

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Evaluación a nivel de laboratorio de vainas maduras de algarrobo, parota y cubato

Laboratory evaluation of ripe carob, parota and cubato pods

Authors/Autores: Sánchez-Santillán P., Torres-Salado N., Herrera-Pérez J., Torres-Ramírez, J. C.

ID: e1904

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1904>

Received/Fecha de recepción: January 23th 2025

Accepted /Fecha de aceptación: December 12th 2025

Available online/Fecha de publicación: January 26th 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Sánchez-Santillán P., Torres-Salado N., Herrera-Pérez J., Torres-Ramírez, J. C. (2025). Laboratory evaluation of ripe carob, parota and cubato pod. *Revista Bio Ciencias*, 13, e1904. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1904>

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

Evaluación a nivel de laboratorio de vainas maduras de algarrobo, parota y cubato

Laboratory evaluation of ripe carob, parota and cubato pods

Evaluación *in vitro* de vainas leguminosas/

In vitro evaluation of legume pods

Sánchez-Santillán P.¹()¹, Torres-Salado N.¹ ()¹Herrera-Pérez J.¹ ()¹, Torres-Ramírez, J. C.^{2*} ()²

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

²Facultad Maya de Estudios Agropecuarios, Universidad Autónoma de Chiapas. Carretera Catazajá-Palenque Km. 4. C. P. 29980. Catazajá, Chiapas, México

*Corresponding Author:

[Juan Carlos Torre-Ramírez](#), Facultad Maya de Estudios Agropecuarios, Universidad Autónoma de Chiapas. Carretera Catazajá-Palenque Km. 4. C. P. 29980. Catazajá, Chiapas, México. Teléfono: (444) 428 8313. E-mail: carlos.torres@unach.mx

RESUMEN

En el trópico, la recolección de vainas de leguminosas para alimentar al ganado durante el período seco es una práctica común, pero requieren caracterización nutrimental. El objetivo fue determinar el contenido químico, producción de gas y estimadores de la cinética de fermentación con la técnica de producción de gas *in vitro* de las vainas de algarrobo, parota y cubato. Se obtuvieron vainas de algarrobo (*Samanea saman*), cubato (*Acacia cochliacantha*) y parota (*Enterolobium cyclocarpum*) para determinar contenido de nutrientes, producción de gas *in vitro*, cinética de producción de gas y fracciones de fermentación. El diseño experimental fue completamente al azar. La diferencia entre medias fue con la prueba de Tukey. La vaina de algarrobo presentó menor contenido de cenizas, fibra detergente neutro, extracto libre de nitrógeno, fracción rápida de fermentación; la vaina de cubato presentó menor contenido de materia orgánica y energía metabolizable; la vaina de parota mostró mayor contenido de proteína, producción acumulada de gas en las primeras 12 h y a 72 h de incubación, fracciones lenta y totales de fermentación, máximo potencial producción de gas y fase de retardo del tiempo lag ($p < 0.05$). Se concluye, la vaina madura de parota mostró mejores características químico-bromatológicas y fermentativas *in vitro* a nivel laboratorio, por lo que es una alternativa para usarse en la alimentación de rumiantes.

PALABRAS CLAVE:

Producción gas, *in vitro*, fracciones fermentativas, cinética de producción gas, leguminosas, trópico, bromatológico.

ABSTRACT

In the tropics, collecting legume pods to feed livestock during the dry season is a common practice; however, they require nutritional characterization. The objective was to determine the chemical composition, gas production, and fermentation kinetics estimators using the *in vitro* gas production technique for pods of rain tree, devil's ear tree, and boat-thorn acacia. Pods of rain tree (*Samanea saman*), boat-thorn acacia (*Acacia cochliacantha*), and devil's ear tree (*Enterolobium cyclocarpum*) were obtained to determine nutrient content, *in vitro* gas production, gas production kinetics, and fermentation fractions. A completely randomized experimental design was used. Mean differences were assessed using Tukey's test. Rain tree pods had lower ash, neutral detergent fiber, nitrogen-free extract, and rapidly fermentable fraction contents; boat-thorn acacia pods had lower organic matter and metabolizable energy contents; devil's ear tree pods showed higher protein content, cumulative gas production during the first 12 h and at 72 h of incubation, slow and total fermentation fractions, maximum gas production potential, and lag time phase ($p < 0.05$). In conclusion, mature devil's ear tree pods exhibited superior chemical-bromatological and *in vitro* fermentative features at the laboratory level, making them a viable alternative for ruminant feeding.

KEY WORDS:

Gas production, *in vitro*, fermentation fractions, gas production kinetics, legumes, tropics, bromatology.

Introducción

Los árboles leguminosos tropicales pueden mejorar el valor nutritivo de los alimentos para animales. Estos se usan como fuentes de forraje, leña o madera en África, Asia, Australia y América. El uso de las vainas tiene interés en el ámbito de la investigación por las instituciones que realizan investigaciones sobre su uso en esas zonas. Algunas especies están ahora ampliamente distribuidas y se utilizan fuera de su país de origen. El follaje, las flores y las vainas de las leguminosas arbóreas se pueden utilizar; a pesar de que los árboles leguminosos se plantan a menudo para dar sombra (Blair *et al.*, 1990).

Los árboles y arbustos forrajeros desempeñan un papel importante en la alimentación de rumiantes como proveedores de proteína en condiciones ambientales adversas. Estos representan una alternativa como fuente de proteína para los rumiantes en los trópicos (Devendra, 1991; Zapata-Campos *et al.*, 2020). La recolección de vainas para alimentar al ganado durante el período seco es una práctica común entre los agricultores de pequeña escala en áreas tropicales secas; sin embargo, esta práctica no ha sido ampliamente adoptada debido a la

dificultad que implica la recolección de las vainas (Esquivel-Mimenza *et al.*, 2014).

El algarrobo (*Samanea saman*) pertenece a la familia Fabaceae, nativa de los trópicos secos americanos, extendiéndose desde México hasta América del Sur (Cisneros, 2018). Es un árbol caducifolio de 25 a 30 m de altura con una copa extendida en forma de paraguas cuyo diámetro supera la altura del árbol. El fruto es una vaina alargada, comprimida, indehiscente, de 10 a 22 cm de largo, de 1.5 a 2.2 cm de ancho y 0.5 a 1 cm de espesor. Las vainas son verdes y carnosas antes de madurar y se vuelven marrones en la maduración. El mesocarpio es pulposo, dulce, que contiene de 5 a 10 semillas por vaina. Las semillas son elipsoides, fuertemente biconvexas, de 8 a 11.5 mm de largo y 5 a 7.5 mm de ancho, con un pleurograma característico en forma de U (Cisneros, 2018; Australian Government, 2024). Las vainas se recolectan cuando están maduras, entre de febrero y junio con un rendimiento promedio de 200-250 kg de vainas por árbol por temporada. Estas vainas contienen 16.4 % de proteína, 35.65 % de fibra detergente neutro, 66.3 % de digestibilidad de la materia seca, metabolitos secundarios como alcaloides, taninos condensados, saponinas, compuestos nitrogenados, glucósidos, resinas y mucílagos. Sin embargo, las vainas son un importante suplemento como forraje para el ganado bovino, ovino, caprino y cerdos durante la época de estiaje (Cisneros, 2018).

La parota (*Enterolobium cyclocarpum*) pertenece a la familia Fabaceae, es originaria de América tropical; se localiza desde el oeste y sur de México hasta Venezuela y Brasil. En México se ubica en los estados de Campeche, Chiapas, Colima, Guerrero, Jalisco, entre otros como componente de la vegetación perturbada de las zonas tropicales (Rosales, 2018). Es una leguminosa forrajera de hoja caduca, vistosa, de crecimiento rápido, que alcanza una altura de hasta 30 m. Tiene un sistema radicular profundo y extenso (Rosales, 2018; *Feedipedia*, 2024). La especie se reporta en sistemas agroforestales en Veracruz y Yucatán, así como dispersos para sombra y ramoneo en áreas agropecuarias. El fruto es una vaina leñosa circular indehiscente de 7 a 15 cm de diámetro, aplanada y enroscada como oreja. Las vainas maduras son de color marrón oscuro brillante y de sabor dulce que contiene de 10 a 15 semillas (Rosales, 2018; *Feedipedia*, 2024). En Jalisco, se utiliza para la producción de frutos como fuente de forraje (Rosales, 2018). En la estación seca, las vainas marrones pueden verse colgando en lo alto del árbol (Rosales, 2018; *Feedipedia*, 2024). Los frutos son una alternativa nutrimental para el ganado en regiones con estaciones secas marcadas, ya que contienen hasta 30 % de proteína, 60.45 % de extracto libre de nitrógeno y una digestibilidad de alrededor 69 % (Rosales, 2018).

El cubato (*Acacia cochliacantha*) se clasifica dentro de la familia Fabaceae con sinónimo *A. milleriana* Standl, originaria de América tropical con una distribución heterogénea. En México, se distribuye desde el sur de Sonora hasta Chiapas y de manera discontinua en la vertiente Atlántica. Su uso es como árboles en potreros, plantación en cercas, incorporación en acahuales, postes, leña y sombra (Pinto *et al.*, 2018). Es un arbusto o árbol de hasta 20 m de altura con un diámetro del tronco de 5 a 10 cm, armado con espinas estipulares cóncavas en forma de cuchara hasta de 3.5 cm de largo, de color blanquecino al madurar y rojizas cuando son jóvenes (Pinto *et al.*, 2018; CONABIO, 2024). El fruto es leñoso de color marrón púrpura oscuro, de 5-13 cm de largo y cada una contiene ocho

semillas, se ubican en las ramas de manera solitaria o agrupada en las axilas de las espinas. Las vainas presentan alrededor de 12 % de proteína, 4.3 Mcal/kg DM de energía bruta, 45 % de fibra detergente neutro y 56 % de degradación ruminal (Pinto *et al.*, 2018). El uso de las vainas de estas leguminosas como recurso forrajero en pastizales podría aumentar la sostenibilidad de las unidades de producción ganaderas durante períodos en los que el forraje herbáceo es limitado o de baja calidad (Zapata-Campos *et al.*, 2020). Hay estudios del uso de este tipo de vaina en la alimentación animal, pero como parte de una ración (Albores-Moreno *et al.*, 2017; Carballo-Márquez *et al.*, 2019; Molina-Botero *et al.*, 2019), pero pocos estudios de las vainas de manera individual (Hernández-Morales *et al.*, 2018). Así, el objetivo fue determinar el contenido químico, producción de gas y estimadores con la técnica de producción de gas *in vitro* de las vainas de algarrobo, parota y cubato.

Material y Métodos

Ubicación geográfica del estudio

La investigación 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 municipio de Cuajinicuilapa, Guerrero, México.

Vainas

Las vainas de algarrobo (*Samanea saman*), cubato (*Acacia cochliacantha*) y parota (*Enterolobium cyclocarpum*) se obtuvieron de cuatro ramas que se seleccionaron al azar en un árbol (10 árboles por especie evaluada), se cosecharon todas las vainas fisiológicamente maduras, se depositaron en bolsas de papel y se trasladaron al laboratorio. Las vainas se deshidrataron a 60 °C por 48 h en una estufa (RIOSSA HCF-41, México); posteriormente se molieron usando una criba de 1 mm en un molino Thomas-Wiley Mill (Thomas Scientific, Swedesboro, NJ, USA).

Análisis químico bromatológico

En las muestras de cada vaina (10 repeticiones por tipo de vaina) se determinó el contenido total de nitrógeno mediante la metodología Kjeldahl (método 976.05) y se multiplicó por el factor 6.25 para estimar el contenido de proteína cruda (CP); para cenizas (Ash) se incineraron a 600 °C por 3 h (método 942.05); para extracto etéreo (EE) se extrajo con éter a 80 °C (método 20.39-1920) de acuerdo con los métodos oficiales de AOAC (2023). El contenido de fibra detergente neutro (NDF) y fibra detergente ácido (ADF) se realizó con la metodología de ANKOM Technology Method, usando corrección por cenizas según Van Soest *et al.* (1991). La materia orgánica (OM) se estimó al restar a 100 el porcentaje de Ash; mientras que extracto libre de nitrógeno (NFE) se calculó al restar a 100 el contenido de CP, NDF, Ash y EE.

Técnica de producción de gas *in vitro*

El medio de cultivo se preparó con dos tercios de una solución buffer-mineral reducida y un tercio de fluido ruminal fresco. La solución buffer-mineral reducida se preparó según lo descrito por Hernández-Morales *et al.* (2018). El fluido ruminal fresco se obtuvo de un bovino provisto de cánula ruminal que pastoreó en praderas con pasto pangola y se filtró con una manta de cielo para eliminar las macropartículas de materia orgánica. El bovino se manejó de acuerdo al reglamento interno de bioética y bienestar de la UAGro con fundamento en las normas oficiales (NOM_062-ZOO-1999).

Los biodigestores (20 repeticiones por tipo de vaina) consistieron en un vial serológico (120 mL) con 0.5 g de un tipo de vaina a peso constante, donde se agregaron 50 mL del medio de cultivo, bajo flujo continuo de CO₂. El vial se cerró con un tapón de neopreno y arillo de aluminio con centro removible. Los biodigestores se incubaron en baño María a 39 °C por 72 h. La producción de gas se consideró como el desplazamiento del embolo de una jeringa de vidrio; esta se midió a las 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 h de incubación. Cabe destacar, se usó un biodigestor blanco (tres repeticiones) que no contenía muestra de vaina para ajustar los valores de producción de gas originado por el inóculo.

Los valores de producción de gas se usaron para estimar el potencial máximo de producción de gas (*A*, mL/g DM), tasa de producción de gas del material potencialmente degradable (*b*, mL/h) y tiempo lag o fase de retraso (*k*, h) utilizando el modelo Gompertz: $Y = A * \{\exp [-b * \exp (-k * t)]\}$, donde *Y* = volumen de gas en el tiempo *t* (mL/g de DM), *A* = potencial de producción de gas total cuando *t*=∞ (mL/g de DM), *b* = tasa constante de producción de gas del material potencialmente degradable (mL/h), *k* = tiempo lag (h), factor constante de eficiencia microbiana, definido como el intercepto del eje tiempo de la línea de la tangente en el punto de inflexión, *t* = tiempo de incubación (Lavrenčič *et al.*, 1997). El volumen de gas se usó para determinar las fracciones fermentables calculando la producción de gas (GP) acumulada de 0 a 9 h (fracción de fermentación rápida (RF); RF (mg/g) = GP/0.427), > 9 a 24 h (fermentación media (MF); MF (mg/g) = GP/0.615) y > 24 h (fermentación lenta (LF); LF (mg/g) = GP/0.345). La suma de las tres fracciones representó la fracción fermentable total (TFF; mg/g) (Miranda-Romero *et al.*, 2015). La degradación de la materia orgánica (OMD) se estimó usando la ecuación 1 (Menke & Steingas, 1988); mientras, el contenido de energía metabolizable se estimó con la ecuación 2 (Jarrige, 1989) a partir de la estimación de energía digestible con ecuación 3 (Arruda & Ribeiro, 2009) y energía bruta con ecuación 4 (McDowell *et al.*, 1974).

$$\text{OMD (\%)} = 14.88 + 0.889 \text{ Gp} + 0.45 \text{ CP} + 0.0651 \text{ Ash} \quad [\text{Ec. 1}]$$

$$\text{ME (Mcal/kg)} = 0.82 * \text{DE} \quad [\text{Ec. 2}]$$

$$\text{DE (Mcal/kg)} = 0.6592 * \text{BE} \quad [\text{Ec. 3}]$$

$$BE \text{ (Mcal/kg)} = 5.72(CP/100) + 9.5(EE/100) + 4.79(NDF/100) + 4.7(NFE/10)$$

[Ec. 4]

Donde: OMD es degradación de la materia orgánica; pG son mL de gas producido por 200 mg de DM durante 24 h de fermentación; CP es proteína cruda en porcentaje; Ash es cenizas en porcentaje; ME es la energía metabolizable; DE es la energía digestible; BE es la energía bruta; EE es extracto etéreo en porcentaje; NDF es fibra detergente neutro en porcentaje; NFE es extracto libre de nitrógeno en porcentaje.

Análisis estadístico

Las variables del análisis químico bromatológico y de la técnica de producción de gas *in vitro* se analizaron en un diseño completamente al azar. Los datos se analizaron usando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (2011). Las diferencias de medias fueron comparadas usando la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Resultados y Discusión

La vaina de algarrobo presentó el menor contenido de Ash y NDF, pero mayor en EE y NFE; mientras la vaina de cubato presentó el menor contenido de OM y ME. En contraste, la vaina de parota mostró el mayor contenido de CP; mientras la vaina de cubato contuvo mayor DM y ADF ($p < 0.05$; Tabla 1). Esto indica que, aunque son estructuras vegetales maduras, la vaina de algarrobo posee menor contenido de fibra, lo que se vio reflejado en la OMD (Tabla 2). Esto se debe a que, a una estructura vegetal madura comienza el proceso de lignificación, en el caso de los árboles, inicia la síntesis de lignina que se entrelaza con la celulosa para darle soporte a las vainas, lo que afecta su degradación ruminal (Hoffman *et al.*, 2007).

FEDNA (2019) indica que para que un ingrediente se considere proteico debe contener al menos 20 % de CP, por lo que las vainas de algarrobo y parota se clasifican como ingredientes proteicos. Valores inferiores en el contenido de NDF (343.7 g/kg DM), Ash (42.9 g/kg DM) y CP (16.8 g/kg DM), así como mayores para ADF (250.6 g/kg DM) se reportaron en vainas maduras de *S. saman*; valores inferiores en ADF (204.0 g/kg DM), Ash (41.3 g/kg DM) y CP (195.0 g/kg DM), además mayores de NDF (283.5 g/kg DM) con respecto a los valores de la vaina de parota del presente estudio; valores superiores en NDF (573.6 g/kg DM), ADF (455.4 g/kg DM) y Ash (52.2 g/kg DM), así como inferiores en CP (109.1 g/kg DM) en vainas de cubato recolectadas en el trópico seco del estado de Guerrero, México (Hernández-Morales *et al.*, 2018). Por otra parte, en vainas de *S. saman* recolectadas en Mokola, Ibadan, Nigeria mostraron contenidos mayores de NDF (530.0 g/kg DM), ADF (420.0 g/kg DM), Ash (50.0 g/kg DM), CP (245.0 g/kg DM) y menores en EE (150.0 g/kg DM) en la misma especie de vaina evaluada en el presente estudio (Babayemi *et al.*, 2010). La variación de estos resultados se asumen a las condiciones agronómicas que reciben los árboles, las condiciones climáticas durante la floración y cosecha de las vainas (Muñoz-González *et al.*, 2016).

Tabla 1. Análisis químico bromatológico y energía metabolizable de vainas maduras de algarrobo, cubato y parota.

Variable	Algarrobo	Cubato	Parota	SEM
DM (g/Kg DM)	973.0 ^b	993.9 ^a	944.7 ^c	3.9
Ash (g/Kg DM)	30.7 ^c	44.1 ^a	37.2 ^b	1.2
NDF (g/kg DM)	366.8 ^c	734.8 ^a	457.6 ^b	29.8
ADF (g/kg DM)	231.2 ^b	526.1 ^a	245.7 ^b	26.6
CP (g/kg DM)	234.7 ^b	170.1 ^c	290.0 ^a	9.5
EE (g/kg DM)	16.0 ^a	4.5 ^b	7.6 ^b	1.8
NFE (g/kg DM)	351.9 ^a	46.5 ^c	207.6 ^b	23.6
OM (g/kg DM)	969.3 ^a	956.0 ^c	962.8 ^b	1.2
ME (Mcal/kg DM)	2.65 ^a	2.57 ^b	2.65 ^a	0.01

^{a,b,c} Los valores con letras diferentes en cada fila indican diferencias ($p \leq 0.05$). DM= materia seca, Ash= cenizas, NDF= fibra detergente neutro, ADF= fibra detergente ácido, CP= proteína cruda, EE= extracto etéreo, NFE= extracto libre de nitrógeno, OM= materia orgánica, ME= energía metabolizable, SEM = error estándar de la media. Fuente: Elaboración propia

La importancia de la estimación del contenido de energía fue importante porque los valores para las vainas son escasos o nulos en la literatura, por lo que es necesario estimar el contenido de energía de dichos alimentos (Mendoza *et al.*, 2022). La estimación de la energía se puede hacer mediante la técnica de producción de gas (Menke & Steingas, 1988), análisis bromatológico (Jarrige, 1989); por lo que el presente estudio siguió una serie de ecuaciones que permitió estimar el contenido de ME para usarlo en futuras investigaciones donde se requiera conocer su contenido para formular raciones para rumiantes donde se desee integrar cualquiera de las vainas estudiadas en el presente estudio.

La producción de gas acumulada mostró que la vaina de algarrobo produjo mayor cantidad de gas a las 3, 6, 9 y 12 h ($p < 0.05$) que el resto de las vainas, pero a las 24 y 48 h, tanto la vaina de parota como de algarrobo produjeron en promedio la mayor cantidad de gas con 166 y 198 mL/g DM, respectivamente; mientras que, a las 72 h, nuevamente parota produjo la mayor cantidad de gas acumulado ($p < 0.05$; Figura 1). Se asume que, con la técnica de producción de gas, la fermentación de los carbohidratos genera ácidos grasos volátiles, metano, dióxido de carbono e hidrógeno como productos finales. Por lo que, a mayor producción de gas, se puede inferir mayor disponibilidad de los carbohidratos (Sobalvarro-Mena *et al.*, 2020) para la fermentación por los microorganismos ruminantes. En las primeras 24 h se puede asumir a la alta disponibilidad de carbohidratos no estructurales (Texta *et al.*, 2019),

por lo que la vaina de algarrobo mostraría mayor disponibilidad de carbohidratos no estructurales; lo que concuerda con su contenido de NFE (Tabla 1).

A partir de las 24 h, se presenta la fermentación de los carbohidratos estructurales (Texta *et al.*, 2019), donde la disponibilidad de este tipo de carbohidratos aumenta en la vaina de parota en comparación con la vaina de algarrobo; ya que entre las 24 y 48 h la producción de gas no muestra diferencias entre estas vainas. Esto dado que, la producción de gas entre las 24 y 48 h fue de 80 mL/g DM para la vaina de parota y 43 mL/g DM para la vaina de algarrobo (Figura 1). Además, la vaina de parota presentó mayor producción de gas a las 72 h, indicando que tuvo mayor disponibilidad de carbohidratos para la fermentación ruminal *in vitro*.

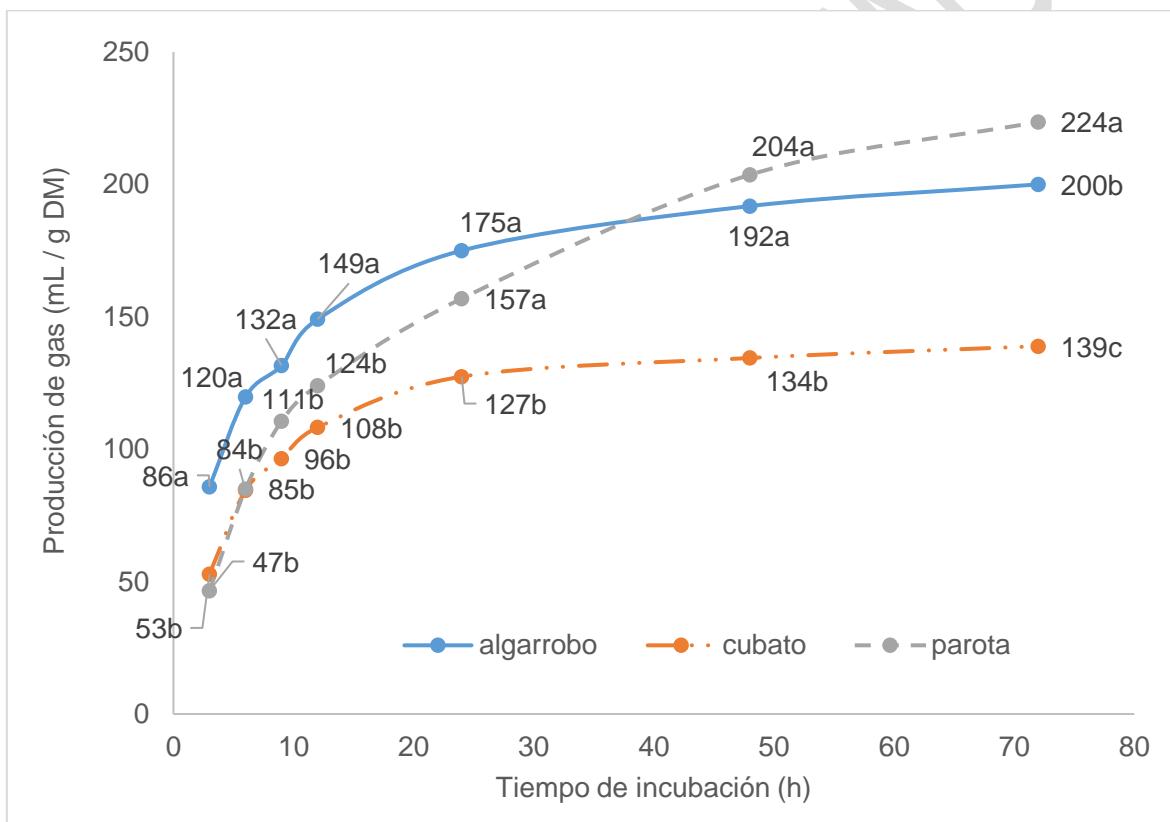


Figura 1. Producción acumulada de gas *in vitro* de vainas maduras de algarrobo, cubato y parota. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recabados con la técnica de producción de gas *in vitro*

Babayemi *et al.* (2010) publicó que la producción de gas de *S. saman* fue de 10.0, 18.3, 23.3, 28.3 y 63.3 mL/g DM a las 3, 6, 9, 12 y 24 h de incubación, valores inferiores a los reportados por la misma vaina en el presente estudio. Hernández *et al.* (2017) publicaron producciones de 160 y 240 mL/g DM de gas a las 72 h de incubación por vainas de algarrobo y parota colectadas en Cuajinicuilapa, Guerrero,

México, respectivamente; valores inferiores en vaina de algarrobo y superiores en vaina de parota, respecto al presente estudio. García-Montes de Oca *et al.* (2011) reportaron una producción de gas *in vitro* de 155 mL/g DM en vainas de parota recolectadas en Valle de Bravo, Estado de México, México; valores inferiores a los observados en el presente estudio.

El gas que se produce a medida que avanza la fermentación y el perfil de acumulación de gas proporciona información sobre las fracciones de fermentación, la digestibilidad del alimento y la cinética de la fermentación (Getachew *et al.*, 1998). La vaina de algarrobo mostró la mayor RF, mientras que la vaina de parota presentó la mayor LF y TFF ($p < 0.05$); las vainas de algarrobo y parota no mostraron diferencias en la MF ($p > 0.05$). Cabe señalar, la vaina de cubato presentó los menores valores de MF, LF y TFF ($p < 0.05$; Tabla 2). De modo que, la estimación de estas variables se atribuye a azúcares y oligosacáridos solubles para la RF; polisacáridos de reserva como el almidón, dextranas y pectina para MF; y polisacáridos de pared celular como celulosa y hemicelulosa ligados a lignina para LF (Sandoval González *et al.*, 2017; Miranda-Romero *et al.*, 2020). Esto reafirma que la vaina de algarrobo presentó mayor contenido de nutrientes rápidamente fermentables dado su proporción de NFE (Tabla 1). En contraste, los carbohidratos estructurales de la vaina de parota presentaron mayor contenido (Tabla 1) y mejor fermentación *in vitro* que el resto de las vainas evaluadas. La comparación de estas variables bajo las condiciones del presente estudio son nulas, ya que en la literatura se reportan estudios de asociación entre *Leucaena leucocephala* con *Cynodon nemfuensis* (Sandoval González *et al.*, 2017; Miranda-Romero *et al.*, 2020) o en ensilado de sorgo (Ramírez-Díaz *et al.*, 2020) por mencionar algunos, usando modelos matemáticos similares al presente estudio.

La OMD no presentó diferencias entre las vainas de algarrobo y parota ($p > 0.05$), promediando 523.3 g/kg OM. Babayemi *et al.* (2010) reportaron OMD de 404.2 g/kg OM en vaina de *S. saman*, valores inferiores a los del presente estudio. Mendoza *et al.* (2022) mencionaron que la OMD se puede estimar a partir de la degradación de la materia seca (DMD) con la Ec. 5; así de Hernández-Morales *et al.* (2018) se obtuvieron OMD de 607.3 y 607.2 g/kg OM en vainas de algarrobo y parota, respectivamente, valores superiores a los reportados en el presente estudio.

$$\text{OMD (g/kg OM)} = \text{DMD} * 0.92$$

[Ec. 5]

La cinética de producción de gas indica que la vaina de parota presentó mayor A ($p < 0.05$); coincidiendo que esta produjo la mayor cantidad de gas tanto en la medición directa (Figura 1) como mediante el modelo matemático (Tabla 2); así mismo, la vaina de parota tuvo mayor k , indicando que los microorganismos tardan mayor tiempo en adherirse a las partículas de la vaina durante la prueba de producción de gas, coincidiendo con el tipo de carbohidratos disponibles para su fermentación, ya que al tener mayor cantidad de carbohidratos estructurales, las bacterias ruminantes tardan más tiempo en adherirse para iniciar la fermentación de estos nutrientes (Dunne, 2002; McDonald *et al.*, 2012). En contraste, las vainas evaluadas en el presente estudio no mostraron diferencias en b ($p > 0.05$), indicando que la tasa de fermentación es la misma en todas las vainas, pero el tiempo de adhesión, la disponibilidad y contenido de los diferentes carbohidratos (estructurales y no estructurales) influyen en las variables analizadas en el presente estudio. Valores

inferiores en A y k se reportaron en vainas de algarrobo: $A = 161.7 \text{ mL/g DM}$ y $b = 0.04$ (Torres-Salado *et al.*, 2018); $A = 63.35 \text{ mL/g DM}$ y $b = 0.05$ (Babayemi *et al.*, 2010). Así como valores similares en A e inferiores en b en vainas de parota ($A = 223.0 \text{ mL/g DM}$ y $b = 0.04$) (Torres-Salado *et al.*, 2018). Sin embargo, además de lo discutido, se debe considerar que es una técnica de laboratorio, por lo que se debe contemplar la fuente del inóculo, el sistema de ventilación de gas, el tamaño de las partículas del sustrato, las proporciones del inóculo con el tampón y la adición de concentrado al medio pueden influir en los resultados obtenidos en el presente estudio (Yang, 2017).

Tabla 2. Fracciones de fermentación, cinética de fermentación y degradación de materia orgánica *in vitro* de vainas maduras de algarrobo, cubato y parota.

Variable	Algarrobo	Cubato	Parota	SEM
RF (mg/g)	308.23 ^a	225.91 ^b	258.95 ^b	9.25
MF (mg/g)	70.54 ^a	50.32 ^b	75.29 ^a	2.14
SF (mg/g)	72.45 ^b	33.31 ^c	193.41 ^a	9.87
TFF (mg/g)	451.22 ^b	309.53 ^c	527.65 ^a	14.04
OMD (g/kg OM)	539.4 ^a	454.7 ^b	507.2 ^a	7.88
A (mL/g DM)	197.47 ^b	134.67 ^c	225.72 ^a	5.76
k (h)	1.07 ^c	1.42 ^b	1.73 ^a	0.06
b (mL/h)	0.11	0.16	0.12	0.01

^{a,b,c} Valores con diferente letra por fila indican diferencias ($p \leq 0.05$). RF= fracción de rápida fermentación, MF= fracción de media fermentación, SF = fracción de lenta fermentación, TFF= fracción total de fermentación, OMD= degradación de materia orgánica, A = potencial de producción de gas; k = tiempo Lag; b = tasa constante de producción de gas del material potencialmente degradable, SEM = error estándar de la media. Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La vaina madura de parota mostró a nivel laboratorio mejores características nutritivas e *in vitro* para considerarse como ingredientes proteicos que se puede incluir en la formulación de dietas para rumiantes; seguido de la vaina madura de algarrobo. Ambas pueden usarse como una alternativa para reducir el uso de pasta de oleaginosas por su composición bromatológica y características de fermentación ruminal; aunque se requieren de caracterizaciones de compuestos secundarios y su efecto en el consumo de materia seca por parte del animal.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, desarrollo de la metodología, análisis de resultados, escritura y preparación del manuscrito, SSP, TRJC; manejo de software, manejo de datos, HPJ; validación experimental, TSN; redacción, revisión y edición, SSP, TRJC, HPJ, TSN. 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

- Albores-Moreno, S., Alayón-Gamboa, J. A., Ayala-Burgos, A. J., Solorio-Sánchez, F. J., Aguilar-Pérez, C. F., Olivera-Castillo, L., & Ku-Vera, J. C. (2017). Effects of feeding ground pods of *Enterolobium cyclocarpum* Jacq. Griseb on dry matter intake, rumen fermentation, and enteric methane production by Pelibuey sheep fed tropical grass. *Tropical Animal Health and Production*, 49(4), 857-866. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1275-y>
- Official Methods of Analysis [AOAC]. (2023). Official Methods of Analysis INTERNATIONAL. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>
- Arruda, A. M. V., & Ribeiro, L. B. (2009). Digestibilidade de subprodutos agroindustriais na alimentação de cavalos. *Archivos de Zootecnia*, 58(223), 451-454. <https://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v58n223/art14.pdf>
- Australian Government. (2024). *Samanea saman*. https://tropicalforages.info/text/entities/samanea_saman.htm
- Babayemi, O. J., Inyang, U. A., Ifut, O. J., & Isaac, L. J. (2010). Nutritional value of cassava wastes ensiled with albizia saman pod as feed for ruminants in off season. *Agricultural Journal*, 5(3), 220-224. <https://doi.org/10.3923/aj.2010.220.224>
- Blair, G., Catchpoole, D., & Horne, P. (1990). Forage tree legumes: their management and contribution to the nitrogen economy of wet and humid tropical environments. *Advances in Agronomy*, 44, 27-54. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60817-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60817-2)
- Carbajal-Márquez, U., Sánchez-Santillán, P., Rojas-García, A. R., Mendoza-Núñez, M. A., Ayala-Monter, M., & Hernández-Valenzuela, D. (2019). Fermentación *in vitro* de complementos para becerros con niveles crecientes de vaina de parota (*Enterolobium cyclocarpum*). *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6(Suplemento 2), 213-220. <http://ri.uagro.mx/handle/uagro/2164>

Cisneros, S. P. (2018). Samanea saman (Jacq.) Merr. En G. J. M. Palma & I. C. González-Rebeles (Eds.), *Recursos arbóreos y arbustivos tropicales para una ganadería bovina sustentable* (pp. 106-111). Universidad de Colima. https://www.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/Recursos-arbores-y-arbustivos-tropicales_462.pdf

CONABIO. (2024). Cubata (*Acacia cochliacantha*). iNaturalist Mexico. <https://mexico.inaturalist.org/taxa/276419-Acacia-cochliacantha>

Devendra, C. (1991). Potencial nutricional de árboles y arbustos forrajeros como fuentes de proteína en la nutrición de rumiantes. En A. Speedy & P. L. Pugliese (Eds.), *Árboles leguminosos y otros árboles forrajeros como fuentes de proteínas para el ganado*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/4/t0632e/T0632E07.htm#ch7>

Dunne, W. M. (2002). Bacterial adhesion: Seen any good biofilms lately? *Clinical Microbiology Reviews*, 15(2), 155-166. <https://doi.org/10.1128/CMR.15.2.155-166.2002>

Esquivel-Mimenza, H., Ibrahim, M., Harvey, C. A., Benjamin, T., & Sinclair, F. L. (2014). Pod availability, yield and nutritional characteristics from four fruit bearing tree species dispersed in pastures as a complementary feed for animal production in the dry tropics. *Livestock Research for Rural Development*, 26(9), #164. <http://www.lrrd.org/lrrd26/9/esqu26164.html>

Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal [FEDNA]. (2019). *Tablas FEDNA* (4^a edición). <https://fundacionfedna.org/ingredientes-para-pienso>

Feedipedia. (2024). Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*). Animal feed resources information system. <https://www.feedipedia.org/node/296>

García-Montes de Oca, C. A., González-Ronquillo, M., Salem, A. Z. M., Romero-Bernal, J., Pedraza, J. F., & Estrada, J. G. (2011). Chemical composition and *in vitro* gas production of some legume browse species in subtropical areas of Mexico. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 589-595. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a38.pdf>

Getachew, G., Blümmel, M., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (1998). *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 72(3), 261-281. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00189-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00189-2)

Hernández, M. J., Sánchez, S. P., Torres, S. N., Herrera, P. J., Rojas, G. A. R., & Mendoza, N. M. A. (2017). Cinética de fermentación, gas acumulado y análisis bromatológico de las vainas de parota y algarrobo. En *Memorias del XLI Congreso Nacional de Buiatría* (pp. 403-408). Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos, A.C.

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), Article 1. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4332>

Hoffman, P. C., Lundberg, L. M., Shaver, R. D., & Contreras-Govea, F. E. (2007). El Efecto de la madurez en la digestibilidad del FDN (fibra detergente neutro). *Focus on Forage*, 15(5), Article 5. <https://fyi.extension.wisc.edu/forage/files/2014/01/MaturityNDFesp-FOF.pdf>

Jarrige, R. (1989). *Ruminant nutrition: Recommended allowances and feed tables*. John Libbey Eurotext.

Lavrenčić, A., Stefanon, B., & Susmel, P. (1997). An evaluation of the Gompertz model in degradability studies of forage chemical components. *Animal Science*, 64(3), Article 3. <https://doi.org/10.1017/S1357729800016027>

McDonald, J. E., Rooks, D. J., & McCarthy, A. J. (2012). Chapter nineteen—Methods for the Isolation of Cellulose-Degrading Microorganisms. En H. J. Gilbert (Ed.), *Methods in Enzymology* (Vol. 510, pp. 349-374). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415931-0.00019-7>

McDowell, L. R., Conrad, J. E., Thomas, J. E., & Harris, L. E. (1974). *Latin american tables of feed composition*. University of Florida.

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

Menke, K. H., & Steingas, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal research and development*, 28(1), 7-55.

Miranda-Romero, L. A., Tirado-González, D. N., Tirado-Estrada, G., Améndola-Massiotti, R., Sandoval-González, L., Ramírez-Valverde, R., & Salem, A. Z. (2020). Quantifying non-fibrous carbohydrates, acid detergent fiber and cellulose of forage through an *in vitro* gas production technique. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(7), 3099-3110. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10342>

Miranda-Romero, L. A., Vazquez-Mendoza, P., Améndola-Massiotti, R., Sandoval-González, L., & González-Ortiz, R. (2015). Cuantificación de las fracciones fermentables de alfalfa y tuna por la técnica de producción de gas. En *XXIV Congreso de la asociación latinoamericana de producción animal y XL Congreso de la sociedad chilena de producción animal* (Vol. 575).

Molina-Botero, I. C., Montoya-Flores, M. D., Zavala-Escalante, L. M., Barahona-Rosales, R., Arango, J., & Ku-Vera, J. C. (2019). Effects of long-term diet supplementation with *Gliricidia sepium* foliage mixed with *Enterolobium cyclocarpum* pods on enteric methane, apparent digestibility, and rumen microbial population in crossbred heifers1. *Journal of Animal Science*, 97(4), 1619-1633. <https://doi.org/10.1093/jas/skz067>

Muñoz-González, J. C., Huerta-Bravo, M., Lara Bueno, A., Rangel Santos, R., Rosa Arana, J. L. de la, Muñoz-González, J. C., Huerta-Bravo, M., Lara Bueno, A., Rangel Santos, R., & Rosa Arana, J. L. de la. (2016). Producción y calidad nutrimental de forrajes en condiciones del Trópico Húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(SPE16), 3315-3327. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016001203315

NOM_062-ZOO-1999. (1999). *Norma oficial mexicana NOM-062-ZOO-1999, especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio*. 59. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf

Pinto, R. R., Urbina, C. F. M., Jiménez, T. J. A., Palma, G. J. M., & González-Rebeles, I. C. (2018). *Acacia milleriana* Standl. En *Recursos arbóreos y arbustivos tropicales para una ganadería bovina sustentable* (pp. 13-16). Universidad de Colima.

Ramírez-Díaz, R., Pinto-Ruiz, R., Medina-Jonapá, F., & Guevara-Hernández, F. (2020). Efecto de inoculantes y aditivos sobre fracciones de fermentación ruminal y degradación *in vitro* en ensilaje de sorgo (*Sorghum sp*). *CienciaUAT*, 15(1), 172-179. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v15i1.1332>

Rosales, A. J. J. (2018). *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. En G. J. M. Palma & I. C. González-Rebeles (Eds.), *Recursos arbóreos y arbustivos tropicales para una ganadería bovina sustentable* (pp. 51-56). Universidad de Colima. https://www.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/Recursos-arbores-y-arbustivos-tropicales_462.pdf

Sandoval González, L., Miranda Romero, L. A., Lara Bueno, A., Huerta Bravo, M., Uribe Gómez, M., & Martínez Martínez, M. (2017). Fermentación *in vitro* y la correlación del contenido nutrimental de leucaena asociada con pasto estrella. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(16), 3185-3196. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i16.388>

SAS Institute Inc. (2011). *Statistical Analysis System, SAS, User's Guide*. SAS Inst. <https://support.sas.com/en/software/sas-stat-support.html>

Sobalvarro-Mena, J. L., Elizondo-Salazar, J. A., & Rojas-Bourillón, A. (2020). La producción de gas *in vitro* para estimar la energía neta de lactancia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 311-328. <https://doi.org/10.15517/am.v31i2.38497>

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 consortium 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>

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)

Yang, W. (2017). Factors affecting rumen fermentation using batch culture technique. En *Fermentation Processes*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/64207>

Zapata-Campos, C., García-Martínez, J. E., Salinas-Chavira, J., Ascacio-Valdés, J. A., Medina-Morales, M. A., & Mellado, M. (2020). Chemical composition and nutritional value of leaves and pods of *Leucaena leucocephala*, *Prosopis laevisgata* and *Acacia farnesiana* in a xerophilous shrubland. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(10), 723-730. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i10.2148>

ARTÍCULO EN PRENSA