muy por debajo a los reportados en este trabajo. La variación en las concentracio-

nes de almidón entre estudios puede estar relacionado a las variedades utilizadas. Al respecto, Ospina (2012) notificó

que la concentración de este componente nutricional depende en gran medida del material genético utilizado.

Tabla 1. Composición química de *Solanum Tuberosum*, variedad ICA-Única

Ítem ¹	Papa	<i>H. lanatus</i>	<i>L. perenne</i>	<i>C. clandestinus</i>
MS (% en la MS)	18,20	25,80	26,00	20,40
PB (% en la MS)	8,00	11,00	13,00	15,70
FDN (% en la MS)	7,30	62,00	59,00	61,00
FDA (% en la MS)	5,00	31,50	29,00	29,50
Lignina (% en la MS)	1,41	7,00	6,80	7,10
Hemicelulosa (% en la MS)	2,10	30,42	30,24	31,20
Celulosa (% en la MS)	3,79	24,55	22,13	22,00
Almidón (% en la MS)	66,40	7,30	7,00	5,00
Dig MS (%)	56,00	58,40	62,00	61,00
ENL (Mcal/kgMS)	1,25	1,15	1,30	1,20
NDT (%)	82,00	53,20	57,50	56,00
CNF (% en la MS) ²	79,58	18,05	19,15	13,04
EE (% en la MS)	0,32	2,45	2,42	2,16
Cenizas (% en la MS)	4,80	6,50	6,43	8,10
Ca (% en la MS)	0,06	0,25	0,33	0,35
P (% en la MS)	0,16	0,21	0,18	0,16
Solanina (mg/kg/MS)	<5,00	-	-	-

¹MS: materia seca; PC: proteína bruta; FDN: fibra detergente neutra; FDA: fibra detergente acida; Dig MS: Digestibilidad in situ de la materia seca; ENL: Energía Neta de Lactancia; NDT: nutrientes digestibles totales; CNF: carbohidratos no Fibrosos; EE: extracto etéreo; Ca: calcio; P: fosforo. ² CNF = 100 - (PB + FDN + EE + Cz). **Fuente:** Centro de Investigación (C.I) Turipaná en Montería-Córdoba.

Estas variaciones en la calidad nutricional del tubérculo, en estudio con respecto a autores antes citados, puede ser justificada

por el tiempo que llevaba almacenado (alrededor de 35 días), así como el inadecuado manejo poscosecha en la unidad

experimental, ya que como lo menciona Crisci (1992), se deben garantizar las condiciones de almacenamiento y manejo poscosecha para limitar las pérdidas que se dan de forma natural, debido a que la papa después de ser cosechada, moviliza sus reservas energéticas para continuar con su ciclo de vida, conllevando a cam-

bios en su composición química y, consecuentemente, en la calidad nutricional.

En este estudio se evidenció un aumento ($p < 0,05$) de la producción de leche (PL Kg/día) y producción de leche corregida para el 4% de grasa (PLCG4%) de los animales con la suplementación con papa (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto de la suplementación con papa variedad ICA-Única sobre la producción y calidad composicional de la leche en vacas de leche en pastoreo

Ítem	Tratamientos		CV	Valor P
	Control	Suplementado		
PL (kg/día)	7,17	8,23	32,55	0,035
PLCG4% (kg/día)	6,52	7,56	28,49	0,010
Grasa (%)	3,56	3,60	23,09	0,782
Proteína (%)	3,36	3,36	9,92	0,923
Sólidos totales (%)	12,44	12,42	8,35	0,923
MUN (mg/dL)	9,39	9,31	8,07	0,579

PL: producción de leche; PLCG4%: producción leche corregida para el 4% de grasa; MUN: nitrógeno ureico en leche. **Fuente:** autores.

De acuerdo con NRC (2001), el consumo de nutrientes es uno de los principales factores que afectan el desempeño productivo de los animales, en ese sentido, el incremento de la producción de leche de los animales suplementados con papa puede estar asociado al mayor consumo de carbohidratos solubles (almidón), lo que promovió mayor producción de propionato a nivel ruminal, siendo este el principal precursor hepático de síntesis glucosa a través de la gluconeogénesis (Church 1988; Huntington *et al.* 2006). La glucosa

es el principal combustible para la producción de lactosa a nivel de la glándula mamaria, y generalmente animales con mayor síntesis de lactosa tienen mayor producción de leche, esto debido al efecto higroscópico de la lactosa (Carreón, 2022).

De la misma forma, Ruiz (2006) reportó un incremento en la cantidad de leche producida por animales que fueron suplementados con 2 kg ensilado de papa respecto a los animales que solo consumieron forraje; igualmente, García (2017) reportó un incremento de 3 kg en la pro-

ducción de leche al incluir 6 kg de papa a la dieta base en vacas lecheras; Fonseca *et al.* (2014), al incluir 20% de MS de papa entera en la dieta de vacas Holstein, obtuvieron aumento de 1,7 kg de leche/día por animal. Según Bargo *et al.* (2003) el aumento en la producción de leche se puede atribuir, al aumento de consumo de energía aportado por los carbohidratos no estructurales como el almidón; mientras que, según Gómez *et al.* (2016) no solo la cantidad de almidones sino también la digestibilidad de la papa entera, determinan la síntesis de leche.

La suplementación con papa no afectó ($p>0,10$) la concentración de grasa, proteína, sólidos totales y MUN en la leche de los animales (Tabla 2). Con estos resultados se puede inferir que a pesar que la suplementación con papa promovió un aumento de la producción de leche (Tabla 2), no causó un efecto de dilución en sus componentes. Estudios previos han demostrado que la calidad composicional de la leche es afectada por varios factores, entre ellos, factores genéticos, nutricionales y ambientales (Palmquist *et al.*, 1993). En ese sentido, la composición de la leche puede ser influenciada por la dieta suministrada a los animales; sin embargo, Wittwer (2000), reporta que los constituyentes de la leche que pueden modificarse de mayor a menor proporción son la grasa, proteína y lactosa. Adicionalmente, Sut-

ton y Morant (1989) en hallazgos previos, reportan que la fracción proteica y lactosa en la leche son más difíciles de modificar, lo que puede justificar la ausencia de diferencia en la composición de la leche de los diferentes tratamientos. Finalmente, Barragán *et al.* (2019), sugiere que la leche se considera normal en términos de composición cuando tiene una concentración de grasa y proteína superior a 3,6 y 3,08% respectivamente. En este estudio los valores de grasa y proteína en la leche fueron de 3,58 y 3,36%, siendo valores muy próximos a los sugeridos por Barragán *et al.* (2019).

Las concentraciones de MUN en la leche reflejan el contenido proteico de las dietas. De acuerdo con Borges *et al.* (2019), la concentración normal de MUN se encuentra entre 10 y 17 mg/dL. En este estudio, las concentraciones de MUN en la leche de los diferentes tratamientos fueron levemente inferiores a los sugeridos por este autor, indicando que los animales de presentaron deficiencia de PB en la dieta.

Al final, no se evidenció efecto de la suplementación con papa ($p>0,10$) sobre la emisión de CH_4 en g/animal/día por parte de los animales (Tabla 3); en contraste, se evidenció una disminución ($p<0,05$) de la producción de CH_4 en g/kg de leche, en los animales suplementados con papa en relación a los no suplementados.

Tabla 3. Efecto de la inclusión de papa variedad ICA-Única sobre la estimación de la producción de CH₄ en vacas en pastoreo

Ítem	Tratamientos		CV	Valor P
	Control	Suplementado		
CH ₄ (g/animal/día)	191,52	196,65	9,90	0,185
CH ₄ (g/kg de leche)	31,35	25,18	35,58	0,002

Fuente: autores.

Las vacas suplementadas con papa y no suplementadas presentaron en promedio 25,18 y 31,35 g de CH₄/kg de leche, respectivamente; valores superiores a los reportados por Cardona *et al.* (2019), quienes obtuvieron 11,4 g de CH₄/kg de leche para vacas manejadas en un sistema silvopastoril con *Tithonia diversifolia*, y 12,5 g de CH₄/kg de leche en un monocultivo de *Cenchrus clandestinus*; asimismo, Noguera y Posada (2017) reportaron producción de 12 g de CH₄/kg de leche en vacas Holstein, en el norte del departamento de Antioquia, Colombia. Es importante resaltar que en los trabajos citados anteriormente, la base genética fue Holstein, con producciones superiores (promedio de 26 kg de leche/animal/día) a las observadas en este estudio. En ese sentido, una mayor producción de leche tiene un efecto de dilución de la producción de CH₄/kg de leche. Según lo anterior, Dachraoui (2015), reportó que en vacas lecheras con

volúmenes de 6.500 y 3.400 kg/leche/año, la producción de CH₄ estimada fue de 25 y 41,1 g de CH₄/kg de leche, correspondientemente.

Por otro lado, Cardona *et al.* (2019) indican que animales con mayor volumen de producción láctea son más eficientes cuando la emisión de CH₄ es expresada en función de la producción de leche. En un contexto de inseguridad alimentaria y cambio climático mundial, la manipulación de la dieta es una de las estrategias más efectivas para maximizar la producción de leche y disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, entre ellos el CH₄ (Soliva y Hess, 2007). Finalmente, dietas que promuevan el balance energía-proteína a nivel ruminal, están en la vía de tener sistemas ganaderos más eficientes y amigables con el medio ambiente (Gómez *et al.*, 2016; Cardona *et al.*, 2017)

4. CONCLUSIONES

La suplementación con 6 kg/animal/día de papa, variedad ICA-Única, mejora la producción de leche de vacas Normando en pastoreo; sin embargo, no afecta la composición nutricional de la leche de los animales. Adicionalmente,

la suplementación con 6 kg/animal/día de papa no afecta la producción diaria de CH_4 expresada en g/día de vacas Normando en pastoreo, en contraste, reduce la producción de CH_4 expresado en g/kg de leche de los animales.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Duván Sanabria Bautista: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Román Maza Ortega:** análisis de datos, escritura, revisión y edición. **Juan Leonar-**

do Cardona Iglesias: adquisición de recursos, administrador del proyecto, logística, análisis de datos, escritura, revisión y edición. **Viviana Lucia Cuarán:** análisis de datos, escritura, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al proyecto “Investigación, vinculación y ampliación de la oferta tecnológica disponible para el mejoramiento productivo del cultivo de papa en los departamentos de Santander y Norte de Santander”, fi-

nanciado por el Sistema General de Regalías (SGR). De la misma manera, a la Corporación de investigación agropecuaria AGROSAVIA; y a la Universidad de Pamplona por su colaboración en el desarrollo del proyecto

LITERATURA CITADA

AOAC, International. (2015). *Official Method. 972.16 Fat, lactose, protein, and solids in milk* [20th. edición]. Rockville. AOAC International.

AOAC, International. (2005). *Métodos Oficiales de Análisis de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales*. [18th. edición]. AOAC International.

- Ariza, C., Mayorga, O., Mojica, B., Parra, D., & Afanador, G. (2017). Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia. *SAGE journals*, 2(1), 44-52. <https://doi.org/10.1177/0967033517746900>
- Barragán, WA., Mahecha, L., Angulo, J., & Olivera M. (2019). Characterization and classification of the composition and quality of milk from river buffaloes (*Bubalus bubalis*) and cows (*Bos spp.*) in Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 66(1), 43-52. <https://doi.org/10.15446/rfm-vz.v66n1.79401>
- Bargo, F., Muller, L., Kolver, E., & Delahoy, J. (2003). Production and digestion of supplemented Dairy Cows on pasture. *Journal Dairy Science*, 86(1), 1-42. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73581-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73581-4)
- Benavides, JCR., Ricardo DT., y Castillo LS. (2021). Productividad forrajera y calidad del suelo en lechería especializada bajo sistemas silvopastoriles en Trópico Alto de Colombia. *Revista Colombiana de Zootecnia*, 7(12), 14-17. <https://anzoo.org/publicaciones/index.php/anzoo/article/view/98/95>
- Betancourt, J., Cuastumal, H., Rodríguez, S., Navia, J. y Insuasty, E. (2012). Alimentación de vacas Hostein con suplemento de papa de desperdicio (*Solanum tuberosum*) y Acacia Negra (*Acacia decurrens*), y su efecto en la calidad de la leche. *Investigacion Pecuaria*, 1(2), 41-51. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/revip/article/view/399>
- Blas, C., García, P., Gorrachategui, M. y Mateos, G. (2019). *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para fabricación de piensos compuestos* [4th edición]. Fundación española para el desarrollo de la Nutrición Animal. <https://www.fundacionfedna.org/ingredientes-para-piensos>
- Cardona, J.L., Avellaneda, Y. y Castro, E. (2021). Estimación del consumo de forraje para dos biotipos bovinos lecheros en el trópico altoandino de Nariño, Colombia: Consumo materia seca bovinos. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(4), 220-228. <http://dx.doi.org/10.18271/ria2021.301>
- Cardona, J.L, Mahecha, L., & Angulo, J. (2019). Methane estimation in cows grazing silvopastoral system with *Tithonia diversifolia* and supplemented with polyunsaturated fats. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia*, 29(2),107-118.
- Cardona, L., Mahecha, L. y Angulo, J. (2017). Arbustivas forrajeras y ácidos grasos: estrategias para disminuir la producción de metano entérico en bovinos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 273-288. <http://orcid.org/0000-0001-5225-8108>
- Carreon, DPC. (2022). La bioquímica en la producción de leche. *Con-Ciencia Boletín Científico De La Escuela Preparatoria*,

- 9(18), 16-22. <https://orcid.org/0000-0001-9259-9943>
- Castro, E., Cardona, J., Valenzuela, M., Hernández, F. y Avellaneda, Y. (2020). Efecto del ensilaje de avena sobre la productividad de vacas lactantes en Nariño-Colombia. *Pastos y forrajes*, 43(2), 150-158. <https://www.redalyc.org/journal/2691/269164290009/html/>
- Church, C. (1988). *El rumiante: fisiología digestiva y nutrición*. Acribia S.A.
- Crisci, C. (1992). *Almacenamiento de papas*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807120127.pdf>
- Dachraoui, M. (2015). *Comparación de diferentes modelos de predicción de emisión de gases de efecto invernadero por vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de raigrás italiano o ensilado de haba y colza forrajera*. Universidad de Zaragoza. <https://zaguan.unizar.es/record/31631>
- Detmann, E., Paulino, M.F., Valadares Filho, S.C., & Huhtanen, P. (2014a). Nutritional aspects applied to grazing cattle in the tropics: a review based on Brazilian results. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(4), 2829-2854. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n4Suplp2829>
- Ellis, J., Kebreab, E., Odongo, N., McBride, B., & Okine, E. (2007). Prediction of methane production from dairy and beef cattle. *J. Dairy Sci*, 90(7), 3456-3466. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-675>
- Fernández, A. (2021). Empleo de papa con animales de leche y carne. *Revista Veterinaria Argentina*, 37(402), 1-5. <https://www.veterinariargentina.com/revista/2021/10/empleo-de-papa-coempleo-de-papa-con-animales-de-leche-y-carne-n-animales-de-leche-y-carne-anibal-fernandez-mayer1/>
- Fonseca, D., & Borrás, L. (2014). Evaluation effect of fresh potatoes included in a food based meal, on production and milk quality in Holstein cows. *Ciencia y Agricultura*, 11(1), 55-65. <https://doi.org/10.19053/01228420.3488>
- Frasinelli, C., Casagrande, H. y Veneciano, J. (2004). La condición corporal como herramienta de manejo en rodeos de cría bovina. *Estación Experimental Agropecuaria*, 1-17. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria_condicion_corporal/04-Inf_Tecn_168.pdf
- García, Y. (2017). *Evaluación de la suplementación con papa solanum tuberosum en la dieta sobre la producción y calidad de leche en vacas de un hato de Chocontá Cundinamarca*. Universidad de la Salle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1340&context=zootecnia>
- Gómez, L., Posada, S., & Olivera, M. (2016). Starch in ruminant diets: A review. *Revista colombiana de ciencias pecuarias*, 29(2), 77-90. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.324967>

- Huntington, G.B., Harmon, D.L., and Richards, C.J. (2006). Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. *Journal of Animal Science*, 84, (Suppl E), 14-24. <https://doi.org/10.2527/2006.8413supple14x>
- Kirchgessner, M., Windisch, W., & Muller, H. (1995). *Nutritional factors for the quantification of methane production*. In: *Ruminant physiology: digestion, metabolism, growth and reproduction. Proceedings 8th international symposium on ruminant physiology*. Delmar Publishers.
- Moyano, M. (2014). *Fermentación en estado sólido (fes) de la papa (Solanum Tuberosum), como alternativa tecnológica para la alimentación animal*. Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/2545>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. [NASEM]. (2001). *Nutrient requirements of beef cattle*. [Eighth revised edition]. The National Academies Press.
- National Research Council [NRC]. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. National Academy Press.
- Noguera, R., & Posada, S. (2017). Factor de emisión de metano entérico para vacas Holstein lactantes en la zona norte de Antioquia, Colombia. *Livestock Research for Rural Development*, 29(6), 119. <https://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd29/6/ricn29119.html>
- Ospina, R. (2012). Alternativa de aprovechamiento eficiente de residuos biodegradables: el caso del almidón residual derivado de la industrialización de la papa. *Escuela de Administración de Negocios*, 72, 182-192.
- Palmquist, D.L., Beaulieu, A.D., & Burbano, D.M. (1993). Feed and animal factors influencing milk fat composition, *Journal of Dairy Science*, 76(6), 1753-1771. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77508-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77508-6)
- Posada, S., Ramírez, J., & Rosero, R. (2014). Producción de metano y digestibilidad de mezclas Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) papa (*Solanum tuberosum*). *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 141-150. <https://doi.org/10.15517/am.v25i1.14214>
- Ruiz, J. (2006). *Evaluación de la producción y calidad de la leche en vacas Holstein de primer parto suplementadas con ensilaje de papa*. Universidad de La Salle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/view-content.cgi?article=1207&context=zootecnia#:~:text=En%20cuanto%20a%20la%20producci%C3%B3n,producci%C3%B3n%20m%C3%A1xima%20promedio%20de%20leche>
- Sampaio, C.B., Detmann, E., Lazzarini, I., Souza, M.A., Paulino, M.F., e Valadares, S.C. (2009). Rumen dynamics of neutral detergent fiber in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, 38(3),

560- 569. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000300023>.

Sánchez, L., Londoño, C., Castillo, S., Benavides, C. y Torres, D. (2013). Recuperación de suelos y renovación de praderas en sistemas de producción de leche especializada de trópico alto. *CORPOICA*.

Sandoval, A., Ramírez, M., Rodríguez, A. y Candelaria, B. (2020). Árboles y arbustos tropicales con potencial para disminuir la producción de metano en rumiantes. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*, 23(33), 1-17. <https://doi.org/10.56369/tsaes.3061>

Soliva, C., & Hess, H. (2007). *Measuring Methane Emission of Ruminants by In Vitro and In Vivo Techniques*. In: Makkar, H.P., Vercoe, P.E. (eds) *Measuring Methane Production From Ruminants*.

Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6133-2_2

Sutton, J.D., and Morant, S.V. (1989). A review of the potential of nutrition to modify milk fat and protein. *Livestock Production Science*, 23(3-4), 219-237. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(89\)90073-0](https://doi.org/10.1016/0301-6226(89)90073-0)

Tigmasa, K.P. (2022). Contribución de las emisiones de gas metano producidas por el ganado bovino al cambio climático. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, 215. <https://doi.org/10.46380/rias.v5.e215>

Wittwer, F. (2000). *Diagnóstico dos desequilíbrios metabólicos de energia. Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais*. Porto Alegre: UFRGS, 9-22.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.

