



PRODUCCIÓN DE GAS *In vitro* Y RESPUESTA PRODUCTIVA DE BECERRAS ALIMENTADAS CON UNA DIETA INTEGRAL QUE CONTIENE PASTA DE AJONJOLÍ (*Sesamun indicum*) COMO FUENTE PROTEICA †

[*In vitro* GAS PRODUCTION AND PRODUCTIVE RESPONSE OF FEMALE CALVES FEEDING AN INTEGRAL DIET CONTAINING SESAME PASTE (*Sesamun indicum*) AS A PROTEIN SOURCE]

Adán García-Balbuena, Nicolás Torres-Salado*, Jerónimo Herrera-Pérez, María de los ángeles Maldonado-Peralta, Félix de Jesús Mayren-Mendoza and Gabriel Mendoza-Medel

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia N° 2, Universidad Autónoma de Guerrero. C.P. 41940. Cuajinicuilapa, Guerrero, México. E-mails: adanchy15@gmail.com, nivigas@yahoo.com.mx, mvzjero@hotmail.com, mmaldonado@uagro.mx, mayren77_7@hotmail.com, gabrielmm75@hotmail.com.

*Corresponding author

SUMMARY

Background. Given the production conditions in the resulting dry tropics, supplementation and use of protein sources is necessary. **Objective.** The objective of this study was to evaluate *in vitro* gas production, *in vitro* fermentation characteristics, productive response, ruminal characteristics, and apparent nutrient digestibility of a whole diet with sesame paste or soybean paste in calf feed. **Methodology.** *In vitro* total gas production was measured at 3, 6, 9, 12, 24, 48 and 72 hours. In addition, Eight Simbrah calves of 229 ± 39 kg live weight (LW) were fed a whole diet containing 10% soybean paste (control) or sesame paste (experimental). The study lasted 40 days and productive variables, nutrient digestibility and ruminal characteristics were determined. The experimental design was completely randomized. **Results.** Total gas production at 3 hours was 39% higher ($p < 0.05$), in the control treatment, while at 6, 9, 12, 24, 48, 72 h and accumulated it was not different ($p > 0.05$). The dry matter intake (DMI) and the daily weight gain (DWA) did not change ($p > 0.05$) between treatments. In feed conversion (FC) the calves of the control treatment were 2.04% more efficient. Neutral detergent fiber digestibility was 3.9% higher ($p < 0.05$) in calves fed sesame paste; while the digestibility of dry matter (DDM), organic matter, (DOM), acid detergent fiber (DADF), crude protein (DCP) and ruminal characteristics did not change ($p > 0.05$) between treatments. **Implications.** The use of sesame paste as a protein source gives a favorable productive response like soybean paste. **Conclusion.** The inclusion of sesame paste in whole calf diets can replace soybean paste in the whole calf diet in the tropics.

Key words: soybean paste; sesame paste; calves; tropics; productive behavior.

RESUMEN

Antecedentes. Las condiciones de producción en el trópico seco requieren suplementación y utilización de fuentes de proteína como la pasta de ajonjolí. **Objetivo.** Evaluar la producción de gas *in vitro*, características fermentativas *in vitro*, respuesta productiva, características ruminales y digestibilidad aparente de nutrientes de una dieta integral con pasta de ajonjolí o pasta de soya como fuente proteica. **Metodología.** La producción de gas total *in vitro* se midió a las 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 h. Ocho becerras Simbrah se alimentaron con una dieta integral que contenía 10% de pasta de soya (T1) o de ajonjolí (T2) como fuente proteica. El estudio duró 40 d y se determinaron variables productivas, digestibilidad aparente de nutrientes y características ruminales. El diseño experimental fue completamente al azar. **Resultados.** La producción parcial de gas a las 3 h fue 39% mayor ($p < 0.05$) en T1, mientras que a las 6, 9, 12, 24, 48, 72 h y acumulado a 72 h no fue diferente ($p > 0.05$) entre tratamientos. El consumo de materia seca (CMS) y la ganancia diaria de peso (GDP) no se modificó ($p > 0.05$) entre tratamientos. En la conversión alimenticia (CA) las becerras de T1 fueron 2.04% más eficientes que T2. La digestibilidad de la fibra detergente neutro fue 3.9% mayor ($p < 0.05$) en las becerras alimentadas con T2; mientras que la digestibilidad de la materia seca (DMS), materia orgánica (DMO), fibra detergente ácido (DFDA), proteína cruda (DPC) y las características ruminales no se modificaron ($p > 0.05$) entre tratamientos. **Implicaciones.** La utilización de la pasta de ajonjolí o pasta de soya como fuente de proteína

† Submitted December 30, 2021 – Accepted July 7, 2022. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4155>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

en una dieta integral para becerras es similar. **Conclusión.** La inclusión de pasta de ajonjolí en dietas integrales para becerras puede sustituir a la de pasta de soya en la alimentación integral de becerras en el trópico.

Palabras clave: pasta de soya; pasta de ajonjolí; becerras; trópico; comportamiento productivo.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de las regiones tropicales de México utilizan recursos forrajeros disponibles y se asocian a bajos costos de producción (Absalón-Medina *et al.*, 2012). Estos sistemas cuentan con mano de obra familiar, baja producción de leche y/o carne como resultado de la producción estacional de forraje (Aguilar-Pérez *et al.*, 2011; Nájera-Garduño, 2016). Las regiones tropicales contribuyen a la producción de carne bovina, lo que representa cerca de la mitad de la producción mundial (Jank *et al.*, 2005). Los pastos tropicales y subtropicales están constantemente sujetos a la influencia de las condiciones ambientales (época seca y época de lluvia), lo que ocasiona variaciones en la calidad y/o cantidad del forraje disponible (Da-Silva y Carvalho, 2005) que conllevan a una inestable producción de forraje afectando el crecimiento y desempeño de los animales (Rodríguez-González *et al.*, 2018).

Con este déficit nutricional, el productor se ve obligado a buscar alternativas para la suplementación de proteína y energía de calidad, económicamente rentables, que cubran los requerimientos de mantenimiento como de producción. En esta área, hay actividades agroindustriales que producen subproductos o desechos que pueden utilizarse para la alimentación animal, con fuentes de proteína (López-Varela, 2017). La pasta de ajonjolí es un subproducto agroindustrial que contiene entre 44 y 50% de proteína cruda, de 10 a 12% de extracto etéreo, 5 a 7% de fibra cruda y de 5 a 12% de cenizas; por lo que puede considerarse como una fuente de proteína (Balderrama, 2010). La hipótesis fue que la sustitución de pasta de soya por pasta de ajonjolí como fuente de proteína en una dieta integral para becerras en el trópico no modifica la respuesta productiva porque contienen un valor nutricional similar. Por lo cual, el objetivo fue evaluar el efecto de la inclusión de pasta de ajonjolí o pasta de soya como fuente de proteína en una dieta integral para becerras Simbrah en condiciones de estabulación sobre las variables productivas, digestibilidad aparente y características ruminales, así como su evaluación *in vitro* usando la técnica de producción de gas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El estudio se realizó en el campo experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2 de la Universidad Autónoma de Guerrero; ubicada en las coordenadas 16° 28' 28" N y 98° 25' 11" O, a 46 msnm. El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, con precipitación media anual de 1,200 mm y una temperatura promedio anual de 25 °C (García, 2004).

Tratamientos

Las dietas se elaboraron con base en los requerimientos nutricionales reportados por el NRC (2001) para hembras de 200 kg de PV y se realizó una sustitución directa de la pasta de soya (T1) por pasta de ajonjolí (T2) en dietas integrales, siendo estas isoproteicas e isoenergéticas (Tabla 1).

Ensayo *in vitro*

El medio de cultivo contenía 30 mL de fluido ruminal clarificado [líquido ruminal bovino fresco centrifugado 10 min a 12,857 x g y esterilizado (All American® 1941X, USA) 15 min a 121 °C y 15 psi], 5 mL de solución mineral I [6 g K₂HPO₄ (SigmaAldrich®) en 1000 mL de agua destilada], 5 mL de solución mineral II [6 g KH₂PO₄ (Sigma-Aldrich®) + 6 g (NH₄)₂SO₄ (Merck®) + 12 g NaCl (Sigma-Aldrich®) + 2.45 g MgSO₄ (Sigma-Aldrich®) + 1.6 g CaCl₂·2H₂O (Sigma-Aldrich®) en 1000 mL de agua destilada], 0.1 mL de resazurina a 0.1% (Sigma-Aldrich®), 0.2 g de peptona de soya (Merck®), 0.1 g de extracto de levadura (Sigma-Aldrich®), 4 mL de solución cisteínasulfido [2.5 g L-cisteína (Sigma-Aldrich®) a pH 10 con 2N NaOH (Meyer®) + 2.5 g de Na₂S·9H₂O (Merck®) aforado en 100 mL de agua destilada], 5 mL de solución a 8% de Na₂CO₃ (Merck®) y 52.6 mL de agua destilada (Texta *et al.*, 2019; Torres-Salado *et al.*, 2019).

En viales serológicos (120 mL) se agregaron 0.5 g MS de muestra y 45 mL de medio de cultivo (5 repeticiones independientes por tratamiento) y fue considerado la unidad experimental del presente estudio. Los viales se mantuvieron en condiciones anaeróbicas con CO₂, se sellaron herméticamente con un tapón de neopreno (20 mm de diámetro) y arillo de aluminio, por lo que cada vial se consideró un biodigestor. Los biodigestores se esterilizaron a 121

°C, 15 min y 15 psi; se incubaron a 39 °C por 24 h para verificar esterilidad. Los biodigestores se inocularon con 5 mL de bacterias ruminales totales obtenidas del fluido ruminal de una vaca Suiz-bu; la vaca pastó en praderas de pasto pangola antes de tomar la muestra de fluido ruminal. El fluido ruminal se centrifugó a 1,157 x g por 3 min para precipitar protozoarios y partículas de fibra (Texta *et al.*, 2019). El bovino se manejó de acuerdo con el reglamento interno de bioética y bienestar de la UAGro con fundamento en las normas oficiales (NOM-062-ZOO-1999).

Tabla 1. Dietas integrales.

Ingrediente (%)	Tratamiento	
	T1	T2
Pasta de ajonjolí	0	10
Ensilado de maíz	48	48
Heno de pasto estrella	12	12
Pasta de soya	10	0
Grano de maíz molido	28	28
*Mezcla mineral	2	2
Composición química (%)		
MS	45.76	44.73
MO	95.76	95.60
PC	11.5	11.2
FDN	45.16	48.14
FDA	22.78	24.13
EM	2.41	2.44

*Contiene fósforo, 7 %; calcio, 6.8 %; magnesio, 0.5 %; zinc, 3,500 mg; manganeso, 2,000 mg; cobre, 500 mg; Iodo, 12 mg; cobalto, 6 mg; selenio, 12 mg.

MS, materia seca; MO, materia orgánica; PC, proteína cruda; CE, cenizas; FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; EM, energía metabolizable.

La producción de gas de los biodigestores se midió por el desplazamiento del émbolo de una jeringa de vidrio (50 mL; BD Yale®, Brasil) a las 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 h (5 repeticiones independientes por tratamiento). La producción de CH₄ se midió usando una manguera Taygon® (2.38 mm Ø interno y 45 cm de longitud) con agujas hipodérmicas (20 G x 32 mm) en los extremos. Las agujas se usaron para acoplar un biodigestor con una vial trampa, los viales trampa se llenaron con solución de NaOH (2N) [80 g de NaOH (Merck®) en 1000 mL de agua destilada] modificado de la metodología de Stolaroff *et al.* (2008) según Torres-Salado *et al.* (2018) y Herrera-Pérez *et al.* (2018). La producción parcial de CH₄ se consideró como los mL desplazados de la solución NaOH (2N) a las 24, 48 y 72 h de incubación y la producción acumulada a las 72 h.

Para la degradación de materia seca y FDN, la muestra residual del biodigestor se filtró usando bolsas ANKOM® previamente secadas para peso constante

(cinco muestras independientes por muestra). Las bolsas con muestra se secaron a 60 °C por 24 h en una estufa (RIOSSA® HCF-41, México). La degradación *in vitro* (DEGMS) se calculó con la fórmula % DEGMS = (muestra inicial – muestra residual / muestra inicial) * 100. Las bolsas ANKOM® se sellaron a calor para determinar FDN con la metodología de ANKOM® Technology Method según Van Soest *et al.* El porcentaje de degradación de la fibra detergente neutro (% DEGFDN) se calculó con la fórmula % DEGFDN = (FDN inicial – FDN residual / FDN inicial) * 100.

Ensayo *in vivo*

Se utilizaron ocho becerras Simbrah de 229 ± 39 kg PV; las cuales se alojaron en corrales individuales (4 m²) provistos de sombra y equipados con bebederos y comederos. Previo al inicio del período experimental se registró el peso inicial y se realizó tratamiento profiláctico con vitaminas ADE + B12 (Polivit®; 10 ml animal⁻¹ vía IM profunda), vacunación con bacterina (Bacterina Biobac® 11vías; 5 ml animal⁻¹ vía subcutánea) y se realizó un análisis coproparasitológico que fue negativo por lo que no se desparasitó. Las becerras se adaptaron progresivamente a las dietas por un período de 15 d. La alimentación se ofreció dos veces al día (08:00 y 15:00 h, ofreciendo 50% en cada ofrecimiento) y agua *ad libitum*. El manejo de las becerras y los procedimientos en el presente estudio se realizaron de acuerdo con los protocolos de la Ley Federal Sanidad Animal y la NOM-062-ZOO-1999.

Análisis bromatológico

En el análisis bromatológico se determinó materia seca (MS), proteína cruda (PC), materia orgánica (MO) y cenizas (CE) según AOAC (2007); además, fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) con la metodología de ANKOM Technology® según Van Soest *et al.* (1991). El contenido de cenizas insolubles en ácido (CIA) fue según el método de Church (1993) y Van Keulen y Young (1977).

Respuesta productiva

El estudio duró 40 d. El consumo de materia seca (CMS, kg d⁻¹) se determinó por diferencia entre la cantidad ofrecida y la rechazada. El peso se registró al día 0 y 40 para estimar la ganancia diaria de peso (GDP, kg d⁻¹) por diferencia. La conversión alimenticia (CA) se calculó al dividir el CMS entre GDP.

Digestibilidad aparente de nutrientes

Para estimar la digestibilidad aparente de los nutrientes (MS, MO, FDN, FDA y PC) se recolectaron muestras

de heces, aproximadamente 50 g directamente del ano de las becerras del día 35 al 40 por la mañana. Las heces se deshidrataron en una estufa (RIOSSA HCF-41, México) a 60°C por 48 h, posteriormente se molieron en un molino Thomas-Wiley Mill (Thomas Scientific, Swedesboro, NJ, USA) con criba de 1 mm. De los días medidos por animal se hizo una mezcla compuesta. Las digestibilidades se calcularon con las fórmulas descritas por Church (1993) y Van Keulen y Young (1977).

Características ruminales

Al día 40 del experimento, se extrajeron 20 ml de fluido ruminal usando una sonda esofágica. Inmediatamente, se midió pH con un potenciómetro portátil (ORION SA 210, USA®; calibración: pH 7 y 4). Para el conteo de bacterias totales (CBT) se usó una micropipeta (Corning®, USA) para extraer una submuestra de 1 mL de fluido ruminal y se depositó en un tubo de ensayo (Pirex®, México) con 0.25 ml de formaldehído al 10% (Sigma-Aldrich®). La cantidad de bacterias totales se contabilizó en una cámara Petroff-Hausser. Para el recuento se usó un microscopio (BX31, Olympus®, USA) a una magnificación de 1,000 X. La cantidad de bacterias se calculó con la fórmula: Cantidad de bacterias = (promedio) (factor de dilución, 2×10^7) (Sánchez-Santillán *et al.*, 2016). Para el conteo de protozoarios (CP) se usó la misma técnica utilizada para bacterias totales a excepción de que en el recuento fue a una magnificación de 400 X en una cámara de Neubauer (Bright line Brand®). La cantidad de protozoarios se calculó con la fórmula: conteo de protozoarios = (promedio) (factor de dilución, 2×10^4) (Espinoza-Sánchez *et al.*, 2020).

El nitrógeno amoniacal (N-NH₃) se determinó al colocar 1 ml de fluido ruminal en un tubo de ensayo, se mezcló con 0.25 mL de ácido metafosfórico (Meyer®) al 25% (proporción 4:1) y se centrifugó 25 min a 3,500 x g y el sobrenadante se recuperó en viales de 2 ml. Un volumen de 20 µl de este sobrenadante se mezcló con 1 ml de solución fenol [10 mg de Na₂(NO)Fe (CN)5H₂O (Meyer®) + 10 g de cristales de fenol (Meyer®) aforado en 1000 ml de agua destilada] y 1 ml de solución hipoclorito [7.5 g de NaOH (Reasol®) + 21.3 g de Na₂HPO₄ (Meyer®) + 15 mL de hipoclorito (5%; Reasol®) aforado a 1000 mL con agua destilada]. La mezcla se incubó a 37°C por 30 min en baño maría. Posteriormente, se adicionaron 5 mL de agua destilada para diluir y se agitó con un vortex (Genie 2 G-560, USA) y la absorbancia se midió a 630 nm en un espectrofotómetro UV-VIS (Jenway® 6850, USA) calibrado con un método ($r^2 = 0.9994$) de

concentración de nitrógeno amoniacal según McCullough (1967).

Análisis estadístico

La producción de gas *in vitro*, las variables productivas, digestibilidad de los nutrientes y variables ruminales de las becerras se analizaron en un diseño completamente al azar. Los datos se analizaron utilizando el programa GLM de SAS® (2011). Las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción de gas se debe a la fermentación de polisacáridos de la pared celular accesibles para los microorganismos, así como también nos permite evaluar la fermentación de los carbohidratos estructurales y no estructurales (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2005). La producción parcial de gas a las 3 horas fue 39% mayor en T1 ($p < 0.05$), mientras que a las 6, 9, 12, 24, 48, 72 h y acumulado no se presentaron diferencias entre tratamientos (Tabla 2; $p > 0.05$).

La producción parcial de CH₄ (Tabla 2) a las 24 y 48 h fue 14.12 y 32.33% mayor en T1 que en T2, respectivamente ($p < 0.05$); sin embargo, la producción parcial de CH₄ a las 72 h no presentó diferencias entre tratamientos ($p > 0.05$). El CH₄ acumulado a las 72 h mostró que T1 fue 1.2 veces mayor que T2 ($p < 0.05$). En la DEGMS, T2 fue 3.52% superior a T1 ($p < 0.05$). Los tratamientos en DEGFND, pH y N-NH₃ no fueron diferentes ($p > 0.05$; Tabla 2). La proporción de CH₄ con respecto al gas total, mostró que, a las 24 h, T1 y T2 representó 69.2 y 73.4%, respectivamente. A las 48 h, la proporción disminuyó 31.4 y 22.5% respectivamente; mientras, a las 72 h promedio 26.8% la proporción de CH₄ en ambos tratamientos. La producción de CH₄ depende del manejo nutricional, nivel de consumo del animal, composición de la dieta y digestibilidad aparente de la ración (Soliva y Hess, 2007). La producción de CH₄ por parte de los microorganismos del rumen se estima entre 300 y 600 L al año en ganado adulto esto representa alrededor de 80 a 110 millones de toneladas al año (Santacolma, 2011). La mayor producción de gas parcial y de CH₄ de T2 a las 24 y 48 h se puede atribuir a la reducción de la metanogénesis ruminal por la presencia de metabolitos secundarios como el ácido fítico y ácidos grasos en la pasta de ajonjolí. Siendo valores superiores a lo reportado por Torres-Fraga *et al.* (2018) quienes reportaron 31 ml g⁻¹ MS al incluir 50% de hojas de encino blanco (*Quercus spp*) a las 24 h de fermentación, mientras que la DEGMS a las 48 h fue 27.6% mayor T2 a las 72 h.

Tabla 2. Efecto de la inclusión de la pasta de ajonjolí sobre la producción de gas y degradación *in vitro*.

Variable	T1	T2	EEM	p-Valor
Gas parcial a 3 h (ml g ⁻¹ MS)	13.71 ^a	8.35 ^b	1.71	0.04
Gas parcial a 6 h (ml g ⁻¹ MS)	35.24	32.69	1.54	0.27
Gas parcial a 9 h (ml g ⁻¹ MS)	20.87	22.07	1.68	0.62
Gas parcial a 12 h (ml g ⁻¹ MS)	14.7	12.53	1.21	0.22
Gas parcial a 24 h (ml g ⁻¹ MS)	51.07	41.38	4.05	0.11
Gas parcial a 48 h (ml g ⁻¹ MS)	38.14	37.19	1.22	0.59
Gas parcial a 72 h (ml g ⁻¹ MS)	17.49	18.1	0.74	0.57
Gas acumulado (ml g ⁻¹ MS)	191.22	172.32	6.79	0.06
Metano parcial a 24 h (ml g ⁻¹ MS)	35.39 ^a	30.39 ^b	1.38	0.02
Metano parcial a 48 h (ml g ⁻¹ MS)	12.03 ^a	8.14 ^b	0.70	0.00
Metano parcial a 72 h (ml g ⁻¹ MS)	4.69	4.86	0.56	0.83
Metano acumulado (ml g ⁻¹ MS)	52.11 ^a	43.39 ^b	1.47	0.00
DEGMS (%)	22.71 ^b	26.22 ^a	0.90	0.05
DEGFDN (%)	16.45	18.57	0.73	0.15
pH	6.58	6.61	0.01	0.18
N-NH ₃ (mg dL ⁻¹)	2.67	2.52	0.07	0.31

^{a,b} Valores medios con distinta literal en la misma hilera dentro del efecto principal son diferentes ($p \leq 0.05$).

DEGMS, Degradación *in vitro* de la materia seca; DEGFDN, Degradación *in vitro* de la fibra detergente neutro; N-NH₃, Nitrógeno amoniacal; EEM, error estándar de la media.

El peso inicial, peso final, GDP y CMS de las becerras no mostraron diferencias ($p > 0.05$) entre tratamientos (Tabla 3). El CMS promedió 7.4 kg MS d⁻¹, 8.2% menor al reportado por Flores-Aguirre (2007); quien reportó un CMS de 8.1 kg MS d⁻¹ al incluir 20% de garbanzo (*Cicer arietinum*) en una dieta de toretes Pardo Suizo-Cebú de 400 kg PV en engorda. La conversión alimenticia fue mayor ($p < 0.05$) en T1, lo que representó 2.04% más que T2 (Tabla 3). La GDP promedió 0.84 kg d⁻¹, 34.4% menor al promedio reportado por Pérez *et al.* (2002); quienes evaluaron la sustitución de 9% de pasta de soya por harinolina en una dieta integral en hembras de raza Beefmaster y Charoláis. Así mismo, Flores-Aguirre (2007) evaluó la inclusión de 20% de garbanzo (*Cicer arietinum*) en la dieta integral en toretes cruza Pardo Suizo-Cebú de 400 kg de PV en engorda y obtuvo en promedio una GDP de 1.2 kg d⁻¹, valores 30% superiores a lo reportado en el presente estudio (Tabla 3). Cabe mencionar que los machos tienen un mejor potencial de crecimiento (Griffin *et al.* 1992) que las hembras lo que pudo influir en la presente investigación.

La pasta de ajonjolí es una fuente proteica con un alto contenido proteico y un bajo nivel de factores antinutricionales (FAN) a excepción del ácido fítico (Jimoh *et al.*, 2011). El ácido fítico (AF) es la principal fuente de almacenamiento de fósforo en los granos de cereales y oleaginosas. La pasta de ajonjolí presenta un alto contenido de AF (5.4%) (Adeola y Sands, 2003). El fósforo fítico tiene una muy baja disponibilidad en los ingredientes de origen vegetal (Vallardi, 2000;

Adeola y Sands, 2003). Por tal motivo, tiene un efecto limitante sobre la digestibilidad y pérdidas endógenas de minerales, proteínas y aminoácidos (Woyengo *et al.*, 2009).

La DMS, DMO, DPC y DFDA no presentaron diferencias entre tratamientos ($p > 0.05$), mientras que DFDA fue mayor en T2. Las características ruminales no se modificaron ($p > 0.05$) entre tratamientos (Tabla 3). La DMS promedio obtenida en el presente estudio fue 42.92% y 23.28% menor al reportado por Flores-Aguirre (2007) quien reportó 66.90% al incluir 20% de garbanzo (*Cicer arietinum*) en la dieta de becerros de engorda. Del mismo modo, Aguilera *et al.* (2018) reportaron una DMS de 53% al incluir 15% de pasta de ajonjolí en la dieta de corderos; lo cual representa un 10% más a lo encontrado en este estudio.

El promedio de DMO fue 45.50% (Tabla 3), 23.21% menor a lo reportado (68.71% DMO) por Flores-Aguirre (2007), quien evaluó la inclusión de 20% de garbanzo (*Cicer arietinum*) en la dieta de becerros de engorda. Asimismo, los resultados de este estudio (Tabla 3) difieren en un 12.98% menos con lo reportado por Aguilera *et al.* (2018), quienes reportaron una DMO de 58.7% en la dieta de corderos, la cual incluía 15% de pasta de ajonjolí y 85% de heno de *Brachiaria humidicola*. El promedio obtenido en la DPC fue 55.54%, valor 14.06% menor a lo reportado por Omer *et al.* (2019), quienes obtuvieron un 69.60% al reemplazar el 16% de pasta de soya por pasta de ajonjolí en corderos machos de 5 y 6 meses de edad.

Tabla 3. Respuesta productiva, digestibilidad aparente y características ruminales, en becerras alimentadas con pasta de ajonjolí o pasta de soya como fuente de proteína en la dieta.

Variable	T1	T2	EEM	p-valor
PV inicial (kg)	219.5	238.75	13.87	0.53
PV final (kg)	254.75	268.75	14.29	0.66
CMS (kg MS d ⁻¹)	7.21	7.66	0.17	0.21
GDP (kg d ⁻¹)	0.91	0.77	0.04	0.13
CA (kg; CMS/GDP)	8.03 ^b	10.07 ^a	0.01	0.03
DMS	43.28	42.57	0.43	0.45
DMO	45.29	45.72	0.39	0.61
DFDN	18.64 ^b	22.54 ^a	0.96	0.02
DFDA	14.91	14.45	1.54	0.89
DPC	59.48	51.60	4.27	0.39
Protozoarios (10 ⁵ células ml ⁻¹)	10.41	11.63	4.18	0.84
Bacterias (10 ⁹ células ml ⁻¹)	4.71	4.64	0.290	0.87
pH	7.31	7.64	0.220	0.32
N-NH ₃ (mg dl ⁻¹)	0.94	0.88	0.060	0.49

^{a,b} Valores medios con distinta literal en la misma hilera dentro del efecto principal son diferentes ($p \leq 0.05$). PV, peso vivo; CMS, consumo de materia seca; GDP, ganancia diaria de peso; CA, conversión alimenticia; DMS, digestibilidad de la materia seca; DMO, digestibilidad de la materia orgánica; DFDN, digestibilidad de la fibra detergente neutro; DFDA, digestibilidad de la fibra detergente ácido; DPC, digestibilidad de la proteína cruda; N-NH₃, nitrógeno amoniacal; EEM, error estándar de la media.

Si bien, DFDA no se modificó ($p > 0.05$) entre tratamientos, la DFDN fue mayor en las becerras alimentadas con T2, lo que puede atribuirse a que la pasta de soya presenta un mayor contenido de factores antinutricionales (FAN), ya que la presencia de FAN reduce la disponibilidad biológica y la digestibilidad de uno o más nutrientes, ocasionando disminución de la función digestiva, eficiencia productiva y respuesta inmune (D'Mello, 2000). Ghorbani *et al.* (2018) y Aguilera *et al.* (2018) al evaluar la sustitución de pasta de soya por pasta ajonjolí hasta un 15% en corderos alimentados con una dieta integral reportaron una DFDN 2.8 y 2.6 veces superior al resultado de esta investigación.

El pH de este estudio promedió 7.32 (Tabla 3), lo cual fue 18.3 y 18.4% superior al reportado por Omer *et al.* (2019) y Ghorbani *et al.* (2018); quienes registraron pH de 5.98 y 5.97 en el fluido ruminal de corderos, al sustituir 50 y 10% de pasta de soya por pasta de ajonjolí, respectivamente. Delgado *et al.* (2011) reportaron un pH de 6.55 al incluir pasta de soya a búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) alimentados con heno de pasto bermuda (*Cynodon dactylon*) en una dieta con una proporción de forraje concentrado de 70-30; siendo 10.5% menor que lo obtenido en este estudio, en el cual la proporción fue de 60-40, por lo tanto, los resultados de este estudio no alteraron el pH ruminal a pesar de ser un 10% mayor en el contenido de concentrado a lo reportado por Delgado *et al.* (2011).

La población de bacterias y protozoarios del rumen son de vital importancia en la fermentación ruminal, ya que

son los responsables directos de llevar a cabo dicha fermentación anaerobia en el rumen. Las bacterias proteolíticas y ureolíticas hidrolizan el nitrógeno no proteico y proteico en N-NH₃, mientras, las bacterias amilolíticas, celulolíticas, entre otras fermentan los carbohidratos en ácidos grasos volátiles, CO₂ y H₂ (McDonald, 1999). Los resultados obtenidos en el conteo de protozoarios (Tabla 3) se encuentran dentro del rango considerado como apropiado 10⁵-10⁶ células ml⁻¹ (Domingues *et al.*, 2016) para un buen funcionamiento de las actividades celulolíticas y proteolíticas de los microorganismos en el rumen (Van-Soest *et al.*, 1991). Por otra parte, en el contenido de bacterias, los resultados obtenidos fueron inferiores a los rangos normales 10¹⁰-10¹¹ células ml⁻¹ (Domingues *et al.*, 2016). El contenido de nitrógeno amoniacal (Tabla 3) promedió 0.91 mg dl⁻¹; Ghorbani (2018) y Delgado (2011) reportaron contenidos de 6.26 y 16.55 mg dl⁻¹ de N-NH₃, los cuales fueron 6.8 y 17.9 veces mayor al obtenido en el presente estudio.

CONCLUSIÓN

La pasta de ajonjolí puede sustituir a la pasta de soya como fuente de proteína en dietas integrales para becerras en el trópico, sin que se afecte la repuesta productiva, digestibilidad de los nutrientes y las características ruminales, sin embargo, se obtiene un efecto positivo ya que reduce la producción de metano entérico en pruebas *in vitro*.

Agradecimientos

Funding. This study was financed by the Academic Body UAGro-CA-183 "Sustainable production of ruminants in the tropics", Autonomous University of Guerrero, Mexico. A Scholarship was also received from CONACYT-Mexico (Scholarship No. 929696).

Conflict of interests. The authors agree with the information presented in the article and with the order of each author. There is no conflict of interest to declare by the authors.

Compliance with ethical standards. Original data derived from the work of the authors, which have not been submitted at the same time in different journals, are presented. The work did not involve experimentation with animals and was carried out in accordance with procedures accepted by the Autonomous University of Guerrero and national regulations "Ley Federal de Sanidad Animal" and NOM-062-ZOO-1999.

Data availability. The data is available with Adán García Balbuena (adanchy15@gmail.com) or Nicolas Torres Salgado (nivigas@yahoo.com) upon reasonable request.

Author contribution statement (CRediT). **A. García-Balbuena** – Writing – original draft, Writing – review & editing, Formal analysis, Validation, **N. Torres-Salado** – Writing– original draft, Writing – review & editing, Conceptualization, Methodology., **M de los Á. Maldonado-Peralta** – Writing – original draft, Writing – review & editing, **F. de J. Mayren-Mendoza** – Formal analysis, Validation, **J. Herrera-Pérez** – Writing – original draft, Writing – review & editing, **G. Mendoza-Medel** – Writing – original draft, Writing – review & editing.

REFERENCIAS

- Absalón-Medina, V.A., Nicholson, C.F., Blake, R.W., Fox, D.G., Juárez-Lagunes, F.I., Canudas-Lara, E.G. and Rueda-Maldonado, B.L., 2012. Limitations and potentials of dual-purpose cow herds in Central Coastal Veracruz, Mexico. *Tropical Animal and Health Production*, 44, pp. 1131-1142. <http://doi.org/10.1007/s11250-011-0049-1>.
- Adeola, O. and Sands, J.S., 2003. Does supplemental dietary microbial phytase improve amino acid utilization A perspective that it does not. *Journal Animal Science*, 81, pp. E78-85.
- Aguilar-Pérez, C., Ku-Vera, J.C. and Magaña-Monforte, J.G., 2011. Energetic efficiency of milk synthesis in dual-purpose cows grazing tropical pastures. *Tropical Animal Health and Production*, 43, pp. 767-772. <http://doi.org/10.1007/s11250-010-9714-z>
- Aguilera, C.G.C., Valiente, V.O.L., Stanley, S.W.E., Corrales, M.M.P., Branda, P.L.N., Peralta, J.R. and Castellani R.P.G., 2018. Valoración nutricional del expeller de sésamo mediante estudios de digestibilidad in vivo e in vitro en ovinos. *Investigacion Agraria*, 20(2), pp. 118-126. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2018.diciembre.118-126>
- AOAC., 2007. Official Methods of Analysis (18th Ed) Association of official analytical chemist. Arlington, VA, USA.
- Church, D. C., 1988. The ruminant animal digestive physiology and nutrition. Prentice Hall, Englewood Cliffs. New Jersey, USA. p. 54.
- D'Mello J.P.F., 2000. Antinutritional factors and mycotoxins. In J.P.F. D'Mello, ed. Farm animal metabolism and nutrition. *Centre for Agricultural Bioscience International*, Reino Unido. Pp. 383-483. <http://doi.org/10.1079/9780851993782.0383>
- Da-Silva, S.C and Carvalh P.C., 2005. Foraging behaviour and herbage intake in the favourable tropics/subtropics. In: D.A. Gilloway, editor, XX International Grassland Congress, Grassland: A global resource. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, HOL. p. 81-96.
- Delgado, D., Franzolin R., Mazza P.H., 2011. Fermentación y cinética ruminal en búfalos alimentados con heno de bermuda cruzada (*Cynodon dactylon* (L.) Pears) y concentrado con soya integral o extrusada. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(1), pp. 39-43.
- Enríquez, Q.J.F., Meléndez N.F, Bolaños A.E.D., Esqueda E.V.A., 2011. Producción y manejo de forrajes tropicales. Centro de investigación regional golfo centro. Libro técnico número 28, Medellín de Bravo Veracruz.

https://doi.org/10.2527/2003.8114_suppl_2E78x.

- Espinoza-Sánchez, J., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Ayala-Monter, M.A., Herrera-Pérez, J and Magadan-Olmedo, F., 2020. Inclusion of ripe mango as a source of energy in diets for Creole lambs in the dry tropics. *Tropical Animal Health and Production*, 52, pp. 3519-3526. <http://doi.org/10.1007/s11250-020-02386-4>.
- Flores-Aguirre, L.R., 2007. Determinación del valor nutricional de la rezaga de garbanzo (*Cicer Arietinum L.*) en dietas para bovinos en engorda intensiva. Tesis Doctorado. Posgrado Interinstitucional en Ciencias Pecuarias. Universidad de Guadalajara. 67 P.
- García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de koppen. 4 (edición). Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 217 p.
- Ghorbani, BA, Teimouri Y and Sayyadi AJ., 2018. Effects of sesame meal on intake, digestibility, rumen characteristics, chewing activity and growth of lambs. *South African Journal of Animal Science*. 48(1), pp. 151-161. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v48i1.17>
- Griffin, D.B, Savell, J.W., Morgan, J.B., Garret, R.P., Cross, H.R., 1992. Estimates of subprimal yield from beef carcasses as affected by grades, subcutaneous fat, trim level, and carcass sex class and type. *Journal Animal Science*, 70, pp. 2411.
- Herrera-Pérez, J., Vélez-Regino, L.G., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Rojas-García, A.R., and Maldonado-Peralta, M.A., 2018. In vitro fermentation of fibrous substrates by wáter buffalo ruminal cellulolytic bacteria consortia. *MVZ Cordoba*, 23(3), pp. 6860-6870. <http://dx.doi.org/10.21897/rmvz.1374>.
- Jank, L., Valle C.B. and Resende, R.M. S., 2005. Grass and forage plant improvement in the tropics and sub-tropics. In: D.A. McGilloway, editor, XX International Grassland Congress, Grassland: A Global Resource. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, HOL. p. 69-81.
- Jimoh, W.A., Fagbenro O.A and Adeparusi, E.O., 2011. Effect of processing on some minerals, anti-nutrients and nutritional composition of sesame (*Sesamum indicum*) seed meals. *Electronic Journal on Environmental Agricultural and Food Chemistry*, 10, pp. 1858-1864.
- López, T.R, García, E.R and Mellado, B.M., 2002. Crecimiento y características de la canal de bovinos Charolais y Beefmaster alimentados con dos fuentes de proteína y dos niveles de grasa sobrepasante. *Técnica Pecuaria México*. 40(3), pp. 291-298.
- López-Varela, D., 2017. Caracterización bromatológica de pellets elaborados a partir de subproductos agropecuarios para la alimentación de bovinos. *Tecnología en Marcha*. Número Especial Movilidad Estudiantil 4. pp 73-81.
- McCullough, H., 1967. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *clinica Chimica Acta*, 17(2), pp. 297-304. [http://dx.doi.org/10.1016/0009-8981\(67\)90133-7](http://dx.doi.org/10.1016/0009-8981(67)90133-7).
- Nájera-Garduño, A.L, Piedra-Matías, R., Albarrán-Portillo, B., García-Martínez, A., 2016. Cambios en la ganadería doble propósito en el trópico seco del estado de México. *Agrociencia*, 50, pp. 701-710.
- Omer, H., Ahmed, S., Abdel, M., Bakry, B., Mohamed, F and Eman, H., 2019. Nutritional impact of partial or complete replacement of soybean meal by sesame (*Sesamum indicum*) meal in lambs rations. *Bulletin of the National Research Centre*. 43, p. 98.
- Rodríguez-González, K., Valverde-Abarca, A., Rodríguez-González, J., Murillo-Bravo, O., Camacho-Calvo, M., 2018. Efecto del genotipo y alimentación final sobre cortes cárnicos comerciales y calidad de canal en novillos. *Agronomía Mesoamericana*. 29(1), <http://dx.doi.org/10.15517/ma.v29i1.28140>
- Sánchez-Santillán, P. and Cobos-Peralta, M.A., 2016. Producción *in vitro* de ácidos grasos volátiles de bacterias celulolíticas reactivadas y bacterias ruminales totales en sustratos celulósicos. *Agrociencia*. 50, pp. 565-574.
- Santacoloma Varon, L.E., 2007. Las dietas en las emisiones de metano durante el proceso de rumia en sistemas de producción bovina. *Revista de Investigación Agraria y*

- Ambiental*, 2011, pp. 55-64.
<https://doi.org/10.22490/21456453.913>
- Soliva, C.R and Hess, H., 2007. Measuring methane emission of ruminants by in vitro and in vivo techniques. In: H. Makkar, and P. Vercoe, editors, Measuring methane production from ruminants. Springer, HOL. p. 15-31.
- Steel, G.R and Torrie, H.J., 1981. Principles and procedures of statistics a biometrical approach. Second ed. McGraw Hill, México. p.633.
- Texta, N.J., Sánchez-Santillán, P., Hernández, S.D., Torres-Salado, N., Crosby, G.M., Rojas-García, A.R., Herrera, P.J., and Maldonado, P.M., 2019. Use of disaccharides and activated carbon to preserve cellulolytic ruminal bacterial consortiums lyophilized. *MVZ Cordoba*, 24(3), pp. 7305-7313.
<https://doi.org/10.21897/rmvz.1412>.
- Torres-Fraga, K., Herrera-Torres, E., Reyes-Estrada, O. and Murillo-Ortiz, M., 2018. Producción de gas, degradabilidad y fermentación ruminal in vitro de dietas para bovinos de carne con la inclusión de hojas de encino (*Quercus sp.*). *Agroproductividad*, 11 (6), pp. 120-127.
- Torres-Salado, N., Sánchez-Santillán, P., Rojas-García, A.R., Almaraz-Buendía, I., Herrera-Pérez, J., Reyes-Vázquez, I. and Mayren-Mendoza, F.J., 2019. In vitro gas production and fermentative characteristics of ruminal cellulolytic bacterial consortia of water buffalo (*Bubalus bubalis*) and Suiz-bu cow. *Agrociencia*, 53(02), pp. 145-159.
- Torres-Salado, N., Sánchez-Santillán, P., Rojas-García, A.R., Herrera-Pérez, J., y Hernández-Morales, J., 2018. Producción de gases efecto invernadero *in vitro* de leguminosas arbóreas del trópico seco mexicano. *Archivos de Zootecnia*, 67(257), pp. 55-59.
<http://dx.doi.org/10.21071/az.v67i257.3347>
- Vallardi, GM., 2000. Efecto de la fitasa en dietas para gallina de postura como fuente de energía, aminoácidos y fósforo. Tesis de Maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Colima. México.
- Van-Keulen, J and Young B.A., 1977. Evaluation of acid-insoluble ash a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal Animal Science*. pp. 44, pp. 282-287.
<https://doi.org/10.2527/jas1977.442282x>
- Van-Soest, P.J, Robertson, J.B, Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74, pp. 3583-3597.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)