

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Uso potencial de hojas de chaya, guácimo y moringa como alternativa nutricional para rumiantes: una evaluación *in vitro*

The potential use of chaya, guacimo and moringa leaves as a nutritional alternative for ruminants: an *in vitro* evaluation

Authors/Autores: Herrera-Pérez J., Sánchez-Santillán P., Muñoz-López, S.

ID: e1992

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1992>

Received/Fecha de recepción: June 06th 2025

Accepted /Fecha de aceptación: June 04^h 2026

Available online/Fecha de publicación: July 09th 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Herrera-Pérez J., Sánchez-Santillán P., Muñoz-López, S. (2026). The potential use of chaya, guacimo and moringa leaves as a nutritional alternative for ruminants: an *in vitro* evaluation. *Revista Bio Ciencias*, 13, e1992. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1992>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Artículo original

Uso potencial de hojas de chaya, guácimo y moringa como alternativa nutricional para rumiantes: una evaluación *in vitro*

The potential use of chaya, guacimo and moringa leaves as a nutritional alternative for ruminants: an *in vitro* evaluation

Evaluación nutricional *in vitro* de hojas arbóreas/

In vitro nutritional evaluation of arboreal leaves

Herrera-Pérez J.¹ () , Sánchez-Santillán P.^{1*} () Muñoz-López, S.¹ ()

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2, Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Acapulco-Pinotepa Nacional km 197, C. P. 41940. Cuajinicuilapa, Guerrero, México.

*Corresponding Author:

Paulino Sánchez-Santillán. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2, Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Acapulco-Pinotepa Nacional km 197, C. P. 41940. Cuajinicuilapa, Guerrero, México. Teléfono: (749) 106 3063. E-mail: sanchezsantillanp@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la producción de biogás y metano, así como estimar la energía metabolizable (ME) de hojas sin senescencia de chaya, guácimo y moringa mediante fermentación *in vitro*. Se determinó la producción acumulada de biogás y metano, la degradación de materia seca (DMD) y la ME a distintos tiempos de incubación (24 a 72 h). El diseño experimental fue completamente al azar, y las medias se compararon con Tukey ($p < 0.05$). Las hojas de chaya produjeron 14.74 y 110.70 % más biogás a las 24 h que las hojas de guácimo y moringa ($p < 0.05$). La producción de metano en los tiempos evaluados no mostró diferencias entre hojas ($p > 0.05$). La DMD y ME dentro de cada tipo de hoja en los diferentes tiempos de medición, mostraron que las hojas de chaya no tuvieron diferencias a partir de las 36 h de incubación, las hojas de guácimo a partir de las 48 h y las hojas de moringa a partir de las 24 h ($p > 0.05$). Se concluye, las hojas sin senescencia de chaya, guácimo y moringa tienen viabilidad como ingredientes alternativos en la formulación de dietas para rumiantes.

PALABRAS CLAVE: Producción gas, fermentación ruminal, trópico, arbóreas

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate biogas and methane production and to estimate the metabolizable energy (ME) of non-senescent leaves of chaya, guacimo, and moringa using *in vitro* fermentation. The variables of interest, including cumulative biogas and methane production, dry matter degradation (DMD), and ME, were determined at varying incubation times (24 to 72 h). A completely randomized design was employed, and means were compared using Tukey's test ($p < 0.05$). The analysis revealed that the production of biogas from chaya leaves was 14.74 % and 110.70 % higher than that of guacimo and moringa leaves, respectively, at 24 h ($p < 0.05$). Methane production at the evaluated incubation times did not differ among leaf types ($p > 0.05$). Within each leaf type, DMD and ME across incubation times showed no differences after 36 h for chaya leaves, 48 h for guacimo leaves, and 24 h for moringa leaves ($p > 0.05$). It is concluded that non-senescent leaves of chaya, guacimo, and moringa show potential as alternative ingredients in the formulation of ruminant diets.

KEY WORDS: gas production, ruminal fermentation, tropics, tree crops

Introducción

La producción animal en regiones tropicales enfrenta desafíos por la disponibilidad y calidad de los forrajes, especialmente durante la época seca, impactando negativamente la productividad y sostenibilidad de los sistemas ganaderos (Fushai *et al.*, 2025). Esta escasez de alimentos con bajos contenidos de energía y proteína impulsan la búsqueda de fuentes alternativas. En este contexto, las hojas de árboles y/o arbustos forrajeros nativos o adaptados representan una estrategia promisorio para complementar la dieta animal (Franzel *et al.*, 2008). Estas plantas pueden proveer nutrientes esenciales, contribuyendo a mitigar las deficiencias nutricionales y mejorar el rendimiento productivo.

Para la incorporación efectiva de estos recursos en dietas, es importante determinar su contenido energético. La predicción del valor energético a partir de análisis de laboratorio, como la degradación *in vitro* de la materia seca o la producción de gas, ofrece alternativas prácticas y menos invasivas en comparación con algunas pruebas *in vivo* más complejas (Getachew *et al.*, 2004). Es fundamental seleccionar adecuadamente el tiempo de incubación *in vitro* para una estimación fiable de la energía disponible para el animal (Getachew *et al.*, 2004; Scicutella *et al.*, 2025). Entre las especies con potencial para este fin se encuentran la chaya (*Cnidoscolus chayamansa*), el guácimo (*Guazuma ulmifolia*) y la moringa (*Moringa oleifera*).

La chaya (*Cnidoscolus chayamansa* McVaugh), perteneciente a la familia Euphorbiaceae, es una planta perenne endémica de la región Maya en la península de Yucatán. Las hojas contienen entre 20 y 30 % de proteína cruda (Mutungal & Shahada, 2023). Sin embargo, su limitante es la presencia de metabolitos secundarios como glucósidos cianogénicos, que pueden liberar cianuro de hidrógeno tóxico. Por esta razón, su uso como forraje requiere un procesamiento previo, como el secado para inactivar estos compuestos. Sin embargo, tiene potencial para reemplazar parcialmente fuentes de

proteína convencionales en dietas para rumiantes y aves (Panghal *et al.*, 2021; Totakul *et al.*, 2021).

El guácimo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) de la familia Malvaceae es un árbol nativo de América tropical. Sus hojas y frutos son tradicionalmente utilizados en la alimentación de rumiantes, especialmente durante la temporada de sequía. El contenido de proteína es 15.4 %, fibra detergente neutro 62.7 %, materia seca 38.7 %, taninos totales 0.79 % y taninos condensados 1.05 % (Le Bodo *et al.*, 2020). El guácimo contiene compuestos secundarios como taninos condensados y otros fenoles en concentraciones que pueden ser beneficiosas. En niveles bajos a moderados, estos compuestos pueden tener efectos positivos, como la protección de la proteína contra la degradación ruminal (efecto "bypass"), propiedades antioxidantes y actividad antihelmíntica, aunque en altas concentraciones podrían afectar la palatabilidad y la digestibilidad de los nutrientes (Sosa-Pérez *et al.*, 2025).

La moringa (*Moringa oleifera* Lam.) pertenece a la familia Moringaceae y es originaria de la India que se adapta a condiciones áridas y semiáridas. El contenido de proteína de sus hojas oscila entre 25 y 30 % con un excelente balance de aminoácidos esenciales, además de ser ricas en vitaminas A y C, y minerales como calcio y potasio (Hill-Esquivel *et al.*, 2025). A diferencia de otras, su contenido de fibra es bajo y contiene metabolitos secundarios como taninos y saponinas, lo que favorece una alta digestibilidad y consumo por parte de los animales. Su uso se extiende como suplemento proteico y fuente de antioxidantes en dietas para rumiantes, aves y peces, reportando mejoras en la ganancia de peso, producción de leche y salud general (Darboe *et al.*, 2022; Macambira *et al.*, 2022). A pesar de los atributos nutricionales conocidos de estas especies, es necesario cuantificar su aporte energético específico para rumiantes y comportamiento en una fermentación ruminal *in vitro*. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la producción de biogás y metano, así como estimar la energía metabolizable de hojas sin senescencia de chaya, guácimo y moringa mediante fermentación *in vitro*.

Material y Métodos

Lugar de estudio

El ensayo se realizó en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2, de la Universidad Autónoma de Guerrero; ubicada en el km 197 de la carretera Acapulco-Pinotepa Nacional, Cuajinicuilapa, Guerrero, México. Geográficamente se localiza entre los paralelos 16° 19' y 16° 36' de latitud norte; los meridianos 98° 21' y 98° 44' de longitud oeste. El clima predominante es cálido subhúmedo (Aw) con lluvias en verano, el rango de temperatura es de 19 a 34 °C con un promedio anual de 23.8 a 25.6 °C y la precipitaciones entre 1,112 y 2,226 mm (DOF, 2016).

Colecta y manejo de las hojas de las arbóreas seleccionadas

Las hojas de guácimo (*Guazuma ulmifolia*), moringa (*Moringa oleifera*) y chaya (*Cnidoscolus chayamansa*) se recolectaron en el municipio de Cuajinicuilapa, Guerrero. Para la selección y recolección de las hojas se consideró una tonalidad verde sin que

presentaran signos de senescencia (cambio de color, pérdida de turgencia o endurecimiento de tejidos). Estas se tomaron de tres árboles de cada especie y en cada árbol se recolectaron 2 kg de hojas. Las hojas se depositaron en bolsas de papel y se trasladaron al Laboratorio de Nutrición Animal para deshidratarlas a 55 °C por 72 h en una estufa (Felisa® Fe-293a, México) para determinar el contenido de materia seca (MD; método #967,03) según Latimer (2023). Las muestras se procesaron en un molino portátil (Estrella, México) a un tamaño de partícula de 1 mm.

Análisis químico bromatológico

A las hojas de guácimo, moringa y chaya se les determinó el contenido de proteína cruda (CP; método #920,105) y cenizas (Ash; método #942,05) según Latimer (2023). La fibra detergente neutro (NDF) y fibra detergente ácido (ADF) se determinó según la metodología de Van Soest *et al.* (1991). El contenido de materia orgánica (OM) se obtuvo al restarle a 100 el porcentaje de Ash (Tabla 1).

Tabla 1. Analisis químico bromatologico de hojas sin senescencia de guácimo, moringa y chaya.

Variable	Chaya	Guácimo	Moringa
Materia seca (%)	59.53	38.86	23.41
Cenizas (%)	9.58	12.34	10.56
Fibra detergente neutro (%)	39.10	64.01	46.12
Fibra detergente ácido (%)	20.87	23.44	22.19
Proteína cruda (%)	22.92	18.89	25.53
Materia orgánica (%)	90.42	87.66	89.44

Fuente: Elaboración propia

Técnica de producción de gas *in vitro*

Biodigestor. Los componentes del medio de cultivo se prepararon según lo descrito por Cañaveral-Martínez *et al.* (2020). Un vial serológico (120 mL) se consideró como un biodigestor cuando se colocaron 0.5 g de hoja de chaya, moringa o guácimo, 40 mL de medio de cultivo (45.9 % de agua destilada, 35.0 % de fluido ruminal fresco, 5.0 % de solución mineral 1 [6 g de K₂HPO₄ (J. T. Baker®) en 1000 mL de agua destilada], 5.0 % solución mineral 2 [6 g de KH₂PO₄ (J. T. Baker®) + 6 g de (NH₄)₂SO₄ (J. T. Baker®) + 12 g de NaCl (Meyer®) + 2.45 g MgSO₄ (Meyer®) + 1.6 g CaCl₂·2H₂O (Meyer®) en 1000 mL de agua destilada], 5.0 % de solución buffer [80 g de Na₂CO₃ (J. T. Baker®) en 1000 mL de agua destilada], 0.1 % de resazurina a 0.1 % (Sigma-Aldrich®) y 4.0 % de solución reductora [3.125 g L-cisteína (Sigma-Aldrich®) ajustar pH a 10 con NaOH (Meyer®) + 3.125 g de Na₂S·9H₂O (Meyer®) aforado a 250 mL con agua destilada, se agregó 0.1 mL de resazurina a 0.1 %, se usó CO₂ y calor para anaerobiosis]); todo bajo flujo continuo de CO₂ para mantener condiciones de anaerobiosis. Estos se sellaron con un tapón de neopreno y un arillo de aluminio con centro removible y se colocaron en una incubadora (Ecoshel® 9082, China) a 39 °C por 72 h. El fluido ruminal fresco se obtuvo de una vaca Suiz-Bu de 450 kg de peso vivo provista de fistula y una cánula ruminal alimentada

exclusivamente en pastoreo con pasto pangola. El bovino se manejó de acuerdo con el reglamento interno de bioética y bienestar animal de la UAGro con fundamento de la norma oficial NOM-062-ZOO-1999, especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio ([Diario Oficial de la Federación \[DOF\], 2001](#)). Cada biodigestor se consideró una unidad experimental.

Producción de biogás. La producción de biogás (10 repeticiones) se midió mediante el desplazamiento de una solución salina saturada (359 g de NaCl (Meyer®) en 1000 mL de agua destilada + 10 mL de naranja de metilo a 0.1 % y pH 1.9). Las mediciones se realizaron con una manguera Taygon® (2.38 mm Ø interno y 45 cm de longitud) con agujas hipodérmicas (20 G x 32 mm) en los extremos; cada extremo se acopló al biodigestor y a un vial trampa. Las trampas se colocaron de manera inversa en una probeta previamente modificada que sirvió para recolectar la solución desplazada por el biogás producido, ya que se usó una aguja hipodérmica que se puso como válvula de salida. La producción de biogás se midió a las 24, 48 y 72 h ([Sánchez-Santillán et al., 2022](#)).

Producción de metano (CH₄). Esta (10 repeticiones) se midió igual que la producción de biogás, pero las trampas fueron de una solución de NaOH (2N) [80 g de NaOH (Merck®) en 1000 mL de agua destilada] modificado de la metodología de [Stolaroff et al. \(2008\)](#). La producción de CH₄ se consideró como los mL desplazados de la solución NaOH (2N) a las 24, 48 y 72 h de incubación. Cabe destacar que, se usaron seis viales blancos que no contenían muestra de hojas de moringa, guácimo y chaya y se usó como factor de corrección en la producción de biogás (tres viales) y CH₄ (tres viales) ([Hernández-Morales et al., 2018](#)).

Degradación de la materia seca (DMD) y energía metabolizable (ME). En tubos de ensayo (18 x 150 mm) se colocó 0.2 g de una muestra (3 repeticiones por tipo de hoja) y 8 mL de medio de cultivo ([Cañaveral-Martínez et al., 2020](#)), bajo flujo de CO₂, para mantener condiciones de anaerobiosis, y se cerró con tapones de polipropileno. Los tubos de ensayo se colocaron en una incubadora (Ecoshel® 9082, China) a 39°C por 20 min; posteriormente, se inocularon con 2 mL de líquido ruminal fresco (filtrado a través de tela tipo velo de novia), bajo flujo de CO₂. Los tubos de ensayo se incubaron a 39 °C por 24, 36, 48, 60 y 72 h. Al término de cada hora de incubación, el residuo se filtró y llevó a peso constante (55°C por 24 h) en una estufa para determinar por diferencia de peso la degradación de la materia seca (DMD). Los valores de DMD se usaron para estimar la energía metabolizable (ME) ([Mendoza & Ricalde, 1993](#)).

$$ME \text{ (Mcal/kg)} = (DMD/100) * 3.62$$

[Ec. 1]

Análisis estadístico

La producción de biogás y metano a las 24, 48 y 72 h se analizó en un diseño completamente al azar. La DMD y ME se analizó en un arreglo factorial 3 x 5, usando tipo de hoja sin senescencia (chaya, guácimo, moringa) y tiempo de incubación (24, 36, 48, 60 y 72 h) como factores. La comparación de los valores medios fue con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Resultados y Discusión

Las hojas de chaya produjeron 14.74 y 110.70 % más biogás a las 24 h que las hojas de guácimo y moringa ($p < 0.05$), respectivamente. La producción de biogás a las 48 y 72 h de las hojas de guácimo y chaya no mostraron diferencias ($p > 0.05$), pero produjeron 73.2 y 61.17 % más biogás que las hojas de moringa ($p < 0.05$; Tabla 2). Esta producción se explica por el contenido (Tabla 1) y tipo de carbohidratos presentes en las hojas evaluadas. Dado que, en las primeras 24 horas de incubación, la mayor producción de biogás en las hojas de chaya se relaciona con la fermentación de carbohidratos no estructurales (azúcares solubles y almidones), los cuales son rápidamente degradados por la microbiota ruminal (Texta *et al.*, 2019). Esto coincide con reportes que muestran que ingredientes con mayor proporción de carbohidratos solubles generan picos tempranos de biogás en pruebas *in vitro* (Getachew *et al.*, 2004).

Por el contrario, la mayor producción de biogás del guácimo (46.3 mL/g de DM; Tabla 2) en periodos posteriores (48–72 h) se asocia a la fermentación de la fracción fibrosa, particularmente la NDF, que se degrada lentamente y depende de la actividad de bacterias celulolíticas (Getachew *et al.*, 2004; Hernández-Morales *et al.*, 2018); por lo que esta especie mostró un aumento gradual en la producción acumulada de biogás comparado con las hojas de chaya (28.4 mL/g de DM). Las hojas de moringa mostraron menor producción acumulada de biogás (Tabla 2), lo cual se relaciona con su menor contenido de carbohidratos, así como probablemente por la presencia de metabolitos secundarios como taninos y saponinas (Darboe *et al.*, 2022). Estos compuestos pueden modular la fermentación, reduciendo la degradación de materia seca y modificar la actividad microbiana, lo que se traduce en menor producción de biogás (Sánchez-Santillán *et al.*, 2022). Así, la producción de biogás es un reflejo de la disponibilidad y fermentabilidad de los carbohidratos, así como de la interacción con compuestos secundarios. Esto fue mencionado por Al-Wahaibi *et al.* (2020); quienes indican que la cinética de biogás reflejan la capacidad de los sustratos de liberar energía a partir de su fracción orgánica fermentable. Por ello, las diferencias encontradas entre especies se asumen a la proporción de carbohidratos solubles, fibra estructural y metabolitos secundarios que caracterizan a cada tipo de hoja.

Torres-Salado *et al.* (2018) reportaron en las hojas de guácimo una producción de biogás de 123.2 mL/g de DM con base en la cinética de fermentación *in vitro*; valores inferiores a los reportados por las hojas de guácimo del presente estudio. Sánchez-Santillán *et al.* (2022) publicaron que las hojas de moringa produjeron alrededor de 170 mL de biogás/g de DM; valores superiores a los reportados en el presente estudio en la hoja de moringa. Mangar *et al.* (2022) evaluaron *in vitro* hojas de moringa, donde reportaron valores promedio 241.5 mL/g DM de biogás a las 24 h d fermentación, valores superiores a los reportados en el presente estudio.

Tabla 2. Producción acumulada de biogás y metano de tres hojas sin senescencia arbóreas mediante la técnica de producción de gas *in vitro*.

Tipo de hoja	Biogás (mL/g DM)			Metano (mL/g DM)		
	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h

Chaya	149.6 ^a	166.9 ^a	178.0 ^a	44.0 ^a	50.5 ^a	53.3 ^a
Guácimo	130.6 ^b	160.8 ^a	176.9 ^a	42.9 ^a	54.1 ^a	60.7 ^a
Moringa	71.0 ^c	94.6 ^b	110.1 ^b	20.6 ^b	31.5 ^b	38.4 ^b
SEM	7.7	7.5	7.2	2.6	2.5	2.5

a,b,c Valores con letras diferentes en cada columna indican diferencias ($p < 0.05$). SEM = error estándar de la media. Fuente: Elaboración propia

La composición del biogás en las pruebas *in vitro* está conformado principalmente de CO₂ y CH₄ (Amanzougarene & Fondevila, 2020); de modo que la producción de CH₄ en las fermentaciones *in vitro* se relaciona con la disponibilidad de hidrógeno (H₂) generado durante la degradación de carbohidratos y con la actividad de las arqueas metanogénicas presentes en el inóculo ruminal. Estas arqueas utilizan CO₂ y H₂ como sustratos principales para la metanogénesis, lo que explica que el CH₄ represente una fracción constante del biogás total en la mayoría de los sustratos evaluados (Ramírez *et al.*, 2014). La producción acumulada de CH₄ mostró que las hojas sin senescencia de chaya y guácimo no tuvieron diferencia a las 24, 48 y 72 h ($p > 0.05$); ya que, produjeron en promedio 43.4, 52.3 y 57.0 mL/g DM, lo que representa 110.67, 66.04 y 48.44 % más CH₄ producido que las hojas de moringa ($p < 0.05$; Tabla 2). Estas diferencias se pueden explicarse por la composición química de las hojas (Tabla 1). El mayor contenido de NDF de las hojas de guácimo favorece la producción de ácido acético y, por ende, la liberación de H₂, lo que sustenta mayor proporción de CH₄ en relación a la producción total de biogás. En contraste, las hojas de chaya y moringa, al contener más carbohidratos solubles, generan mayor proporción de propionato, el cual compete con las arqueas por el uso del H₂ y puede reducir la formación de CH₄ (Getachew *et al.*, 2004; Amanzougarene & Fondevila, 2020).

Además, a las 24 h, la producción de CH₄ respecto al biogás en las tres hojas evaluadas osciló entre 29.00 y 33.00 %; a las 48 h fue de 30.25 a 33.64 % y a las 72 h de 29.94 y 34.87 % (Tabla 2). Esta proporción es considerada típica de la fermentación ruminal, ya que se reflejó un balance entre la producción de ácidos grasos volátiles (particularmente acético) y la disponibilidad de electrones reducidos para las arqueas (Zhang *et al.*, 2021). Así, la proporción de CH₄ en el biogás no solo depende del contenido de fibra y carbohidratos solubles de las hojas, sino también de la interacción con metabolitos secundarios. En el caso de la moringa, compuestos como taninos y saponinas pueden reducir la actividad metanogénica al inhibir selectivamente el crecimiento de arqueas y protozoarios, lo cual explica la menor proporción de CH₄ observada en este tipo de hojas (Darboe *et al.*, 2022).

Sánchez-Santillán *et al.* (2022) publicaron que las hojas de moringa produjeron alrededor de 50 mL/g de DM; valores superiores a los reportados en el presente estudio en las hojas de moringa; lo que representó 29.4 % del biogás producido, valor similar al presente estudio. Mangar *et al.* (2022) reportaron una producción promedio de 28.23 mL de CH₄/g MD a las 24 h de incubación, lo que representó 11.7 % del biogás producido al mismo tiempo de fermentación; valores superiores al presente estudio en producción de CH₄. Sin embargo, en el presente estudio la producción de CH₄ representó 29.0 % del

total de biogás a las 24 h de incubación, valor superior al reportado por [Mangar et al. \(2022\)](#).

Las diferencias en la degradación de la materia seca (DMD) y la energía metabolizable (Me) entre los tipos de hojas sin senescencia del presente estudio se explican por su composición química (Tabla 1), particularmente por el contenido de proteína cruda y la fracción de carbohidratos estructurales (NDF y ADF). Las hojas de chaya mostraron mayores valores de DMD y ME (Tabla 3), lo que coincide con su menor contenido de fibras detergentes y mayor contenido de carbohidratos solubles. De modo que la fracción fibrosa reducida favoreció el acceso de la microbiota ruminal a los nutrientes y aceleró la fermentación, incrementando la energía disponible ([Mutungal & Shahada, 2023](#)).

Las hojas sin senescencia de guácimo presentaron la menor DMD y ME, que se atribuye a su contenido NDF y presencia de taninos condensados, los cuales disminuyen la digestibilidad al formar complejos insolubles con los carbohidratos estructurales ([Le Bodo et al., 2020](#); [Sosa-Pérez et al., 2025](#)). Las hojas de moringa mostraron valores intermedios de DMD y ME, consistentes con reportes previos que destacan su alto contenido proteico (25-30 %) y bajo nivel de fibra estructural ([Darboe et al., 2022](#); [Macambira et al., 2022](#)). Además, compuestos bioactivos como taninos y saponinas pueden modular la fermentación, reduciendo la degradación excesiva de proteína y favoreciendo un mejor aprovechamiento energético ([Sánchez-Santillán et al., 2022](#)).

La ME estimada a partir de la DMD en las tres especies concuerda con lo planteado por [Mendoza et al. \(2022\)](#), quienes señalan que la degradación *in vitro* de la materia seca constituye una herramienta práctica y confiable para predecir el aporte energético de forrajes tropicales. La DMD y ME en las hojas sin senescencia de chaya no presentaron diferencias a partir de las 36 h de incubación, las hojas de guácimo a partir de las 48 h y la hoja de moringa a partir de las 24 h ($p > 0.05$; Tabla 3). Con base en las condiciones del presente estudio, se puede establecer que el uso de la DMD para estimar el contenido de ME es a las 36, 48 y 24 h para las hojas de chaya, guácimo y moringa, respectivamente.

Por otra parte, las hojas sin senescencia de guácimo a las 24 h mostraron la menor DMD y contenido de ME ($p < 0.05$); en contraste, las hojas sin senescencia de chaya presentaron el mayor contenido de ME y DMD a las 36, 48, 60 y 72 h ($p < 0.05$; Tabla 3). La intención de medir degradabilidad y ME a diferentes tiempos en cada tipo de hoja fue porque es importante seleccionar adecuadamente el tiempo de incubación *in vitro* para hacer las estimaciones de ME ([Mendoza et al., 2022](#)). [Sánchez-Santillán et al. \(2022\)](#) estimaron 1.66 Mcal/kg de DM en hojas sin senescencia de moringa usando los valores de producción de biogás y contenido de proteína mediante una ecuación. [Hernández-Morales et al. \(2018\)](#) publicaron valores de DMD de 47.28 % en hoja de guácimo, por tanto con el modelo usado en el presente estudio para estimar ME, se obtuvo un valor de 1.71 Mcal/kg de DM; valores inferiores a los reportados en el presente estudio en las hojas sin senescencia de moringa y guácimo. [Aguilar-Ramírez et al. \(2000\)](#) reportaron que las hojas de chaya contienen 4.11 Mcal/kg de DM de energía bruta (BE), de modo que, usando las ecuaciones descritas por [Arruda & Ribeiro \(2009\)](#) para determinar energía digestible (DE) a partir de BE y la ecuación de [Mendoza et al. \(2022\)](#) para estimar ME a

partir de DE, el contenido de ME fue 2.29 Mcal/kg de DM, valores inferiores a los reportados en el presente estudio.

Tabla 3. Estimación de la degradación de materia seca y energía metabolizable a diferentes tiempos de incubación de tres hojas sin senescencia arbóreas mediante la técnica de producción de gas *in vitro*.

Tipo de hoja	Tiempo	Degradación de la materia seca (%)	Energía metabolizable (Mcal/kg DM)
Chaya	24	68.4 ^b	2.48 ^b
	36	73.4 ^a	2.66 ^a
	48	74.1 ^a	2.68 ^a
	60	74.3 ^a	2.69 ^a
	72	75.2 ^a	2.72 ^a
Guácimo	24	28.7 ^f	1.04 ^f
	36	37.7 ^e	1.36 ^e
	48	46.0 ^d	1.67 ^d
	60	45.4 ^d	1.64 ^d
	72	47.9 ^d	1.73 ^d
Moringa	24	62.9 ^c	2.28 ^c
	36	62.1 ^c	2.25 ^c
	48	62.4 ^c	2.25 ^c
	60	61.4 ^c	2.23 ^c
	72	63.3 ^c	2.29 ^c
SEM		2.14	0.08

^{a,b,c} Valores con letras diferentes en cada columna indican diferencias ($p < 0.05$). SEM = error estándar de la media. Fuente: Elaboración propiaTRAD

Es importante mencionar, es escasa la información sobre los diferentes tipos de hojas evaluados en el presente estudio de manera individual; hay literatura publicada

donde se incorporan las hojas de moringa, guácimo o chaya como parte de la dieta para cerdos de traspatio (Acosta *et al.*, 2023), cuyes (León, 2025), aves criollas (Aguilar-Ramírez *et al.*, 2000), pollos para engorda (Ramírez *et al.*, 2016), aves de postura (Darboe *et al.*, 2022), rumiantes (Contreras, 2026; Pineda, 2017). Esto radica en la importancia de estudios como el presente para establecer las bases nutricionales para su incorporación en la formulación de raciones.

Conclusiones

Las hojas sin senescencia de chaya, guácimo y moringa presentan características fermentativas y valores energéticos variables cuando se evalúan mediante técnicas *in vitro*. Bajo las condiciones del presente estudio, las hojas de chaya mostraron mayor potencial como insumo alternativo en la alimentación de rumiantes, seguida por las hojas de moringa, mientras que las hojas de guácimo presentaron degradaciones de la materia seca inferiores. Esto sugiere que el uso de recursos arbóreos locales puede contribuir a la alimentación de rumiantes en sistemas con restricciones forrajeras, siempre considerando las particularidades de cada especie.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, desarrollo de la metodología, análisis de resultados, escritura y preparación del manuscrito, SSP, MLS; manejo de software, manejo de datos, HPJ; redacción, revisión y edición, SSP, HPJ, MLS. Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada con fondos propios.

Declaraciones éticas

No aplica.

Declaración de consentimiento informado

No aplica

Agradecimientos

No aplica

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Acosta, E. H. A., Romay, Y. F., Vivas, W. F., Rivas, K. E. C., López, C. D. V., & Mendoza, J. D. H. (2023). Evaluación del potencial nutritivo de especies arbustivas tropicales para la alimentación de cerdos de traspatio. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(3), e2991. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:2991
- Aguilar-Ramírez, J., Santos-Ricalde, R., Pech-Martínez, V., & Montes-Pérez, R. (2000). Utilización de la hoja de Chaya (*Cnidoscolus chayamansa*) y de Huaxín (*Leucaena leucocephala*) en la alimentación de aves criollas. *Revista Biomédica*, 11(1), 17-24. <https://revistabiohub.uady.mx/revbiomed/article/view/215>
- Al-Wahaibi, A., Osman, A. I., Al-Muhtaseb, A. H., Alqaisi, O., Baawain, M., Fawzy, S., & Rooney, D. W. (2020). Techno-economic evaluation of biogas production from food waste via anaerobic digestion. *Scientific Reports*, 10(1), 15719. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72897-5>
- Amanzougarene, Z., & Fondevila, M. (2020). Fitting of the *in vitro* gas production technique to the study of high concentrate diets. *Animals*, 10(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/ani10101935>
- Arruda, A. M. V., & Ribeiro, L. B. (2009). Digestibilidade de subprodutos agroindustriais na alimentação de cavalos. *Archivos de Zootecnia*, 58(223), 451-454. <https://doi.org/10.21071/az.v58i223.5186>
- Cañaveral-Martínez, U. R., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Sánchez-Hernández, D., Herrera-Pérez, J., & Rojas-García, A. R. (2020). Características de calidad, bromatológicas y fermentativas *in vitro* de ensilado de mango maduro. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 8(Suplemento 1), 1. https://www.researchgate.net/publication/351335128_CHARACTERISTICAS_DE_CALIDAD_BROMATOLOGICAS_Y_FERMENTATIVAS_in_vitro_DE_ENSILADO_DE_MANGO_MADURO
- Contreras, G. F. E. (05 de julio de 2026). Evaluación de la Moringa oleífera como una alternativa alimentaria. *Dellait – Nutrición Animal & Salud*. <https://dellait.com/es/evaluacion-de-la-moringa-oleifera-como-una-alternativa-alimentaria-para-vacas-lecheras/>
- Darboe, A. K., Okeno, T. O., & Sayon, S. O. (2022). Review on use of *Moringa oleífera* leaf meal in diets of laying hens: Effect on egg production, and quality. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 7(8), 793-799. <https://www.ijisrt.com/assets/upload/files/IJISRT22AUG682.pdf>
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2001). *Norma oficial mexicana NOM-062-ZOO-1999, especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio*. <http://sidof.segob.gob.mx/notas/762506>
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2016). Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del acuífero Cuajinicuilapa, clave 1235, en el Estado de Guerrero, Región Hidrológico-Administrativa Balsas. Secretaría de Gobernación, México. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5446473

- Franzel, S., Wambugu, C., Arimi, H., & Stewart, J. (2008). *Sustainable Land Management Sourcebook*. World Bank.
https://www.researchgate.net/publication/285864111_Fodder_shrubs_for_improving_livestock_productivity_and_sustainable_land_management_in_East_Africa
- Fushai, F., Chitura, T., & Oke, O. E. (2025). Climate-smart livestock nutrition in semi-arid Southern African agricultural systems. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1507152. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1507152>
- Getachew, G., Robinson, P. H., DePeters, E. J., & Taylor, S. J. (2004). Relationships between chemical composition, dry matter degradation and *in vitro* gas production of several ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 111(1), 57-71. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00217-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00217-7)
- Hernández-Morales, J., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Herrera-Pérez, J., Rojas-García, A. R., Reyes-Vázquez, I., & Mendoza-Núñez, M. A. (2018). Composición química y degradaciones *in vitro* de vainas y hojas de leguminosas arbóreas del trópico seco de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(1), 105-120. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/4332/3796>
- Hill-Esquivel, Y., García-Mesa, L., Almora-Hernández, E., Lago-Abascal, V., Rodríguez-Jiménez, E., & Pereira-Cunil, L. B. (2025). Caracterización fitoquímica y actividad antioxidante de extractos de diferentes partes de *Moringa oleifera*. *Ingeniería Agrícola*, 15. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/2090>.
- Latimer Jr. G. W. (Ed.) (2023). *Official methods of analysis*: 22nd Edition. AOAC Publications. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.002.001>
- Le Bodo, E., Hornick, J.-L., Moula, N., Zuñiga, S. A., & Martínez-Alfaro, J. C. (2020). Assessment of gastrointestinal parasites and productive parameters on sheep fed on a ration supplemented with *Guazuma ulmifolia* leaves in southern Mexico. *Animals*, 10(9), 1617. <https://doi.org/10.3390/ani10091617>
- León, S. R. T. (2025). *Digestibilidad aparente y energía digestible de la harina de hojas de moringa (Moringa oleifera) en cuyes (Cavia porcellus)* [Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/00b60c83-0110-469f-8e58-11167d4a3b8b/content>
- Macambira, G. M., Rabello, C. B.-V., Navarro, M. I. V., Lopes, C. D. C., Lopes, E. C., Nascimento, G. R. D., Oliveira, H. S. D. H., & Silva, J. D. C. R. D. (2022). Effects of *Moringa oleifera* leaf meal on performance and carcass yield of broilers. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 51, e20210203. <https://doi.org/10.37496/rbz5120210203>
- Mangar, A., Muetzel, S., Malik, A., Bhuker, A., Mor, V., Molenaar, A., Sofkova-Bobcheva, S., Pain, S., & McGill, C. (2022). *Moringa oleifera* L.: A potential plant for greenhouse gas mitigation in temperate agriculture systems. *Agriculture*, 12(8), 1116. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081116>
- Mendoza, M. G. D., Hernández, G. P. A., Martínez, G. J. A., Arcos, G. J. L., & Lee, R. H. A. (2022). *Nutrición animal cuantitativa* (Primera). Editorial CBS. http://cbs1.xoc.uam.mx/publicaciones_1/docs/Libro_digital_Nutricion_Animal_Cuantitativa.pdf

- Mendoza, M. G. D., & Ricalde, R. V. (1993). *Alimentación de ganado bovino con dietas altas en granos* (1ra ed.). Universidad Autónoma Metropolitana. <https://casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/Bovinos.pdf>
- Mutungal, S., & Shahada, C. (2023). Nutritional composition, bioactive components and health benefits of *Chaya mansa*. *The Pharma Innovation*, 12(7), 133-138. <https://doi.org/10.22271/tpi.2023.v12.i7b.21448>
- Panghal, A., Shaji, A., Nain, K., Garg, M., & Chhikara, N. (2021). *Cnidoscolus aconitifolius*: Nutritional, phytochemical composition and health benefits – A review. *bioactive compounds in health and disease*, 4, 260. <https://doi.org/10.31989/bchd.v4i11.865>
- Pineda, M. O. (2017). *La Chaya (Cnidoscolus Aconitifolium), un recurso forrajero no tradicional propio de la región tropical del país*. Engormix. https://www.engormix.com/lecheria/forraje-fresco/chaya-cnidoscolus-aconitifolium-recurso_a40133/
- Ramírez, M., Sánchez, D. R., Jiménez, C., Guerrero, L., Juárez, C., & Rendón, J. I. (2016). *Evaluación de la inclusión de la hoja Moringa oleífera sobre parámetros productivos y color de piel de pollos de engorda*. Engormix. https://www.engormix.com/avicultura/pigmentacion-pollos/evaluacion-inclusion-hoja-moringa_a40013/
- Sánchez-Santillán, P., Rivera-Cristóbal, C., Torres-Salado, N., Almaraz-Buendía, I., & Herrera-Pérez, J. (2022). Características químicas y fermentativas *in vitro* de dietas para becerros con inclusiones crecientes de vaina y hojas de *Moringa oleífera*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(3), e2685. https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2685
- Scicutella, F., Foggi, G., Daghighi, M., Viti, C., Mele, M., & Buccioni, A. (2025). A review of *in vitro* approaches as tools for studying rumen fermentation and ecology: Effectiveness compared to *in vivo* outcomes. *Italian Journal of Animal Science*, 24(1), 589-608. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2025.2463507>
- Sosa-Pérez, G., Flores-Santiago, E. J., González-Garduño, R., Pérez-Hernández, P., & Lopez-Ortiz, S. (2025). *In situ* degradability of *Guazuma ulmifolia* Lam. fruits used in targeted nutrition for pelibuey sheep: Degradability of *Guazuma ulmifolia* fruits. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/qpddec63>
- Stolaroff, J. K., Keith, D. W., & Lowry, G. V. (2008). Carbon dioxide capture from atmospheric air using sodium hydroxide spray. *Environmental Science & Technology*, 42(8), 2728-2735. <https://doi.org/10.1021/es702607w>
- Texta, J. N., Sánchez-Santillán, P., Hernández, D. S., Torres, N. S., Crosby, M. G., Rojas-García, R. A., Herrera, J. P., & Maldonado-Peralta, M. (2019). Use of disaccharides and activated carbon to preserve cellulolytic ruminal bacterial consortiums lyophilized. *Revista MVZ Córdoba*, 24(3), 7305-7313. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1412>
- Torres-Salado, N., Sánchez-Santillán, P., Rojas-García, A. R., Herrera-Pérez, J., & Hernández-Morales, J. (2018). Producción de gases efecto invernadero *in vitro* de leguminosas arbóreas del trópico seco mexicano. *Archivos de Zootecnia*, 67(257), 55-59. <http://ri.uagro.mx/handle/uagro/1347>

Totakul, P., Matra, M., Sommai, S., & Wanapat, M. (2021). *Cnidioscolus aconitifolius* leaf pellet can manipulate rumen fermentation characteristics and nutrient degradability. *Animal Bioscience*, 34(10), 1607-1615.

<https://doi.org/10.5713/ab.20.0833>

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(10), Article 10.

[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

Zhang, H., An, D., Cao, Y., Tian, Y., & He, J. (2021). Modeling the methane production kinetics of anaerobic co-digestion of agricultural wastes using sigmoidal functions. *Energies*, 14(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/en14020258>

ARTÍCULO EN PRENSA