




Cinética de degradación y digestibilidad ruminal de dos fuentes proteínicas evaluadas mediante métodos *in vitro* e *in situ*

Ulises Cañaveral-Martínez  Paulino Sánchez-Santillán¹  Marcelino Gómez-Trinidad 

Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2.
Universidad Autónoma de Guerrero, México.

Degradation kinetics and ruminal digestibility of two protein sources evaluated by *in vitro* and *in situ* methods

Abstract. The objective was to compare the bromatological characteristics, *in vitro* degradation and *in situ* digestibility of coconut and peanut pastes to determine their biological value at laboratory level. Bromatological chemical composition, dry matter degradation at 12, 24, 48 and 72 h, as well as kinetic estimators using *in vitro* and *in situ* techniques were determined for the pastes. The cacahuananche paste presented higher crude protein content, dry matter degradation at 12 and 24 h, *in situ* digestibility at 12, 24 and 48 h, *in situ* kinetic estimators and *in vitro* kinetic estimators *a* and *b*. The coconut paste had a higher content of neutral detergent fiber and acid detergent fiber. It is concluded that the peanut paste has a higher soluble fraction and better utilization than coconut paste, which suggests its potential as a source of protein for ruminants.

Keywords: *in vitro*, *in situ*, degradation, digestibility, coconut paste, cacahuananche paste.

Resumen. El objetivo fue comparar las características bromatológicas, la degradación *in vitro* y digestibilidad *in situ* de las pastas de coco y de cacahuananche para determinar su valor biológico a nivel laboratorio. A las pastas se determinó composición química bromatológica, la degradación de la materia seca a 12, 24, 48 y 72 h, así como los estimadores de la cinética usando las técnicas *in vitro* e *in situ*. La pasta de cacahuananche presentó mayor contenido de proteína cruda, degradación de materia seca a 12 y 24 h, digestibilidad *in situ* a 12, 24 y 48 h, estimadores de la cinética *in situ* y estimadores *a* y *b* de la cinética *in vitro*. La pasta de coco mayor contenido de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido. Se concluye, la pasta de cacahuananche posee mayor fracción soluble y mejor aprovechamiento que la pasta de coco, lo que sugiere su potencial como fuente de proteína para rumiantes.

Palabras clave: *in vitro*, *in situ*, degradación, digestibilidad, pasta de coco, pasta de cacahuananche

Cinética de degradação e digestibilidade ruminal de duas fontes proteicas avaliadas por métodos *in vitro* e *in situ*

Resumo. O objetivo foi comparar as características bromatológicas, a degradação *in vitro* e a digestibilidade *in situ* das pastas de coco e amendoim para determinar seu valor biológico em nível laboratorial. A composição química bromatológica, a degradação da matéria seca em 12, 24, 48 e 72 horas, bem como os estimadores cinéticos usando técnicas *in vitro* e *in situ* foram determinados para as pastas. A pasta de amendoim apresentou maior teor de proteína bruta, degradação da matéria seca às 12 e 24 horas, digestibilidade *in situ* às 12, 24 e 48 horas, estimadores cinéticos *in situ* e estimadores cinéticos *in vitro* *a* e *b*. A pasta de coco tem um teor maior de fibra detergente neutra, fibra detergente ácida e fibra detergente ácida. Conclui-se que a pasta de amendoim tem uma fração solúvel mais alta e melhor aproveitamento do que a pasta de coco, sugerindo seu potencial como fonte de proteína para ruminantes.

Palavras-chave: *in vitro*, *in situ*, degradação, digestibilidade, pasta de coco, pasta de cacahuananche.

Introducción

La creciente demanda global de productos de origen animal, como carne o leche, genera la necesidad de optimizar la producción de manera sostenible, este enfoque busca reducir el impacto ambiental (menor biosíntesis de CH₄ entérico) y promover un uso eficiente de los recursos naturales (FAO, 2023). En nutrición de rumiantes, se evalúan diversas estrategias para responder este reto, entre ellas, el uso de aditivos inhibidores de la actividad ruminal como los nitratos (NO₃), los cuales compiten con las arqueas metanogénicas por el H₂ disponible en el medio ruminal. Este proceso permite que el nitrato se convierta en nitrógeno amoniacal (NH₄⁺), que es aprovechado por la microbiota bacteriana para la síntesis de proteína (Honan *et al.*, 2021). De manera similar, la inclusión de fuentes proteínicas en la dieta, como las pastas de oleaginosas, mejora la síntesis de proteína bacteriana y aumenta el flujo de proteína verdadera al duodeno, este proceso estabiliza la disponibilidad de aminoácidos esenciales a nivel celular (NRC, 2001; Van Amburgh *et al.*, 2015).

Las pastas proteínicas generadas como subproductos de otras industrias son viables para su inclusión en la dieta de rumiantes, al fortalecer la economía circular y

la sostenibilidad del sector (Romero-Sáez, 2022; Winarti *et al.*, 2022). Entre estos subproductos, la pasta de coco (*Cocos nucifera* L.) y cacahuananche (*Gliricidia sepium* L.) destacan por su palatabilidad, porcentaje de proteína y energía, que contribuyen a cubrir los requerimientos nutricionales de los rumiantes, y ayudar a optimizar el rendimiento productivo. Sin embargo, es esencial evaluar estas fuentes proteicas en diferentes condiciones productivas para garantizar su porcentaje de inclusión y respuesta en termino de eficiencia y sustentabilidad, y con ello evitar posibles intoxicaciones (Castañeda-Serrano *et al.*, 2023; Punzalan y Rosentrater, 2024; Winarti *et al.*, 2022).

Los ensayos *in vitro* e *in situ* permiten observar como el microbioma y las condiciones ruminales influyen en la degradación y digestibilidad de los nutrientes de estos subproductos, proporcionando un método rápido y eficaz para su caracterización (Peng *et al.*, 2020; Ramin *et al.*, 2015). En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo comparar los valores bromatológicos, la degradación *in vitro* y *digestibilidad in situ* de las pastas de coco y cacahuananche, a fin de caracterizar su valor biológico y evaluar su viabilidad de uso en ensayos *in vivo*.

Materiales y Métodos

Lugar del experimento

Este estudio se llevó a cabo 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 municipio de Cuajinicuilapa, Guerrero, México. La ubicación geográfica del laboratorio corresponde a las coordenadas 16°27'60" N y 98°24'60" O.

Unidad Animal

En el ensayo *in vitro*, se empleó una vaca de raza Suiz-bu, equipada con una cánula ruminal (diámetro interno 4", BAR DIAMOND®. Parma, Idaho USA), con un peso vivo de 350 ± 30 kg, como donante de líquido ruminal. Para el ensayo *in situ*, la misma vaca se utilizó como incubador. El animal fue mantenido en praderas de *Digitarian decumbens*, con acceso libre a agua limpia y fresca, y adaptada a las condiciones experimentales durante 15 días. El manejo del animal se realizó en conformidad con las pautas del Reglamento de Bioética y Bienestar Animal de la Universidad Autónoma de Guerrero y cumpliendo con la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO (1999).

Análisis bromatológico

Las muestras de pasta de coco y pasta de cacahuananche (tres repeticiones independientes por muestra) se obtuvieron como subproductos de la agroindustria local de producción de aceite mediante un proceso de prensado en frío. Las pastas fueron deshidratadas en una estufa (RIOSSA® HCF-41, México) a 60° durante 72 horas. Posteriormente, se molieron utilizando un molino Thomas-Wiley Mill (Thomas Swedesboro, NJ, USA) con una criba de un 1mm.

La determinación del contenido de materia seca (MS) se llevó a cabo utilizando el método 930,15, mientras que el análisis de proteína cruda (PC) se realizó mediante el método 920,105, y la cuantificación de cenizas (Ce), a través del método 923,03, todos de acuerdo con los procedimientos establecidos por la AOAC (2005). El porcentaje de materia orgánica (MO) se determinó al restar el porcentaje de cenizas a 100. La fibra detergente neutro (FDN) y la fibra detergente ácido (FDA) se obtuvieron al utilizar la metodología ANKOM Technology® siguiendo las recomendaciones de Van Soest *et al.* (1991).

Ensayo *in vitro*

Medio de cultivo

El medio de cultivo incluyó los siguientes componentes: 45,9 % de agua destilada; 5 % de solución mineral I [6 g de KH_2PO_4 (SIGMA-ALDRICH®) disuelto en 1000 mL de agua destilada]; 5 % de solución mineral II [6 g de KH_2PO_4 (SIGMA-ALDRICH®), 6 g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (MERCK®), 12 g de NaCl (SIGMA-ALDRICH®), 2,45 g de MgSO_4 (SIGMA-ALDRICH®) y 1,6 de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (SIGMA-ALDRICH®), disuelto en 1000 mL de agua destilada]; 0,1 % de resazurina (SIGMA-ALDRICH®), 5 % de solución buffer; 4 % de solución reductora; y 35 % de fluido ruminal fresco, previamente filtrado mediante una tela de malla fina para eliminar macropartículas de materia orgánica.

Biodigestores e incubación

Se utilizó un tubo de ensayo de 18 x 50 mm como biodigestor, al que se adicionaron 0,15 g de pasta de coco o de pasta de cacahuanache. Posteriormente, se incorporaron 10 mL de medio de cultivo bajo flujo continuo de CO_2 para asegurar condiciones de anaerobiosis. Los tubos de ensayo se sellaron con un tapón de neopreno y se incubaron a 39 °C durante 72 horas.

Degradación de la materia seca

Se emplearon 66 biodigestores, de los cuales 33 contenían pasta de coco y 33 pasta de cacahuanache. La degradación *in vitro* se evaluó mediante un proceso de filtrado en papel filtro a peso constante. Para cada tiempo de incubación (0, 2, 4, 12, 18, 24, 32, 48, 60 y 72 horas) se obtuvieron tres muestras independientes (repeticiones). El material residual adherido a los papeles filtro se secó a 60 °C durante 24 horas en una estufa (RIOSSA® HCF-41, México). La degradación de la materia seca (DMS) se determinó por la diferencia de peso antes y después de la incubación.

Ensayo *in situ*

Preparación de las muestras e incubación en el rumen

Se prepararon muestras de pasta de coco y cacahuanache, cada una con un peso de 5 g, que se colocaron en bolsas de poli-seda (10 x 20 cm). Cada tratamiento se replicó tres veces para cada uno de los tiempos de incubación (0, 2, 4, 8, 12, 18, 24, 32, 48, 60 y

72 horas). Las muestras presentaron un tamaño de partícula de 1 mm y las bolsas se sellaron con cinchos de plástico (100 x 2,5 mm).

Previo a la introducción de las bolsas en el rumen de la vaca, estas se sumergieron en agua a 39 °C durante 10 minutos. Posteriormente, las bolsas se fijaron a una cadena de hierro galvanizado (1,5 x 100 cm), la cual se unió al tapón de la cánula ruminal. El orden de introducción de las bolsas en el rumen se realizó en sentido inverso al tiempo de incubación, con el propósito de permitir la recolección simultánea de las muestras al finalizar el periodo de incubación. Transcurrido el tiempo de incubación, las bolsas se enjuagaron con agua corriente fría hasta que el agua de enjuague fue clara. Las bolsas correspondientes a 0 horas no fueron incubadas en el rumen; en su lugar, se sometieron al mismo protocolo de enjuague que las bolsas incubadas. Finalmente, los residuos de las bolsas se secaron a 55 °C durante 72 horas y se pesaron para determinar la digestibilidad a partir de la diferencia de peso.

Cinética de digestibilidad

Los estimadores de cinética de digestibilidad *in situ* de MS y degradación *in vitro* de la MS se calcularon mediante un procedimiento de regresión no lineal. Para ello, se empleó el procedimiento PROC NLIN del software SAS (2011), utilizando la ecuación descrita McDonald (1981) por:

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

Donde:

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

Análisis estadístico

La composición bromatológica, las variables de degradación *in vitro* y digestibilidad *in situ* fueron analizadas en un diseño completamente al azar usando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020). La comparación de medias fue mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Además, el análisis de correlación entre las pruebas *in situ* vs *in vitro* se llevó a cabo con el software InfoStat.



Resultados

Análisis bromatológico

Los componentes bromatológicos de la pasta de coco y cacahuananche presentaron diferencias estadísticas significativas en todas las variables analizadas (MS, PC, FDN, FDA y Ce) (Tabla 1, $p < 0,05$). La pasta de

cacahuananche presentó valores superiores en MS, PC y Ce con 0,27, 159,57 y 2,94 %, respectivamente, en comparación con la pasta de coco. Sin embargo, la pasta de coco mostró valores más elevados en FDN y FDA de 151,83 y 136,11 %, respectivamente, en relación con la pasta de cacahuananche (Tabla 1).

Tabla 1. Componentes bromatológicos de la pasta de coco y cacahuananche

Componentes bromatológicos (%)	Tipo de Pasta (%)		p-valor	EEM
	Cacahuananche	Coco		
Materia Seca	94,51	94,25	0,0024	0,15
Proteína Cruda	53,42	20,58	<0,0001	17,99
Fibra Detergente Neutro	16,90	42,56	0,0001	14,19
Fibra Detergente Ácido	9,83	23,21	0,0002	7,42
Cenizas	4,54	4,41	0,0027	0,08

EEM = error estándar de la media.

Ensayo *in vitro*

Degradación de la materia seca.

La pasta de cacahuananche presentó una mayor DMS a las 12 y 24 horas de incubación (Tabla 2, $p = 0,0002$). En cambio, a las 48 y 72 horas no se observaron

diferencias significativas en la DMS entre ambas pastas (Tabla 2, $p = 0,097$), con valores promedio de 41,9 y 49,7 % respectivamente. Estos resultados sugieren que la pasta de cacahuananche contiene mayor cantidad de nutrientes solubles, lo cual se respalda por el valor de la fracción soluble (*a*), que fue un 302 % mayor que la fracción *a* de la pasta de coco (Tabla 2, $p = 0,0001$).

Tabla 2. Degradación *in vitro* y estimadores de la cinética de degradación de la materia seca de la pasta de coco y cacahuananche

Hora y estimadores de cinética	Tipo de Pasta (%)		p-valor	EEM
	Cacahuananche	Coco		
12 %	24,7	17,83	<0,0001	1,54
24 %	34,5	29,24	0,0002	1,18
48 %	41,1	42,74	0,1305	0,53
72 %	49,1	50,25	0,097	0,35
<i>a</i> %	12,45	3,09	0,0001	2,11
<i>b</i> %	42,19	52,17	0,0001	2,25
<i>c</i> %	0,03	0,03	0,182	0,001

a = fracción digestible rápidamente soluble; *b* = fracción lenta o potencialmente digestible; *c* = velocidad a la que *b* se digiere; EEM = error estándar de la media.

Los valores de DMS a las 48 y 72 horas indicarían la misma cantidad de fracción posiblemente degradables (*b*); pero esta mostró lo contrario, ya que la pasta de coco presentó 23 % más fracción *b* que la pasta de cacahuananche (Tabla 2, $p = 0,0001$). Cabe destacar, la tasa a la que *b* se fermenta (*c*) no mostró diferencia entre pastas (Tabla 2, $p = 0,182$).

Ensayo *in situ*

Digestibilidad de la materia seca.

La pasta de cacahuananche mostró una diferencia estadística significativa en comparación a la pasta de coco y una mayor digestibilidad de la materia seca, en 23,6, 1,9 y 5,5 % a las 12, 24 y 48 horas de incubación, respectivamente (Tabla 3, $p < 0,0312$).

Tabla 3. Digestibilidad *in situ* y estimadores de la cinética de digestibilidad de la materia seca de la pasta de coco y cacahuananche

Hora y estimadores de cinética	Tipo de Pasta, (%)		p-valor	EEM
	Cacahuananche	Coco		
12	88,5	71,6	<0,0001	3,76
24	90,1	88,4	0,0312	0,43
48	96,0	91,0	0,0001	1,12
72	87,5	91,9	0,0623	1,02
<i>A</i>	52,99	43,69	<0,0001	2,10
<i>B</i>	50,48	39,71	<0,0001	2,44
<i>C</i>	0,17	0,06	<0,0001	0,02

A = fracción digestible rápidamente soluble; *B* = fracción lenta o potencialmente digestible; *C* = velocidad a la que *b* se digiere; EEM = error estándar de la media.



No obstante, la pasta de coco exhibió una digestibilidad de la materia seca 5 % superior a las 72 horas de incubación respecto a la pasta de cacahuananche, sin mostrar una diferencia estadística (Tabla 3, $p = 0,0623$). En cuanto a los estimadores de cinética de digestibilidad *in situ*, la pasta de cacahuananche mostró una fracción *A* de 21,3 % y una fracción *B* de 27,1 % superior en comparación con la pasta de coco, mientras que la fracción *C* de la pasta de coco fue 183 % superior a la de cacahuananche, con ello se muestra una diferencia estadística significativa entre ambas pastas (Tabla 3, $p = <0,0001$).

Correlación

La degradación *in vitro* y la digestibilidad *in situ* mostraron una correlación positiva (Tabla 4, $p = 0,0003$); mientras, las fracciones *a* y *b* mostraron alta correlación positiva entre las diferentes técnicas ($p = 0,0021$). Cabe señalar, el estimador *c* no presentó correlación entre técnicas ($p = 0,1348$).

Tabla 4. Coeficientes de correlación entre la prueba *in vitro* e *in situ* sobre la degradación y los estimadores de la cinética de la materia seca

Variable	Coefficiente Pearson	p-valor
Degradación	0,67	0,0003
Estimador <i>a</i>	0,99	0,0002
Estimador <i>b</i>	0,96	0,0021
Estimador <i>c</i>	-0,68	0,1348

a = fracción digestible rápidamente soluble; *b* = fracción lenta o potencialmente digestible; *c* = velocidad a la que *b* se digiere.

Discusión

Análisis bromatológico

La comparación bromatológica de ambas pastas tiene por objetivo ampliar el panorama sobre su valor biológico (Tabla 1). Aunque la pasta de coco es ampliamente utilizada y evaluada en diversas investigaciones (FEDNA, 2019); la pasta de cacahuananche ha recibido menos atención en literatura científica. La PC mostró un valor 2,5 veces superior a la pasta de coco (Tabla 1, $p = 0,0001$). Este valor elevado podría atribuirse a la naturaleza botánica de la planta (leguminosa) (Edwards *et al.*, 2024), mientras en la pasta de coco, las porciones proteicas están mayormente ligadas a la pared celular de la fibra (Punzalan y Rosentrater, 2024). En este contexto, la pasta de coco presentó un porcentaje de FDN y FDA del doble en comparación con la pasta de cacahuananche (Tabla 1, $p = 0,0002$).

Las tablas de FEDNA (2019) indican que la pasta de coco contiene 20,8, 46,6 y 25,0 % de PC, FDN y FDA, respectivamente; valores similares a lo reportado en el presente estudio (Tabla 1). Por otro lado, los resultados publicados por Aye y Adegun (2013) fueron de 25 % de PC y 8 % de fibra cruda para la hoja de cacahuananche, estos valores son inferiores a lo publicado en el presente ensayo (Tabla 1). La pertinencia *in vivo* sobre el uso de estas pastas lo publicó Winarti *et al.* (2022); quienes evaluaron el comportamiento productivo de toros con una inclusión de 25 % de pasta de coco y cacahuananche, respectivamente y 50 % forraje, obteniendo una ganancia diaria de peso de 0,65 kg/día.

Ensayo *in vitro*

La técnica de medición de gas *in vitro* permite estimar el valor nutritivo de los alimentos y proporciona información sobre la digestión de fracciones solubles e insolubles, además de estimar los nutrientes, anti nutrientes y sus interacciones (Vinyard y Faciola, 2022). La degradación *in vitro* de la materia seca está directamente relacionada con la digestibilidad observadas en ensayos *in vivo* (Posada y Noguera, 2005).

Los resultados obtenidos en el ensayo *in vitro* sobre la degradabilidad de la materia seca muestran diferencias significativas a las 12 y 48 horas, así como los estimadores *a* y *b* de la ecuación de degradación (Tabla 2, $p < 0,0002$). Si bien, la pasta de cacahuananche presentó mayor degradabilidad en las primeras mediciones (Tabla 2, 12 y 48 horas), mientras que la pasta de coco incrementó su degradación significativamente a las 72 horas. Este comportamiento sugiere un patrón diferenciado de degradación que podría estar relacionado con la composición química de los subproductos evaluados (Cardona, 2018; de Morais *et al.*, 2023).

En este sentido, la mayor degradabilidad inicial de la pasta de cacahuananche puede atribuirse a su contenido de compuestos de fácil fermentación (azúcares y proteínas), los cuales son rápidamente utilizados por la microbiota ruminal (Kumar *et al.*, 2015). Este efecto coincide con lo reportado por Huda *et al.* (2023), quienes describieron la actividad de los extractos de cacahuananche ricos en polifenoles oxidadas; los cuales, además de favorecer una

degradación rápida, inhiben el crecimiento en la población de protozoarios, un efecto benéfico para reducir las pérdidas de nitrógeno amoniacal.

Por otro lado, el aumento sostenido en la degradación de la pasta de coco a las 72 horas resalta su potencial para mantener una tasa de liberación de nutrientes en el rumen (Cardona, 2018). Esto se alinea con lo observado por Lee-Rangel *et al.* (2021); quienes reportaron un incremento lineal en la degradación de la MS en un complemento que contenía 100 g/kg MS de pasta de coco, destacando la importancia de las grasas vegetales asociadas a los polisacáridos complejos como factores moduladores de la fermentación ruminal, este comportamiento es ventajoso en sistemas de alimentación donde se busca optimizar la sincronización entre la liberación de energía y la absorción de nutrientes (NRC, 2001).

Ensayo *in situ*

Los componentes solubles de la pasta de cacahuanache (azúcares y proteína) al interactuar en las condiciones ruminales presentaron una mayor digestibilidad a las 12, 24 y 48 horas, así como en los indicadores de digestibilidad *A*, *B* y *C* (Tabla 3, $p < 0.03$) con respecto a la pasta de coco. Sin embargo, esta última logró su máxima digestibilidad a las 72 horas igual que la pasta de cacahuanache (Tabla 3, $p = 0,0623$), lo que sugiere igualdad de disponibilidad de nutrientes a largo plazo.

Los valores observados para la fracción potencialmente digestible (*B*) de la pasta de cacahuanache (Tabla 3) fueron inferiores a lo publicado por Pazla *et al.* (2023), quienes reportan una degradación de la materia seca de 65,38 %, y un porcentaje de proteína degradable en rumen de 67,99 %, en un ensayo *in situ*, tales discrepancias podrían atribuirse a diferencias en la composición química de

las materias primas utilizadas o a las condiciones específicas de los estudios, tales como dieta basal o características del ambiente ruminal.

En este sentido, según FEDNA (2019) la proteína degradable en rumen de la pasta de coco ronda 45 %, valores inferiores se encontraron en la fracción *B* del presente estudio (Tabla 3). Esto podría estar relacionado con proceso de extracción del aceite de coco que modifican las propiedades físicas y químicas del residuo (Punzalan y Rosentrater, 2024).

Correlación

Los resultados obtenidos mostraron una correlación positiva significativa entre la degradación *in vitro* y la digestibilidad *in situ* de la MS (Tabla 4, $p = 0,0003$), destacando que ambas metodologías comparten un grado de congruencia al estimar la calidad de los alimentos en términos de digestibilidad y aprovechamiento por el rumiante (Martínez Sáez *et al.*, 2008).

La correlación positiva entre los estimadores *a* (Tabla 4, $p = 0,0002$) y *b* (Tabla 4, $p = 0,0021$), sugieren que los componentes de las pastas (azúcares, proteína cruda y fibras) que utiliza el animal para obtener energía son digeridos de manera constante entre las técnicas *in vitro* e *in situ* (Dhanoa *et al.*, 2004).

En contraste, el estimador *c*, que representa la velocidad de digestión de la fracción *b*, no mostró una correlación significativa entre las técnicas (Tabla 4, $p = 0,1348$). Este resultado podría atribuirse a diferencias metodológicas: la técnica *in situ* refleja condiciones fisiológicas ruminales incluyendo tasa de pasaje y dinámica de fermentación microbiana, mientras que el ensayo *in vitro* simplifica el sistema digestivo y puede no replicar de manera precisa estas condiciones (Rosero y Posada-Ochoa, 2007).

Conclusión

El perfil bromatológico, evaluación *in vitro* e *in situ* de la pasta de cacahuanache mostró un mayor contenido de PC y degradación temprana de la MS, mientras que la pasta de coco destacó por su alto contenido de FDN y FDA traduciéndose en un lenta liberación de nutrientes. La correlación entre las

pruebas *in vitro* e *in situ* confirma que ambas pastas poseen propiedades digestivas distintas que pueden aprovecharse en la nutrición animal. Estos resultados contribuyen a la valoración del potencial de cada pasta como insumo en dietas para rumiantes.

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener conflicto de interés en el presente ensayo.

Contribuciones de los autores: Todos los autores contribuyeron al presente ensayo en los rubros de escritura, análisis de datos y ejecución en pruebas de laboratorio.

Agradecimientos: A la alumna Itamar Madai Rojas Maciel por su apoyo en la realización del trabajo en laboratorio como parte de su tema de tesis.

Financiación: No hay institución o persona moral que fungió con dicho carácter.



Literatura Citada

- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. Journal of the Association of Official Agricultural Chemists., 18.
- Aye, P., and Adegun, M. (2013). Chemical Composition and some functional properties of Moringa, Leucaena and Gliricidia leaf meals. Agriculture and Biology Journal of North America, 4(1), 71-77. <https://doi.org/10.5251/abjna.2013.4.1.71.77>
- Cardona, M. I. (2018). Fermentación *in vitro* de dietas con tres niveles de inclusión de pasta de coco [Universidad Autónoma de San Luis Potosí]. San Luis Potosí, México.
- Castañeda-Serrano, R. D., Velez-Giraldo, A. M., Pardo-Guzman, J. A., Tovar-Urrea, V., and Mogollon-Vergara, D. C. (2023). P78 Rumen kinetics and digestibility in diets with different levels of natural extracts of *Gliricidia sepium* and *Guazuma ulmifolia*. Animal - science proceedings, 14(4), 650. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anscip.2023.04.173>
- De Moraes, J. P. G., Campana, M., Gregorini, P., Garcia, T. M., Minussi, J. F. D. A., Pereira, S. N., Pereira, F. C., and Del Valle, T. A. (2023). *In vitro* evaluation of potentially edible Brazilian trees and shrubs in ruminant nutrition [Article]. Animals, 13(23), Article 3703. <https://doi.org/10.3390/ani13233703>
- Dhanao, M. S., France, J., Crompton, L. A., Mauricio, R. M., Kebreab, E., Mills, J. A. N., Sanderson, R., Dijkstra, J., and López, S. (2004). Technical note: A proposed method to determine the extent of degradation of a feed in the rumen from the degradation profile obtained with the *in vitro* gas production technique using feces as the inoculum. Journal of Animal Science, 82(3), 733-746. <https://doi.org/10.1093/ansci/82.3.733>
- Di Rienzo, J., Balzarini, M., Gonzalez, L., Cazanoves, F., Tablada, M., and Walter, C. (2020). InfoStat [Software]
- Edwards, A., Mlambo, V., Mnisi, C. M., and Hughes, M. P. (2024). Mature fruits of *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala* plants have potential as inexpensive protein and mineral supplements for ruminants [Article]. Agroforestry Systems. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01066-8>
- FAO. (2023). La seguridad alimentaria y el comercio agroalimentario en América Latina y el Caribe.
- FEDNA. (2019). Composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal., 4, 604.
- Honan, M., Feng, X., Tricarico, J. M., and Kebreab, E. (2021). Feed additives as a strategic approach to reduce enteric methane production in cattle: modes of action, effectiveness and safety. Animal Production Science, 62(14), 1303-1317. <https://doi.org/10.1071/an20295>
- Huda, A. N., Sabarudin, A., Jayanegara, A., and Soetanto, H. (2023). Fermentation parameters in the rumen of goats supplemented with polyphenol oxidase derived from *Gliricidia sepium* leaves under *in vitro* conditions [Article]. Biodiversitas, 24(6), 3282-3290. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240622>
- Kumar, P. A., Singh, R., and Kamra, D. N. (2015). Rumen Microbiology: From Evolution to Revolution. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2401-3>
- Martínez Sáez, S. J., Redimio M. Pedraza Olivera, Alex Resíllez Pujal, Guillermo Guevara Viera, Pérez, C. E. G., and González, M. L. (2008). Correlación de degradabilidad ruminal *in situ* y producción de gas *in vitro* con el uso de heces vacunas depuestas como inóculo. Revista de Producción Animal, 20 110-114.
- McDonald, I. (1981). A revised model for the estimation of protein degradability in rumen. Journal of Agriculture Science 96, 251-252.
- NOM-062-ZOO. (1999). NORMA OFICIAL MEXICANA, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio.
- NRC. (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academy Press, 7, 43-104.
- Pazla, R., Zain, M., Tanuwiria, U. H., Putri, E. M., Makmur, M., Zahera, R., Sari, L. A., Afnan, I. M., Rosmalia, A., Yulianti, Y. I., Putri, S. D., Mushawwir, A., and Apriliana, R. A. (2023). Evaluation of rumen degradable protein values from various tropical forages using *in vitro* and *in situ* methods [Article]. International Journal of Veterinary Science, 12(6), 860-868. <https://doi.org/10.47278/journal.ijvs/2023.045>
- Peng, K., Gresham, G. L., McAllister, T. A., Xu, Z., Iwaasa, A., Schellenberg, M., Chaves, A. V., and Wang, Y. (2020). Effects of inclusion of purple prairie clover (*Dalea purpurea* Vent.) with native cool-season grasses on *in vitro* fermentation and *in situ* digestibility of mixed forages. Journal of Animal Science and Biotechnology, 11, 23. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0418-6>



- Posada, S. L., and Noguera, R. R. (2005). Técnica *in vitro* de producción de gases: una herramienta para la evaluación de alimentos para rumiantes. *Livestock Research for Rural Development*, 17, 4. <https://doi.org/http://lrrd.cipav.org.co/lrrd17/4/posa17036.htm>
- Punzalan, J. K. M., and Rosentrater, K. A. (2024). Copra Meal: A review of its production, properties, and prospects [Review]. *Animals (Basel)*, 14(11), Article 1689. <https://doi.org/10.3390/ani14111689>
- Ramin, M., Lerose, D., Tagliapietra, F., and Huhtanen, P. (2015). Comparison of rumen fluid inoculum vs. faecal inoculum on predicted methane production using a fully automated *in vitro* gas production system. *Livestock Science*, 181, 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.09.025>
- Romero-Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *Tecnológicas*, 25, 50-54.
- Rosero, N. R., and Posada-Ochoa, S. L. (2007). Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20, 174-182.
- SAS. (2011). Statistical Analysis System, SAS. In In
- Van Amburgh, M. E., Collao-Saenz, E. A., Higgs, R. J., Ross, D. A., Recktenwald, E. B., Raffrenato, E., Chase, L. E., Overton, T. R., Mills, J. K., and Foskolos, A. (2015). The cornell net carbohydrate and protein system: Updates to the model and evaluation of version 6.5. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 6361-6380. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9378>
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., and 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), 583-3597.
- Vinyard, J. R., and Faciola, A. P. (2022). Unraveling the pros and cons of various *in vitro* methodologies for ruminant nutrition: a review. *Transl Anim Sci*, 6(4), txac130. <https://doi.org/10.1093/tas/txac130>
- Winarti, E., Gunawan., Putridinanti, A. D., Noviandi, C. T., Andarwati, S., Agus, A., Harper, K. J., Poppi, D. P., and Back, P. (2022). Utilising *Gliricidia sepium* leaf meal as a protein substitute in cassava-based supplements to increase average daily gain of Ongole bulls and income of smallholder farmers [Article]. *Animal Production Science*, 62(7), 676-681. <https://doi.org/10.1071/an21595>
- Winarti, E., Gunawan., Sofyan, A., Wirasti, C. A., Noviandi, C. T., Panjono., Agus, A., Harper, K. J., and Poppi, D. P. (2022). Improving live weight gain in Ongole crossbred bulls through processing of *Gliricidia sepium* leaf meal and cassava in a supplement concentrate. *Animal Feed Science and Technology*, 292, 115401. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115401>