

## Evaluación *in vitro* e *in situ* de frutos de Guásimo (*Guazuma ulmifolia*) y Cubato (*Acacia cochliacantha*)

### *In vitro* and *in situ* evaluation of Guasimo (*Guazuma ulmifolia*) and Cubato (*Acacia cochliacantha*) fruits

Paulino Sánchez-Santillán<sup>1</sup> , Jerónimo Herrera-Pérez<sup>1</sup> , Vicente Homero González-Álvarez<sup>1</sup> , Marco Antonio Ayala-Monter<sup>1</sup> , Ricardo Martínez-Martínez<sup>2</sup> , Nicolás Torres-Salado<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2, Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Acapulco-Pinotepa Nacional km 197. CP. 41940. Cuajinicuilapa, Guerrero, México.

<sup>2</sup>Centro Universitario de la Costa Sur Universidad de Guadalajara Autlán de Navarro. Avenida Independencia Nacional 151, Centro, CP. 48900. Guadalajara, Jalisco, México.

\*Autor de correspondencia: [nivigas@yahoo.com.mx](mailto:nivigas@yahoo.com.mx)

#### Artículo científico

Recibido: 21 de marzo 2024

Aceptado: 02 de julio 2024

**RESUMEN.** Los frutos de especies arbóreas del trópico seco como el Guásimo (*Guazuma ulmifolia*) y el Cubato (*Acacia cochliacantha*) representan alternativas locales para la suplementación de rumiantes. El objetivo fue evaluar la producción y composición del biogás *in vitro* y la digestibilidad *in situ* de estos frutos. Se incubaron muestras deshidratadas de ambos frutos en biodigestores para medir la producción de biogás por 72 h de incubación en un sistema cerrado. La digestibilidad *in situ* fue fermentando bolsas de poli-seda en el rumen de dos vacas fistuladas por 72 h y con esos valores se estimó la cinética. El diseño experimental fue un completamente al azar. Los resultados mostraron que la producción y composición de biogás no presentaron diferencias entre frutos ( $P > 0.05$ ); sin embargo, Guásimo presentó mayor digestibilidad *in situ* en los tiempos medidos ( $P \leq 0.05$ ), fracción rápida digestibilidad y velocidad a la que la fracción potencialmente digestible. Se concluye, el Guásimo mostró mejor aprovechamiento ruminal, por lo que puede considerarse una opción eficiente como suplemento forrajero en regiones tropicales.

**Palabras clave:** Digestibilidad, leguminosas, biogás, metano, trópico.

**ABSTRACT.** The fruits of dry tropical tree species such as Guasimo (*Guazuma ulmifolia*) and Cubato (*Acacia cochliacantha*) represent local alternatives for ruminant supplementation. The objective was to evaluate the production and composition of biogas *in vitro* and the *in situ* digestibility of these fruits. Dehydrated samples of both fruits were incubated in biodigesters to measure biogas production for 72 h of incubation in a closed system. *In situ* digestibility was by fermenting poly-silk bags in the rumen of two fistulated cows for 72 h and with these values the kinetics were estimated. The experimental design was completely randomized. The results showed that the production and composition of biogas did not present differences between fruits ( $P > 0.05$ ); however, Guasimo presented higher *in situ* digestibility in the measured times ( $P \leq 0.05$ ), fast digestibility fraction and speed at which the potentially digestible fraction. In conclusion, Guasimo showed better rumen utilization, so it can be considered an efficient option as a forage supplement in tropical regions.

**Keywords:** Digestibility, legumes, biogas, methane, tropics

**Como citar:** Sánchez-Santillán P, Herrera-Pérez J, González-Álvarez VH, Ayala-Monter MA, Martínez-Martínez R, Torres-Salado N (2025) Evaluación *in vitro* e *in situ* de frutos de Guásimo (*Guazuma ulmifolia*) y Cubato (*Acacia cochliacantha*). Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(2): e4094 DOI: 10.19136/era.a12n2.4094.

## INTRODUCCIÓN

En las regiones tropicales, los bovinos alimentados con forrajes de baja calidad pueden generar hasta 17 g de metano entérico (CH<sub>4</sub>) por kg de materia seca consumida, lo que representa una contribución significativa a las emisiones globales de este biogás (Ku-Vera *et al.* 2020). Frente a esta problemática, diversas investigaciones exploran el uso de árboles y arbustos tropicales, cuyos frutos y follajes contienen compuestos bioactivos como taninos condensados, saponinas y almidones, con capacidad para reducir entre 10 y 25% las emisiones de CH<sub>4</sub>, dependiendo de la especie y el nivel de inclusión (Azevedo *et al.* 2021, Ruden *et al.* 2023, Tresia *et al.* 2023).

En este contexto, los árboles y arbustos forrajeros del trópico constituyen una herramienta estratégica para la alimentación de rumiantes, particularmente durante la época de estiaje. Estas especies presentan buena adaptabilidad, contenido nutritivo variable (7.9 a 20.2% de proteína cruda y 2.5 a 3.3 Mcal kg<sup>-1</sup> de energía metabolizable), y pueden integrarse en sistemas silvopastoriles o en la suplementación estratégica (Ángeles-Mayorga *et al.* 2022, Yisehak y Adane 2024). Entre ellas destacan Guásimo (*Guazuma ulmifolia*) y Cubato (*Acacia cochliacantha*) ampliamente distribuidas en zonas tropicales de México.

El Cubato es una leguminosa arbustiva de hasta 4.5 m de altura, cuyo fruto es una vaina aplanada de hasta 17 cm, utilizada tradicionalmente como fuente forrajera junto con sus hojas (Muñoz-López *et al.* 2023). Por su parte, Guásimo es un árbol melífero de usos múltiples, cuyo fruto es reconocido por sus propiedades antifúngicas, antiinflamatorias y su aceptabilidad en rumiantes (Hernández-Morales *et al.* 2018). Ambas especies presentan características fermentativas deseables *in vitro*, por lo que su inclusión en dietas podría mejorar la fermentación ruminal, optimizar el aprovechamiento de nutrientes y reducir la dependencia de suplementos comerciales (Muñoz-López *et al.* 2023).

La evaluación del valor nutritivo y fermentativo de estos frutos puede realizarse mediante técnicas como la producción de gas *in vitro*, que permite estimar el contenido energético mediante la medición de los gases producidos en condiciones controladas. Así mismo, la técnica de digestibilidad *in situ* proporciona información directa y confiable sobre la velocidad digestión de la materia seca del alimento, bajo condiciones reales (Foster *et al.*, 2023). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la producción y composición de biogás *in vitro* y la digestibilidad *in situ* de los frutos de Guásimo y Cubato como una estrategia nutricional viable para mejorar la eficiencia fermentativa en rumiantes bajo condiciones tropicales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar de estudio

El estudio se realizó en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2, de la Universidad Autónoma de Guerrero; ubicado en el km 197 de la carretera Acapulco-Pinotepa Nacional, Cuajinicuilapa, Guerrero, México.

## Muestras

Los frutos maduros de Guásimo y de Cubato se recolectaron en el municipio de Cuajinicuilapa, Guerrero. Se seleccionaron 2 árboles de cada especie y se recolectaron 4 kg de fruto fisiológicamente maduros del suelo, se mezclaron y de ahí se tomaron las muestras. Los frutos se depositaron en bolsas de papel y se trasladaron al Laboratorio de Nutrición Animal para su análisis.

## Análisis químico

Los frutos maduros se deshidrataron para determinar materia seca (MS, método #967.03; AOAC 2005). Las muestras se molieron primero en un molino de martillos (M.A.GRO® TR-3500) y después en un molino portátil (Estrella, México) para obtener un tamaño de partícula de 1 mm. A cada muestra se determinó proteína cruda (PC; método #920.105) y cenizas (Ce; método #942.05) según AOAC (2005). La fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se determinaron según la metodología de Van-Soest *et al.* (1991). El contenido de materia orgánica (MO) se obtuvo al restar a 100 el porcentaje de Ce (Tabla 1).

**Tabla 1.** Análisis químico de los frutos maduros de Cubato y Guásimo.

Nutriente	Cubato	Guásimo
Materia seca (%)	96.9	98.3
Materia orgánica (%)	93.6	92.0
Cenizas (%)	6.4	8.0
Fibra detergente neutro (%)	64.8	59.7
Fibra detergente ácido (%)	47.1	45.4
Proteína cruda (%)	10.0	9.9

## Producción de biogás *in vitro*

Los biodigestores se elaboraron en un vial serológico (120 mL), cinco repeticiones por cada fruto; al cual se agregó 0.5 g de fruto de Guásimo o Cubato a peso constante y 40 mL de medio de cultivo (50.9% de agua destilada, 30% de fluido ruminal clarificado, 5% de solución mineral I, 5% solución mineral II, 5% de solución buffer, 0.1% de resazurina a 0.1 y 4% de solución reductora), todo bajo flujo continuo de CO<sub>2</sub> para mantener condiciones de anaerobiosis (Cañaverl-Martínez *et al.* 2020). Los viales se sellaron con un tapón de neopreno y un arillo de aluminio con centro removible. Los biodigestores se colocaron en una incubadora (Ecoshel 9082, México) a 39° C y se inocularon con 10 mL de líquido ruminal fresco. El líquido ruminal se obtuvo de un bovino provisto de una cánula ruminal, alimentado en praderas con pasto pangola. El bovino se manejó de acuerdo con el reglamento interno de bioética y bienestar de la UAGro con fundamento de las normas oficiales (NOM-062-ZOO-1999). La producción de biogás se midió mediante el desplazamiento del émbolo de una jeringa de vidrio (50 mL; BD Yale®, Brasil) a las 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48 y 72 h de incubación. La producción acumulada de biogás se reportó a las 24, 48 y 72 h.

La producción de metano (CH<sub>4</sub>) se midió con base en la metodología de Stolaroff *et al.* (2008) modificada por Torres-Salado *et al.* (2018); usando trampas de NaOH (2N), donde el CO<sub>2</sub> reacciona NaOH y produce Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; por lo que la producción de CH<sub>4</sub> se consideraron los mL desplazados de

la solución NaOH (2N) a las 12, 24 y 72 h de incubación. La producción de CO<sub>2</sub> se obtuvo al restar al biogás, la producción de metano; según los tipos de gases que se producen dentro de una técnica de producción gas *in vitro* (Amanzougarene y Fondevila 2020).

### Digestibilidad *in situ* de materia seca

Se usaron dos vacas de la raza Suiz-Bu (400 ± 30 kg de PV) fistuladas provistas de una cánula ruminal (4" Ø interno, Bar Diamond®, Parma, Idaho, USA). A las vacas se ofreció 3% del PV de alimento compuesto por 20% de suplemento (melaza 10%, urea 3%, minerales 3%, sal común 3%, pasta de soya 40% y grano de maíz 41%) y el resto pastorearon en praderas de pasto pangola y agua a libre acceso. Además, se manejaron de acuerdo con el reglamento interno de bioética y bienestar de la UAGro con fundamento en las normas oficiales (NOM-062-ZOO-1999). En bolsas de poli-seda a peso constante (10 X 20 cm, con un poro promedio de 40 µm) se colocaron 5 g de fruto de Guásimo o Cubato y se sellaron con cinchos de plástico (100 X 2.5 mm). Los tratamientos (triplicado) se incubaron en el rumen a las 0, 3, 6, 9, 12, 16, 24, 36, 48, 72 y 96 h. Cabe destacar que las bolsas se insertaron en orden inverso al tiempo de incubación para retirar simultáneamente todas las muestras después del periodo de incubación. Las bolsas extraídas del rumen se enjuagaron inmediatamente con agua corriente fría hasta que el agua de enjuague fuera clara. Los tratamientos de 0 h no se incubaron en rumen, únicamente se enjuagaron con el mismo protocolo de aquellas que se incubaron en rumen. Las bolsas con residuo se secaron a 55 °C por 72 h y se pesaron para determinar desaparición de MS por diferencia de peso. Los estimadores de la cinética de digestibilidad *in situ* de MS se calcularon utilizando la ecuación:

$$P = a + b[1 - e^{-c*t}]$$

Donde: P = digestibilidad ruminal en el tiempo t (%); a = la fracción digestible rápidamente soluble; b = la fracción lenta o potencialmente digestible; c = la velocidad a la que b se digiere; t = tiempo (h) de incubación en el rumen.

### Análisis estadístico

Las variables de producción acumulada de biogás *in vitro* y digestibilidad *in situ* se analizaron en un diseño completamente al azar. Los datos se analizaron con el procedimiento PROC GLM de SAS (2011). Los valores promedio se compararon con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Cabe resaltar, se usó la prueba de Shapiro-Wilk para confirmar que los datos siguieron una distribución normal y la prueba de Bartlett para el supuesto de homocedasticidad de los datos (SAS 2011).

## RESULTADOS

La producción acumulada de biogás y la composición de este no mostró diferencias entre frutos (P > 0.05, Tabla 2). De modo que a las 24 h promediaron 105.8 mL g<sup>-1</sup> MS (15.7% CH<sub>4</sub> y 84.4% CO<sub>2</sub>); a las 48 y 72 h fueron 137.4 y 153.4 mL g<sup>-1</sup> MS (14.0% CH<sub>4</sub> y 86.0% CO<sub>2</sub>; ambos tiempos) (Tabla 2).

El fruto maduro de Guásimo presentó 27.5, 16.8, 26.3 y 10.7% mayor digestibilidad *in situ* que Cubato a las 12, 24, 48 y 72 h de fermentación (P ≤ 0.05). En el caso de los estimadores de la cinética de digestibilidad, ambos frutos no presentaron diferencias en la fracción lenta o potencialmente

digestible ( $P > 0.05$ ); pero, Guásimo mostró mayor velocidad de digestión de la fracción potencialmente digestible y fracción digestible rápidamente ( $P \leq 0.05$ , Tabla 3).

**Tabla 2.** Producción de gas *in vitro* de los frutos maduros de Cubato y Guásimo.

Frutos	Biogás (mL g <sup>-1</sup> MS)			Metano (mL g <sup>-1</sup> MS)			CO <sub>2</sub> (mL g <sup>-1</sup> MS)		
	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
Cubato	105.1	142.7	158.8	16.18	19.28	23.82	89.0	118.8	134.9
Guásimo	106.5	132.1	148.0	16.96	19.08	19.28	89.6	112.9	128.7
EEM	3.92	4.86	4.95	1.3	1.63	1.75	1.3	1.63	1.75

Literales diferentes dentro de misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). EEM: error estándar de la media. CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono. MS: materia seca

**Tabla 3.** Digestibilidad *in situ* y estimadores de la cinética de frutos maduros de Cubato y Guásimo

Variable	Tiempo fermentación (h)	Cubato	Guásimo	EEM
Degradación de materia seca (%)	12	33.66 <sup>b</sup>	42.9 <sup>a</sup>	1.44
	24	37.47 <sup>b</sup>	43.78 <sup>a</sup>	1.1
	48	37.55 <sup>b</sup>	47.42 <sup>a</sup>	1.59
	72	41.05 <sup>b</sup>	45.43 <sup>a</sup>	0.95
Cinética de las fracciones de MS				
Fración digestible rápidamente o soluble ( <i>a</i> , %)		13.70 <sup>b</sup>	21.85 <sup>a</sup>	3.09
Fración lenta o potencialmente digestible ( <i>b</i> , %)		25.45	23.23	2.86
Velocidad a la que <i>b</i> se digiere ( <i>c</i> , %)		0.13 <sup>b</sup>	0.27 <sup>a</sup>	0.04

Literales diferentes dentro de misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). DMS: digestibilidad de la materia seca. EEM: error estándar de la media

## DISCUSIÓN

El presente estudio describe la producción y composición del biogás *in vitro* y la digestibilidad *in situ* de los frutos de Guásimo y Cubato de la localidad de Cuajinicuilapa, Guerrero. Las leguminosas leñosas son valiosas por sus características nutricionales, económicas y ecológicas; ayudan a la recuperación de tierras debido a su capacidad para fijar nitrógeno y controlar la erosión, además de su capacidad para mejorar la composición mineral del suelo y la biodiversidad microbiana (Castro *et al.* 2017). Actualmente, este tipo de recursos adquirieron importancia como forrajes de calidad para el ganado (Castro-Montoya y Dickhoefer 2020).

A nivel mundial, una de las principales fuentes de gases de efecto invernadero del sector agropecuario es la emisión de CH<sub>4</sub> producido por los rumiantes. Debido a esto, es necesario determinar que especies forrajeras tienen la capacidad de mejorar la dieta del ganado y, además, reducir las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> (Valencia-Salazar *et al.* 2021). Así mismo, la producción de biogás indica de manera indirecta la disponibilidad de los carbohidratos, ya que las limitaciones

de la técnica de producción de gas *in vitro*, solo se considera los carbohidratos como responsables de la producción de biogás (Amanzougarene y Fondevila 2020). Por lo que se infiere que los frutos de Guásimo y Cubato contienen la misma cantidad de carbohidratos disponibles para su fermentación ruminal al no presentar diferencias en la producción acumulada y composición del biogás (Tabla 2). Valores similares de producción de CH<sub>4</sub> fueron reportados por Muñoz-López *et al.* (2023) en frutos de Cubato (16, 19, y 24 mL<sup>-1</sup> g MS) y Guásimo (17, 19, y 19 mL g<sup>-1</sup> MS) a 24, 48 y 72 h; respectivamente. En otro estudio, Pal *et al.* (2015) evaluaron diferentes especies de *Acacia*; reportando una producción de metano de 15, 13, 10, 13, 9, 13, y 11 mL<sup>-1</sup> g MS para *A. excelsa*, *A. heterophyllus*, *A. indica*, *A. lebeck*, *A. nilotica*, *A. senegal* y *A. tortilis*, respectivamente. Sin embargo, aunque la especie *A. cochliacantha* (Cubato) no se incluyó en el estudio, los niveles de producción de CH<sub>4</sub> son cercanos al presente estudio. Para el caso de Guásimo (*G. ulmifolia*), Ramírez-Díaz *et al.* (2023) midieron la producción de CH<sub>4</sub>, reportando valores de 8.48 mL<sup>-1</sup> g MS a las 24 h de incubación, valores inferiores al presente estudio. De modo que, las diferencias en la producción de CH<sub>4</sub> se relacionan directamente con el tipo de carbohidratos contenidos por los frutos y su madurez fisiológica.

La digestibilidad y su cinética *in situ* permite saber el comportamiento de un alimento a nivel ruminal. Los frutos de Guásimo y Cubato mostraron digestibilidades menores a 60%, porque su contenido de fibra detergente neutro es alto (Tabla 1). A nivel fisiológico, ambos frutos al ser maduros presentaron una interacción entre la lignina y la celulosa y hemicelulosa durante su maduración, lo que reduce su digestibilidad (Hoffman *et al.* 2007). Sobre lo mismo Gómez-Gurrola *et al.* (2014) reportaron valores inferiores de digestibilidad *in situ* en ovinos (48.3 %) y estimador *b* (37.5%); así como superiores en los estimadores *a* (6.5%) y *c* (0.025%) al presente estudio con frutos maduros de Guásimo. Por su parte, Sosa-Pérez *et al.* (2023) publicaron valores inferiores de digestibilidad *in situ* en ovinos (39.1%), pero superiores en los estimadores de la cinética de digestibilidad *in situ* (*a* = 14.0%, *b* = 33.5% y *c* = 5.90%) en frutos maduros de Cubato al presente estudio. Lo anterior, se relaciona directamente con la composición química de las muestras evaluadas, ya que los compuestos secundarios de estos frutos pueden inhibir algunas enzimas de las bacterias ruminales y de esta manera reducir protozoarios y bacterias celulolíticas, así mismo las diferencias en los resultados están íntimamente ligadas a los modelos animales empleados en el experimento (Cardoso-Gutiérrez *et al.* 2021).

## CONCLUSIONES

Los frutos maduros de Guásimo y Cubato representan una alternativa forrajera viable para las regiones tropicales, al contribuir con la producción de biogás y características fermentativas favorables. Pero los frutos Guásimo mostraron mayor digestibilidad *in vitro* y velocidad de digestibilidad ruminal, por lo que son una mejor alternativa forrajera.

## AGRADECIMIENTOS

Al cuerpo académico UAGRO-CA-183 producción sustentable de rumiantes en el trópico, por el apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## LITERATURA CITADA

- 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>
- Ángeles-Mayorga Y, Cen-Cen ER, Crosby-Galván MM, Ramírez-Bribiesca JE, Candelaria-Martínez B, Sánchez-Villarreal A, Ramírez-Mella M (2022) Foliage of tropical trees and shrubs and their secondary metabolites modify *in vitro* ruminal fermentation, methane and gas production without a tight correlation with the microbiota. *Animals* 12(19). <https://doi.org/10.3390/ani12192628>
- AOAC (2005) Official methods of analysis. 18th Edition. Association of Official Agricultural Chemists. Washington DC, USA. 2590p.
- Ascanio GN, Elías AD, Santini F, Rodríguez R, Herrer F (2017) *In situ* disappearance speed of a hard molasses block on low quality forage. *Cuban Journal of Agricultural Science* 51(4): 443-446.
- Azevedo RP, Alves NM, Costa IA, Domingues MIS, Bandória NA, de Figueiredo UJ, de Medeiros FHV, Silva BM, Cardoso PG (2021) Endophytic fungi assures tropical forage grass growth by water stress tolerances. *Curr Microbiol* 78(12): 4060-4071. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02672-w>
- Cabrera-Núñez A, Lammoglia-Villagomez M, Alarcón-Pulido S, Martínez-Sánchez C, Rojas-Ronquillo R, Velázquez-Jiménez S (2019) Árboles y arbustos forrajeros utilizados para la alimentación de ganado bovino en el norte de Veracruz, México. *Abanico Veterinario* 9: 1-12. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2019.913>
- Cañaveral-Martínez UR, Sánchez-Santillán P, Torres-Salado N, Sánchez-Hernández D, Herrera-Pérez J, Rojas-García AR (2020) Características de calidad, bromatológicas y fermentativas *in vitro* de ensilado de mango maduro. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 8(Suplemento 1): 82-90.
- Cardoso-Gutiérrez E, Aranda-Aguirre E, Robles-Jiménez LE, Castelán-Ortega OA, Chay-Canul AJ, Foggi G, Angeles-Hernandez JC, Vargas-Bello-Pérez E, González-Ronquillo M (2021) Effect of tannins from tropical plants on methane production from ruminants: A systematic review. *Veterinary and Animal Science* 14: 100214. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2021.100214>
- Castro D, Urzua J, Rodriguez-Malebran M, Inostroza-Blancheteau C, Ibáñez C (2017) Woody leguminous trees: New uses for sustainable development of drylands. *Journal of Sustainable Forestry* 36: 764-786.
- Castro-Montoya JM, Dickhoefer U (2020) The nutritional value of tropical legume forages fed to ruminants as affected by their growth habit and fed form: A systematic review. *Animal Feed Science and Technology* 269: 114641. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114641>
- Foster JL, Smith WB, Rouquette FM, Tedeschi LO (2023) Forages and pastures symposium: an update on *in vitro* and *in situ* experimental techniques for approximation of ruminal fiber degradation. *Journal Animal Science* 101. <https://doi.org/10.1093/jas/skad097>

- García DE, Medina MG, Humbría J, Domínguez C, Baldizán A, Cova L, Soca M (2006) Composición proximal, niveles de metabolitos secundarios y valor nutritivo del follaje de algunos árboles forrajeros tropicales. *Archivos de Zootecnia* 55(212): 373-384.
- Gómez-Gurrola A, Partida-Hernández M, Ramírez-Duran R, Ramírez-Ramírez JC, Gómez-Gurrola JA, González-Mormita M, Sanginés-García L (2014) Efecto de la inclusión del fruto de *Guazuma ulmifolia* como sustituto de maíz en la dieta sobre el comportamiento productivo y rendimiento en canal de ovinos Pelibuey. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17(2): 215-222.
- Guzmán O, Lemus-Flores C, Bugarín J, Bonilla J, González-Vizcarra VLJ (2019) Degradabilidad ruminal *in situ* de ensilado de residuos de mango (*Mangifera indica* L.) y rastrojo de maíz. *Cuban Journal of Agricultural Science* 53(2): 139-148
- Hernández-Morales J, Sánchez-Santillán P, Torres-Salado N, Herrera-Pérez J, Rojas-García AR, Reyes-Vázquez I, Mendoza-Núñez MA (2018) Composición química y degradaciones *in vitro* de vainas y hojas leguminosas arbóreas del trópico seco de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 9(1): 105-120. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4332>
- Hoffman PC, Lundberg LM, Shaver RD, Contreras-Govea FE (2007) El Efecto de la madurez en la digestibilidad del FDN (fibra detergente neutro). *Focus on Forage* 15(5): Article 5.
- Hristov AN, Oh J, Firkins L, Dijkstra J, Kebreab E, Waghorn G, Makkar HPS, Adesogan, T, Yang W, Lee C, Gerber PJ, Henderson B, Tricarico JM (2013) Special topics - Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science* 91: 5045-5069. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583>
- Ku-Vera JC, Castelán-Ortega OA, Galindo-Maldonado FA, Arango J, Chirinda N, Jiménez-Ocampo R, Valencia-Salazar SS, Flores-Santiago EJ, Montoya-Flores MD, Molina-Botero IC, Piñeiro-Vázquez AT, Arceo-Castillo JL, Aguilar-Pérez CF, Ramírez-Avilés L, Solorio-Sánchez FJ (2020) Review: Strategies for enteric methane mitigation in cattle fed tropical forages. *Animal* 14(S3): s453-s463. <https://doi.org/10.1017/s1751731120001780>
- Lavrenčič A, Stefanon B, Susmel P (1997) An evaluation of the Gompertz model in degradability studies of forage chemical components. *Animal Science* 64(3): 423-431. <https://doi.org/10.1017/S1357729800016027>
- Muñoz-López S, Sánchez-Santillán P, Saavedra-Jiménez LA, Bottini-Luzardo MB (2023) Evaluación de la vaina de cubato (*Acacia cochliacatha*) y fruto de guásimo (*Guazuma ulmifolia*) mediante la técnica de producción de gas *in vitro*. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 31: 257-261: <https://doi.org/10.53588/alpa.310544>
- Pal K, Patra AK, Sahoo A, Kumawat PK (2015) Evaluation of several tropical tree leaves for methane production potential, degradability and rumen fermentation *in vitro*. *Livestock Science* 180: 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.07.011>
- Ramírez-Díaz R, Pinto-Ruiz R, Miranda-Romero LA, La O-Arias MA, Hernández-Sánchez D, Raj-Aryal D (2023) Predicción de metano de dos frutos arbóreos por cromatografía de gases y gas *In vitro*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10(3): e3602. <https://doi.org/10.19136/era.a10n3.3602>
- Rojas-Hernández S, Olivares-Pérez J, Quiroz-Cardoso F, Villa-Mancera A, Cipriano-Salazar M, Camacho-Díaz LM, Reynoso-Palomar A (2016) Diagnóstico de la palatabilidad del fruto de tres árboles forrajeros en rumiantes. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3(7): 121-127.
- Román-Miranda ML, Palma JM, Zorrilla J, Mora A, Gallegos A (2008) Degradabilidad *in situ* de la materia seca de la harina del fruto de guacima, *Guazuma ulmifolia*, con dietas de frutos de especies arbóreas. *Zootecnia Tropical* 26(3): 227-230.
- Ruden A, Rivera B, Vargas JE, López S, Gaviria X, Chirinda N, Arango J (2023) Evaluation of a Model (RUMINANT) for Prediction of DMI and CH<sub>4</sub> from Tropical Beef Cattle. *Animals* 13(4). <https://doi.org/10.3390/ani13040721>



- SAS (2011) SAS/STAT Software® 9.3. SAS Institute Inc. Statistical Analysis System. Cary, NC, USA. 208p.
- Sosa-Pérez G, López-Ortiz S, Pérez-Hernández P, Vaquera-Huerta H, Galván MMC, Gallegos-Sánchez J (2023) Degradability of the dry matter and crude protein of fruits of *Chloroleucon mangense* and *Acacia cochliacantha* in sheep. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 58: e03026. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.03026>
- Stolaroff JK, Keit DW, Lowr GV (2008) Carbon dioxide capture from atmospheric air using sodium hydroxide spray. *Environmental Science & Technology* 42(8): 2728-2735. <https://doi.org/10.1021/es702607w>
- Torres-Salado N, Sánchez-Santillán P, Rojas-García AR, 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. <https://doi.org/10.21071/az.v67i257.3491>
- Tresia GE, Anggraeny YN, Winarsih WH, Setiasih S, Rohaeni ES, Mariyono M, Pamungkas D (2023) Nonessential amino acids in tropical ruminant feed: Investigating grass and legume forages of Indonesia. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research* 10(4): 820-829. <https://doi.org/10.5455/javar.2023.j739>
- Valencia-Salazar SS, Jiménez-Ferrer G, Arango J, Molina-Botero I, Chirinda N, Piñeiro-Vázquez A, Jiménez-Ocampo R, Nahed-Toral J, Kú-Vera J (2021) Enteric methane mitigation and fermentation kinetics of forage species from Southern Mexico: *In vitro* screening. *Agroforestry Systems* 95: 293-305. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00585-4>
- Van-Soest PJ, Robertson BJ, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science* 74(10): 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Yisehak K, Adane K (2024) Feed resources, feeding system and feed balance of dairy cattle in Chencha District, Southern Ethiopia. *Veterinary Medicine Science*, 10(6), e70019. <https://doi.org/10.1002/vms3.70019>