

Evaluación de la fermentación y digestibilidad ruminal *in vitro* de ensilados de maíz híbrido BM 709 y guandú

Evaluation of *in vitro* ruminal fermentation and digestibility of hybrid corn silages BM 709 and pigeon-pea

Esaú de Jesús Pérez-Luna^{1*} , Samuel Albores-Moreno² , Jesús Artemio Pérez-de León¹ ,
Guadalupe Pérez-Escobar² , Humberto León-Velasco¹ 

¹Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agronómicas, Carretera Ocozocautla-Villaflores km. 84.5, CP. 30470. Chiapas, México.

²El Colegio de la Frontera Sur, Departamento de Agricultura, Sociedad y ambiente, Ganadería Sustentable y Cambio Climático. Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, barrio María Auxiliadora, CP. 29290. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.

*Autor de correspondencia: eperezl@unach.mx

Artículo científico

Recibido: 14 de marzo 2024

Aceptado: 08 de mayo 2026

RESUMEN. El objetivo fue caracterizar la composición química, la calidad fermentativa y la digestibilidad ruminal *in vitro* de la materia seca entre ensilados de maíz híbrido BM 709 y *C. cajan*. Se evaluaron los sustratos maíz, maíz + *C. cajan*, maíz + *C. cajan* + inoculante, con tiempos de fermentación de 0, 15, 30 y 60 días, bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 4. Se aplicó un análisis de varianza para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables Vm, S, L, FR, FM, FL, FT, IPEGF y DIVMS. No hubo diferencias significativas para MS y MO. En contraste, la PC fue superior ($P < 0.05$), siendo superior en T2 y T3, respecto a T1. La fermentación fluctuó de 208.57 a 316.90 mL g⁻¹. Se encontraron diferencias en la tasa de fermentación, siendo T6 el más alto (0.037000), mientras que la fase de retraso no presentó variaciones significativas. Las mayores fracciones de rápida fermentación correspondieron a T12, T3, T2, T9, T7 y T1, con valores de 117.59, 120.83, 124.15, 124.96, 127.44 y 127.44 mg g⁻¹, respectivamente. La fracción de media fermentación, no difirió significativamente, mientras que la fracción de lenta fermentación fue mayor en T7, T3, T2, T1, T5, T11, T8, T4 y T12. La DIVMS difirió ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, con los mayores porcentajes en T5, T6, T3, T9, T3 y T1. Estos resultados respaldan el uso del ensilado de maíz y guandú como una alternativa nutricionalmente eficiente y ambientalmente sostenible para los sistemas de producción ganadera.

Palabras clave: Cultivos consorciados, *Zea mays*, *Cajanus cajan*, fermentación anaeróbica, inoculante.

ABSTRACT. The objective was to characterize the chemical composition, the fermentative quality and the digestibility ruminal *in vitro* of dry matter between silages of hybrid corn BM 709 and *C. cajan*. The substrates corn, corn + *C. cajan*, corn + *C. cajan* + inoculant, with fermentation times of 0, 15, 30 and 60 days, under a completely randomized design with factorial arrangement 3 x 4. An analysis of variance was applied to determine the effect of treatments on variables Vm, S, L, FR, FM, FL, FT, IPEGF and DIVMS. There were no significant differences for DM and OM. In contrast, the CP was higher ($P < 0.05$), being higher in T2 and T3, compared to T1. The fermentation Vm fluctuated from 208.57 to 316.90 mL g⁻¹. Differences were found in the fermentation rate, with T6 being the highest (0.037000), while the lag phase showed no significant variations. The highest rapidly fermentable fractions corresponded to T12, T3, T2, T9, T7 and T1, with values of 117.59, 120.83, 124.15, 124.96, 127.44 and 127.44 mg g⁻¹, respectively. The fraction of medium fermentation did not differ significantly, while the slowly fermentable fraction was higher in T7, T3, T2, T1, T5, T11, T8, T4 and T12. The DIVMS differed ($P \leq 0.05$) among treatments, with the highest percentages in T5, T6, T3, T9, T3 and T1. These results support the use of corn and pigeon pea silage as a nutritionally efficient and environmentally sustainable alternative for livestock production systems.

Keywords: Intercropping, *Zea mays*, *Cajanus cajan*, anaerobic fermentation, inoculant.

Como citar: Pérez-Luna E de J, Albores-Moreno S, Pérez-de León JA, Pérez-Escobar G, León-Velasco H (2026) Evaluación de la fermentación y digestibilidad ruminal *in vitro* de ensilados de maíz híbrido BM 709 y guandú. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 13(2): e4067. DOI: 10.19136/era.a13n2.4067.

INTRODUCCIÓN

La ganadería representa un componente esencial del sector agropecuario en México, tanto por su peso económico como por su función social en regiones rurales (FAO 2022). Uno de los sistemas pecuarios de mayor relevancia en el trópico es la producción bovina de doble propósito, cuya base alimenticia está constituida por gramíneas tropicales. Estas especies presentan una amplia adaptación a las condiciones climáticas de la región y contribuyen a reducir los costos de alimentación del sistema productivo (Cacep *et al.* 2021, Cisneros *et al.* 2024, Osorio *et al.* 2024). No obstante, estos forrajes suelen presentar restricciones nutricionales, caracterizadas por bajos niveles de proteína cruda y elevadas concentraciones de carbohidratos estructurales, factores que reducen su digestibilidad y disminuyen su aporte energético (Ledea *et al.* 2021, Narváez *et al.* 2023). Estas limitaciones se intensifican en la época de estiaje, ya que tanto la disponibilidad como la calidad del forraje se reducen, lo que ocasiona variaciones en la producción de leche y carne (Soltan *et al.* 2025). Para hacer frente a esta problemática, se han promovido prácticas como los Sistemas Integrados de Producción Agrícola (SIPA), que combinan cultivos, forrajes y actividades pecuarias en una misma unidad productiva, buscando mayor eficiencia y estabilidad (Pérez Luna *et al.* 2024). Dentro de estas estrategias, el ensilaje de gramíneas combinado con leguminosas ha mostrado ser una alternativa viable para mejorar la calidad nutricional del forraje, conservar el excedente y reducir la estacionalidad de la oferta forrajera (Burgos *et al.* 2021, López *et al.* 2025).

Especies como *Zea mays* L. y *C. cajan* L., se han señalado como alternativas prometedoras debido a su valor agronómico y características de sus perfiles nutricionales. *Zea mays* se caracteriza por su elevado rendimiento y su aporte energético, mientras que *C. cajan* contribuye con proteína cruda y otros compuestos que pueden favorecer la fermentación ruminal (Quiñones *et al.* 2020, Hernández-Trejo *et al.* 2022). No obstante, la información disponible sobre la cinética de fermentación, la degradabilidad ruminal *in vitro* y la edad de corte óptima de estos recursos en ambientes tropicales es limitada (Pérez-Luna *et al.* 2024). En este contexto, el presente estudio busca caracterizar la composición química, la calidad fermentativa y la digestibilidad ruminal *in vitro* de la materia seca entre ensilados de maíz híbrido BM 709 y *C. cajan* dentro de un sistema integrado de producción, con el fin de generar información relevante para el desarrollo de estrategias alimenticias sostenibles en la nutrición de rumiantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área del estudio

El experimento se llevó a cabo en una unidad de producción pecuaria ubicada en la Colonia 16 de septiembre, municipio de San Fernando, Chiapas. México. La zona presenta un clima cálido subsumelo intermedio Aw'' 1 (w) (i') g, con lluvias en verano, una precipitación medida de 1 200 mm y una temperatura media anual de 22 °C (INEGI 2017).

Establecimiento y manejo agronómico de los cultivos

Para el establecimiento del consorcio de maíz y guandú, se realizó una movilización de una capa de suelo de aproximadamente 20 cm mediante un paso de rastra. La siembra del maíz se efectuó a

5 cm de profundidad utilizando una sembradora de precisión, con densidades de 5.4 y 12.6 semillas por metro lineal, lo que correspondió a 60 000 y 140 000 plantas por ha⁻¹, para maíz y guandú, respectivamente. Se estableció una separación de 90 cm entre hileras de cada cultivo, alcanzando una densidad total de 200, 000 plantas por ha⁻¹.

En el caso del maíz, la fertilización se realizó al pie de la planta con la fórmula 207-00-00. El nitrógeno se aplicó en dos momentos, utilizando 225 kg de urea en cada aplicación: la primera cuando el cultivo se encontraba en etapa V5 y la segunda en etapa V8.

El control de plantas indeseables después de la emergencia del cultivo, se realizó de manera manual. Para control de plagas, las semillas fueron inoculadas con Bifentrina+Imidacloprid, siguiendo la dosis recomendada por el fabricante. A los 55 días del desarrollo del cultivo de maíz se detectó presencia de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), por lo que se aplicó Benzoato de Emamectina a una dosis de 19.20 g. de i.a. por ha⁻¹.

Elaboración de micro silos

El corte de los cultivos se realizó de manera manual a una altura de 20 cm sobre el nivel del suelo. Posteriormente, el material fue picado hasta obtener un tamaño de partícula de entre 2 y 3 cm, utilizando una picadora de forraje con motor a gasolina de 6.5 HP. Durante el proceso de picado se tomaron tres muestras por tratamiento, las cuales se colocaron en bolsas de plástico (25 x 40 cm) y se sellaron con película plástica para evitar la entrada de oxígeno, favoreciendo así una adecuada fermentación anaerobia del forraje. Cada muestra se integró con aproximadamente un kilogramo de forraje.

El ensilaje se elaboró a los 120 días después de la siembra. Posteriormente, cada sustrato y sus combinaciones fueron pesados conforme a los diferentes tiempos de ensilaje establecidos en cada tratamiento. Las muestras correspondientes fueron recolectadas, pesadas y molidas, y posteriormente enviadas al laboratorio de bromatología del Colegio de la Frontera Sur para los análisis pertinentes.

Para la determinación de materia seca (MS), las muestras se colocaron en un horno de aire forzado a 60 °C durante 48 h. La materia orgánica (MO) se evaluó mediante la incineración de las muestras en una mufla a 600 °C durante 6 horas. La proteína cruda (PC) se determinó por el método de Kjeldahl (CP, AOAC 1996; ID 954.01), mientras que la fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) se analizaron de acuerdo con Van Soest *et al.* (1991).

El contenido de nutrientes digestibles totales (NDT) para forrajes verdes y ensilajes con o sin aditivos se estimó utilizando las ecuaciones propuestas por Cappelle *et al.* (2001). Asimismo, se realizaron pruebas de fermentación mediante la técnica de producción de gas *in vitro* descrita por Menke y Steingass (1988), y Theodorou *et al.* (1994).

Técnicas de degradación y fermentación *in vitro*

La fermentación y degradación *in vitro* se evaluaron mediante la técnica de producción de gas descrita por Menke y Steingass (1988), con las modificaciones propuestas por Theodorou *et al.* (1994), esta metodología permitió determinar el volumen de gas generado durante un periodo de incubación de 72 h. Se evaluaron tres tratamientos: T1 (maíz), T2 (maíz + guandú) y T3 (maíz +

guandú + inoculante comercial Sill-All 4x4, Lallemand), considerando cuatro periodos de ensilaje (0, 15, 30 y 60 días), lo que dio lugar a 12 combinaciones experimentales (Tabla 1), cada combinación se analizó por triplicado.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos evaluados

Tratamiento	Sustrato	Tiempo de fermentación (días)	Repetición		
T1	Maíz	0	R1	R2	R3
T2		15	R1	R2	R3
T3		30	R1	R2	R3
T4		60	R1	R2	R3
T5	Maíz + Guandú	0	R1	R2	R3
T6		15	R1	R2	R3
T7		30	R1	R2	R3
T8		60	R1	R2	R3
T9	Maíz + Guandú + Inoculante	0	R1	R2	R3
T10		15	R1	R2	R3
T11		30	R1	R2	R3
T12		60	R1	R2	R3

T1: maíz 0 días; T2: maíz 15 días; T3: maíz 30 días; T4: maíz 60 días; T5: maíz + Guandú: 0 días; T6: maíz + Guandú: 15 días; T7: maíz + Guandú 30 días; T8: maíz + Guandú 60 días; T9: maíz + Guandú + Inoculante 0 días; T10: maíz + Guandú + Inoculante 15 días; T11: maíz + Guandú + Inoculante 30 días y T12: maíz + Guandú + Inoculante 60 días.

El inóculo ruminal se obtuvo a partir de una muestra compuesta de líquido ruminal recolectada de tres ovinos con un peso vivo promedio de 40 kg., alimentados con una dieta basada en forraje. La extracción se realizó mediante una sonda esofágica después de un ayuno de 12 h. El líquido ruminal fue filtrado a través de ocho capas de gasa y posteriormente mezclado con una solución mineral reductora en una proporción de 1:9, siguiendo el procedimiento descrito por Menke y Steingass (1988) y Krishnamoorthy *et al.* (2005).

Para cada unidad experimental se colocaron 500 mg de muestra seca y molida, en frascos ámbar con capacidad de 125 mL. A cada frasco se añadieron 90 mL de inóculo ruminal bajo una atmósfera continua de CO₂. Posteriormente, los frascos fueron sellados herméticamente con tapones de goma y anillos de aluminio de acuerdo con la metodología de Theodorou *et al.* (1994) e incubados a 39 °C en baño María.

La presión generada por la producción de gas se registró mediante un manómetro digital (Metron, Mode: 63100, México) a las 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48, 60 y 72 h de incubación conforme el procedimiento reportado por Blümmel y Lebzien (2001).

La producción de gas se estimó a partir de los valores de presión medidos en los frascos de incubación, los cuales, fueron transformados a volumen mediante la ecuación de regresión lineal: $V = (P+0.0186) (0.0237)^{-1}$ descrita por Elmasry *et al.* (2016).

Variables de respuesta

Producción de gas por fermentación ruminal *in vitro*

A partir de los datos de producción de gas se estimaron el volumen máximo (V_m , mL g⁻¹), la tasa de fermentación (S , h⁻¹) y el tiempo de latencia o la fase de retraso (L , h⁻¹), utilizando el modelo

logístico $V_0 = V_m / (1 + e^{(2-4k(t-L)})$ propuesto por Schofield y Perl (1995). Los parámetros fueron ajustados mediante el procedimiento NLIN del programa SAS (SAS 2006).

Asimismo, se calcularon volúmenes de gas producidos en los intervalos de incubación de 0 a 8 (V_{f0-8}), 8 a 24 (V_{f8-24}) y 24 a 72 (V_{f24-72}) h. Con base en estos valores, se estimaron las fracciones de fermentación rápida (FR), media (FM) y lenta (FL) expresadas en mg g^{-1} de forraje, mediante las ecuaciones de regresión lineal descritas por Sandoval *et al.* (2016): $FR = V_{f0-8} / 0.4266$, $FM = V_{f8-24} / 0.6152$, $FL = V_{f24-72} / 0.3453$. La suma de estas tres fracciones se consideró como la fracción fermentable total (FT). Adicionalmente, se calculó el índice de potencial de emisiones de gas por unidad de materia orgánica digestible (IPEGF; $\text{mL g}^{-1} \text{MOD}$).

Coefficiente de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS)

Al finalizar las 72 horas de incubación, el material no degradado de cada muestra fue recuperado mediante filtración utilizando un embudo Büchner acoplado a un matraz de vacío y papel filtro de rápida filtración (MOD.617 Código P.V.No.1034). Los residuos obtenidos se secaron en una estufa a 60 °C durante 48 h para determinar su contenido de MS. Posteriormente, la DIVMS se calculó a partir de la diferencia entre la MS inicial y la MS residual, expresándose en porcentaje de acuerdo con la metodología descrita por Monforte *et al.* (2005).

Diseño experimental y análisis de datos

Las variables asociadas al proceso fermentativo (V_m , S, L, FR, FM, FL, FT, IPEGF y DIVMS) fueron evaluadas mediante el procedimiento de modelos lineales generales (GLM) del programa SAS versión 9.0 (2006). El estudio se desarrolló bajo un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 3×4 y mediciones repetidas a través del tiempo, considerando tres repeticiones por cada tratamiento experimental. La comparación de las medias correspondientes a las 12 combinaciones se efectuó mediante la prueba de Tukey para comparaciones múltiples. Se adoptó un nivel de significancia estadística de $P \leq 0.05$, de acuerdo con los criterios descritos por Montgomery (2013). Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación de Pearson para determinar la asociación entre los componentes químicos (PC, FDN, FDA) y las variables de fermentación. Asimismo, se ajustaron modelos de regresión lineal con el propósito de evaluar la DIVMS con la fracción fermentable total.

RESULTADOS

Composición química

El contenido de PC presentó valores comprendidos entre 80 y 108 g kg^{-1} de MS entre los distintos tratamientos evaluados. Los mayores contenidos de PC se registraron en los tratamientos T8 (60 días), T12 (60 días), T7 (30 días), T11 (30 días) y T9 (0 días), con valores de 108.66, 107.72, 107.08, 104.61, 103.59 g kg^{-1} de MS, respectivamente. En cuanto a la FDN, los valores oscilaron entre 606 y 742 g kg^{-1} de MS, correspondiendo el valor mínimo al T7 (30 días) y el máximo T5 (0 días). Por su parte, la FDA mostró una variación de 394 a 505 g kg^{-1} de MS, observándose el menor contenido en T1 (0 días) y el mayor en T5 (0) (Tabla 2).

Tabla 2. Variación de la composición química g kg⁻¹ de materia seca de ensilados de maíz BM 709 y sus mezclas con *C. cajan* e inoculante en función del tiempo de fermentación.

Muestra	MS	MO	PC	FDN	FDA	NDT
T1; M 0 d	223.03	932.13	81.18	649.65	394.28	65.26
T2; M 15 d	220.06	936.09	80.55	644.57	426.41	65.36
T3; M 30 d	204.91	930.48	88.97	657.46	428.47	63.84
T4; M 60 d	175.43	923.82	85.88	696.47	472.56	54.52
T5; M+G 0 d	192.27	929.01	104.98	742.03	505.90	56.17
T6; M+G 15 d	206.65	937.84	85.57	653.05	471.28	62.08
T7; M+G 30 d	189.99	930.03	107.09	606.28	433.34	58.50
T8; M+G 60 d	200.11	922.44	108.66	680.35	505.81	59.57
T9; M+G+I 0 d	201.59	937.39	103.59	680.80	469.50	58.74
T10; M+G+I15 d	183.26	933.21	94.80	637.04	445.95	52.83
T11; M+G+I 30 d	186.52	931.44	104.61	631.37	433.79	52.27
T12; M+G+I 60 d	195.01	921.85	107.72	666.17	471.73	52.73

El porcentaje es equivalente a g/kg; NDT expresado en porcentaje

Perfil de fermentación y generación de gas *in vitro*

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para el volumen máximo de producción de gas (Vm). Los valores registrados fueron de 208.57 y 316.90 mL g⁻¹, correspondiendo el mayor valor al T12 (316.90 mL g⁻¹), seguido por T1, T2, T6, T8, T9, T3, T11, T5, T4 y T10, con valores de 282.93, 274.13, 270.33, 266.57, 263.83, 253.20, 251.30, 231.87, 222.83 y 216.40 mL g⁻¹, respectivamente.

Por el contrario, la tasa de fermentación (S) presentó diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$) (Tabla 3). El tratamiento T6 mostró la mayor tasa de fermentación con valores de 0.03700 h⁻¹. Los tratamientos T1, T2, T9, T7, T8, T10, T11, T5, T12 y T3, tuvieron valores intermedios (0.037000, 0.034667, 0.034667, 0.034467, 0.033900, 0.033167, 0.032933, 0.032667, 0.032600 y 0.032333 h⁻¹, respectivamente), sin diferencias estadísticas entre ellos. El valor más bajo de S se registró en el T4 (0.031333 h⁻¹).

En relación con la fase de retraso (L), no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos. Los valores variaron desde 3.676 h en T9 hasta 7.907 h en T4. Al analizar el efecto del tipo de sustrato, no se encontraron diferencias significativas para Vm, S ni L. Los valores promedio de Vm fueron de 5.0542 mL g⁻¹ para el ensilado de maíz, 5.3764 mL g⁻¹ para la mezcla maíz + guandú y 5.8756 mL g⁻¹ para maíz + guandú + inoculante (Tabla 3).

En relación con la tasa de fermentación (S), no se observaron diferencias significativas entre los distintos sustratos evaluados. Los valores obtenidos fueron de 0.033333 h⁻¹ para maíz, 0.0345083 h⁻¹ para maíz+ guandú y 0.0333417 h⁻¹ para maíz + guandú + inoculante (Tabla 3). Respecto a la fase de retraso (L), el ensilado de maíz presentó un valor de 5.4542 h, mientras que las combinaciones de maíz + guandú y maíz + guandú + inoculante registraron 5.3764 y 5.8756, h, respectivamente. Cuando se analizó el efecto del tiempo de ensilaje, el Vm y la L no mostraron diferencias significativas (Tabla 3). El mayor valor de S se registró a los 15 días de ensilaje (0.0349444 h⁻¹), seguido por los 0 días (0.0341111 h⁻¹) y 30 días (0.0332444 h⁻¹), mientras que el valor más bajo se observó a los 60 días de fermentación (0.0326111 h⁻¹).

Tabla 3. Respuesta fermentativa, digestibilidad *in vitro* de la materia seca y potencial de emisión de gas en ensilados de maíz BM 709 y *C. cajan cv Caqui* bajo diferentes periodos de fermentación.

Tratamientos	Variables								
	Vm (mL g ⁻¹)	S (h ⁻¹)	L (h)	FR (mg g ⁻¹)	FM (mg g ⁻¹)	FL (mg g ⁻¹)	FT (mg g ⁻¹)	DIVM (%)	IPEG (mL g ⁻¹ MSD)
M 0 (T1)	282.93	0.035 ^{ab}	4.071	136.47 ^a	225.19	307.76 ^{ab}	669.42	69.50 ^a	407.92
M 15 (T2)	274.13	0.036 ^{ab}	4.417	124.15 ^{ab}	221.22	306.77 ^{ab}	652.14	62.60 ^{ab}	438.29
M 30 (T3)	251.3	0.032 ^{ab}	3.821	120.83 ^{ab}	190.38	286.38 ^{ab}	597.6	61.30 ^{ab}	409.61
M 60 (T4)	216.4	0.031 ^b	7.907	50.96 ^b	161.89	319.92 ^{ab}	532.77	53.36 ^b	404.24
M+G 0 (T5)	222.83	0.033 ^{ab}	7.246	59.21 ^{ab}	172.79	311.92 ^{ab}	543.92	58.81 ^{ab}	378.46
M+G 15 (T6)	270.33	0.037 ^a	5.151	116.66 ^{ab}	236	266.11 ^b	618.77	59.81 ^{ab}	451.56
M+G 30 (T7)	263.83	0.034 ^{ab}	3.953	127.44 ^{ab}	208.66	283.39 ^{ab}	619.49	56.76 ^b	466.1
M+G 60 (T8)	266.57	0.03 ^{ab}	5.156	105.23 ^{ab}	213.78	317.91 ^{ab}	636.92	57.67 ^b	467.98
M+G+I 0 (T9)	253.2	0.035 ^{ab}	3.676	124.96 ^{ab}	198.96	268.14 ^b	592.06	61.83 ^{ab}	409.89
M+G+I 15 (T10)	208.57	0.033 ^{ab}	6.907	77.28 ^{ab}	160.75	267.10 ^b	505.14	58.43 ^b	359.92
M+G+I 30 (T11)	231.87	0.033 ^{ab}	7.321	68.22 ^{ab}	177.82	316.80 ^{ab}	562.83	57.58 ^b	406.5
M+G+I 60 (T12)	316.9	0.033 ^{ab}	5.599	117.59 ^{ab}	237.78	410.44 ^a	765.81	58.28 ^b	552.47
EE	23.68	0.001	0.934	15.624	18.824	26.977	55.174	2.153	47.922
Factor A (Sustrato)									
Maíz	256.19	0.033	5.054	108.11	199.67	305.21	612.98	61.69	415.01
Maíz + Guandú	255.89	0.033	5.376	102.13	207.81	294.83	604.77	58.26	441.03
Maíz + Guandú + Inoculante	252.63	0.034	5.876	97.01	193.83	315.62	612.98	59.03	432.19
EE	13.997	0.001	0.597	11.171	11.602	14.467	31.845	1.229	1.229
Factor B [Tiempo de ensilaje (días de fermentación)]									
0	0	252.99	0.034 ^{ab}	4.99	106.88	198.98	295.94 ^{ab}	601.80	63.38 ^a
15	15	251.01	0.035 ^a	5.49	106.03	205.99	279.99 ^b	592.02	60.28 ^{ab}
30	30	249.00	0.033 ^{ab}	5.03	105.5	192.29	295.52 ^{ab}	593.31	58.55 ^{ab}
60	60	266.62	0.033 ^b	6.22	91.26	205.99	349.42 ^a	645.17	56.43 ^b
EE	EE	16.16	0.001	0.68	12.89	13.39	16.70	36.77	1.42

a, b: medias dentro de una misma columna con letras distintas difieren significativamente ($P \leq 0.05$); Vm: volumen máximo de producción de gas; S: tasa de fermentación; L: fase de latencia; FR: fracción de fermentación rápida; FM: fracción de fermentación media; FL: fracción de fermentación lenta; FT: fracción fermentable total; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; IPEGF: índice potencial de emisión de gas por unidad de materia seca digestible.

Parámetros de gas, digestibilidad *in vitro* y potencial de emisión de gas

En cuanto a la fracción de fermentación rápida (FR, 0-8 h) se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$). El valor más alto se registró en T1 (136.47 mg g⁻¹), mientras que los tratamientos T7, T9, T2, T3, T12, T6, T8, T10, T11 y T5 presentaron valores estadísticamente similares (127.44, 124.96, 124.15, 120.83, 117.59, 116.66, 105.23, 77.28, 68.22, 59.21 y 59.21 mg g⁻¹). El valor más bajo de esta fracción correspondió a T4 (50.96 mg g⁻¹) (Tabla 3).

Para la fracción de fermentación media (FM, 8-24 h), no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, con valores que variaron desde 160.75 mg g⁻¹ en T10 hasta los 237.78 mg g⁻¹ en T12. En el caso de la fracción de fermentación lenta (FL, 24-72 h), se evidenciaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos. El mayor valor se observó en T12 (410.44 mg g⁻¹). Ciertos tratamientos (T4, T8, T11, T5, T1, T2, T3 y T7) mostraron valores intermedios y estadísticamente similares, entre 283.39 y 319.92 mg g⁻¹. En contraste, los valores más bajos correspondieron a T9, T10 y T6, con 268.14, 267.10 y 266.11 mg g⁻¹, respectivamente. Finalmente, la fracción fermentable total (FT) no presentó diferencias significativas entre tratamientos, registrándose el valor máximo en T12 (765.81 mg g⁻¹) y el mínimo en T10 (505.14 mg g⁻¹).

La DIVMS, presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Tabla 3). El mayor valor se registró en T1 (69.498%), mientras que los tratamientos T10, T12, T8, T11, T7 y T4 mostraron valores inferiores, con un rango de 58.428 a 53.358%. En contraste, el IPEGF no evidenció diferencias estadísticas entre tratamientos. Los valores oscilaron entre 359.92 mL g⁻¹ de MSD en T10 y 552.47 mL g⁻¹ de MSD en T12.

Al analizar el efecto de los sustratos, las fracciones de fermentación rápida (FR), media (FM), lenta (FL), la fracción total (FT), la DIVMS y el IPEGF, no presentaron variaciones significativas entre ellos. De forma similar, la evaluación por tiempo de ensilaje mostró ausencia de diferencias para FR, FM, FT e IPEGF. No obstante, la FL y la DIVMS si respondieron significativamente al periodo de fermentación ($P \leq 0.05$). La fracción de FL, alcanzó su mayor valor a los 60 días de ensilaje (349.42 mg g⁻¹), mientras que los tiempos de 0, 15 y 30 días presentaron valores menores (295.94, 279.99 y 295.52 mg g⁻¹, respectivamente) (Tabla 3). En el caso de la DIVMS, el valor más elevado se observó en el tratamiento sin fermentación (0 días), con 63.38%.

En el análisis de correlación (Tabla 4), la FDN mostró una asociación negativa significativa con el Vm ($r = -0.241$; $p = 0.045$). En cambio, las relaciones entre los componentes químicos (PC y FDA) y los parámetros cinéticos de fermentación no fueron significativas, sin evidenciar patrones consistentes ($r < 0.47$). Asimismo, la DIVMS no presentó correlaciones significativas con las variables fermentativas evaluadas, incluido el Vm ($r = -0.458$; $p = 0.135$) ni con las fracciones fibrosas analizadas.

Tabla 4. Análisis de correlación entre la composición química y parámetros de fermentación *in vitro*.

Fracción fermentable	PC	FDN	FDA
V	0.019	-0.241	-0.164
S	0.954	0.045	0.609
L	-0.321	-0.322	-0.159
FR	0.309	0.307	0.622
FM	0.130	0.379	0.399
FL	0.686	0.224	0.198
FT	-0.161	-0.469	-0.443
DIVMS	0.617	0.124	0.1487
IPEGF	-0.091	-0.271	-0.136
	0.778	0.395	0.673
	0.295	0.213	0.187
	0.353	0.507	0.561
	0.059	-0.188	-0.138
	0.854	0.559	0.668
	-0.458	-0.138	-0.579
	0.135	0.668	0.668
	0.317	-0.189	0.157
	0.316	0.557	0.625

A: coeficiente de correlación; B: correlación significativa ($P \leq 0.05$); PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutra; FDA: fibra detergente ácida; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; S: tasa de fermentación; L: fase de retraso; Vm: volumen máximo; FR: fracción de fermentación rápida; FM: fracción de fermentación media; FL: fracción de fermentación lenta; FT: fracción fermentable total; IPEGF: índice potencial de emisión de gas por unidad de materia seca digestible.

DISCUSIÓN

Composición química

La incorporación de guandú en siembra intercalada con maíz favorece la obtención de un forraje con mayor calidad nutricional, reflejada en una mejora de su composición química, particularmente por el aumento en el contenido de PC (108.66 g kg^{-1} de MS) y la reducción de las fracciones de FDN y FDA (606 y 394 g kg^{-1} de MS, respectivamente) (Ligosky 2020, Pérez de León *et al.* 2023). En este sentido, distintos autores han indicado que la inclusión de guandú no reduce el rendimiento de materia seca del maíz ni deteriora las características fermentativas del ensilaje, sino que contribuye como fuente proteínica complementaria y mejora la disponibilidad de forraje en periodos de sequía, cuando la oferta forrajera es limitada (Santiani *et al.* 2020). En trabajos previos, Pérez Luna *et al.* (2019) reportaron para ensilajes de sorgo con guandú contenidos de MS entre 345.6 y 393.1 g kg^{-1} . En contraste, en el presente estudio los valores de MS oscilaron entre 175.43 a 223.03 g kg^{-1} . Asimismo, dichos autores señalaron un contenido de MO de 96% en este tipo de ensilajes, mientras que en la presente investigación se obtuvo un valor ligeramente menor (93%).

Uno de los efectos más relevantes de adicionar guandú al ensilaje es el incremento del contenido de PC, componente esencial tanto para la microbiota ruminal, como para los procesos de crecimiento y producción en el animal. En esta investigación, se observaron valores de PC que oscilan entre 103.6 y 108.7 g kg^{-1} de MS en tratamientos con 0 a 60 días de ensilaje, destacando los tratamientos T8 y T12. Estos valores se encuentran dentro del rango nutricional óptimo (11-14%) para rumiantes en etapas de crecimiento o producción (Shimada 2018). Además, superan el umbral mínimo del 7% necesario para sostener la actividad microbiana ruminal (NRC 2016).

Desde una perspectiva biológica, este incremento en PC implica un mayor suministro de nitrógeno fermentable para las bacterias ruminales, lo cual es clave para la síntesis de proteína microbiana. Esta proteína microbiana constituye la principal fuente de aminoácidos absorbibles para el animal. No obstante, es importante mantener un equilibrio, ya que niveles excesivos de PC pueden conducir a pérdidas de nitrógeno por excreción urinaria, con impacto metabólico y ambiental negativo (Shimada 2018). De acuerdo con Pérez Luna *et al.* (2024), los ensilajes estudiados presentaron concentraciones de PC superiores al 7%, nivel considerado necesario para sostener el adecuado crecimiento y actividad de la microbiota ruminal. El valor promedio fue de 8.78%, con variaciones importantes dependiendo del sustrato y del tiempo de fermentación anaeróbica. En particular, los ensilados que incluyeron *C. cajan* alcanzaron valores altos de PC, destacando el guandú ensilado a 30 y 60 días, con 13.58 y 13.08%, respectivamente. Los resultados obtenidos en la presente investigación para PC de los tratamientos T8 (60), T12 (60), T7 (30), T11 (30) y T9 (0 días), fueron de 108.66 , 107.72 , 107.08 , 104.61 y 103.59 g kg^{-1} de MS, respectivamente, lo cual indica que estos ensilajes pueden utilizarse para suplementar las dietas de los rumiantes (Pérez Luna *et al.* 2019). Los resultados coinciden con los reportados por Pérez Luna *et al.* (2024), quienes observaron un incremento en la concentración de PC con la incorporación de *C. cajan* en el ensilaje. Estos resultados sugieren que los ensilajes mixtos de sorgo y *C. cajan*, en niveles adecuados, constituyen una estrategia nutricional prometedora para mejorar el contenido proteico del forraje conservado, contribuyendo así al suministro de proteína en dietas para los rumiantes (Pérez Luna *et al.* 2019, Pérez Luna *et al.* 2024).

Los valores de FDN obtenidos en el presente estudio oscilaron entre 606.282 a 742.035 g kg⁻¹ de MS. Estos resultados son comparables con los reportados por Pérez Luna *et al.* (2019) para ensilajes de sorgo asociados con *C. cajan*, cuyos contenidos de FDN variaron entre 60.00 y 65.78%. De igual manera, Pérez Luna *et al.* 2024 registraron un valor promedio de 588.73 g kg⁻¹ de MS en ensilados elaborados con estas mismas especies forrajeras. Asimismo, Pérez de León *et al.* (2023) reportaron un contenido de FDN de 52.39% en el maíz híbrido BM-709. La similitud observada entre los estudios podría estar relacionada con la incorporación de tallos de diámetro igual o inferior a 3 mm dentro del material ensilado, los cuales forman parte de la fracción comestible y contribuyen al contenido total de la fibra. De acuerdo con Fuentes y Guerrero (2014) la dieta de los rumiantes debe contener al menos un 10% de FDA, de la cual no menos del 50% debe proceder de fuentes de fibra físicamente efectiva, tales como henos o ensilados. Al respecto, Pérez Luna *et al.* (2019) encontraron valores promedio de FDA de 34.03 a 47.53% para ensilados de sorgo, guandú y sorgo adicionado con guandú. El menor contenido de carbohidratos estructurales podría traducirse en un incremento del consumo voluntario de MS, ofreciendo a los productores una estrategia potencial para mejorar el valor nutritivo de la dieta de los animales. En este estudio, los valores de FDA oscilaron entre 394 y 505 g kg⁻¹ de MS, correspondiendo al valor más bajo al T1 (0 días) y el más alto al T2 (15 días). De acuerdo con Fuentes y Guerrero (2014) indican que para mantener una adecuada actividad fermentativa se recomienda que la dieta contenga al menos un 10% de FDA. Por lo que, la determinación de las fracciones fibrosas en los forrajes destinados al ensilaje resulta fundamental, ya que tanto la FDN como la FDA influyen directamente sobre el consumo voluntario y digestibilidad de la MS. Por lo que un incremento de estas fracciones suele asociarse con una mayor permanencia del alimento en el rumen, lo que puede limitar la ingesta y en consecuencia afectar el desarrollo productivo de los animales, expresado en menores rendimientos de carne o leche (Pérez-Luna *et al.* 2019).

Perfil de fermentación y generación gas *in vitro*

Los valores de Vm de gas registrados en los tratamientos T1, T2, T3 y T4 reflejan una fermentación inicial más lenta. Este comportamiento podría atribuirse a un retraso en la colonización del sustrato por los microorganismos del rumen, asociado probablemente con una menor disponibilidad de carbohidratos solubles o con una mayor proporción de carbohidratos estructurales, lo que limita el inicio de la actividad fermentativa. Esta condición prolonga la fase de retraso (L); sin embargo, una vez superado este periodo, la tasa de fermentación (S) aumenta (Tabla 3). Este comportamiento sugiere una adaptación gradual de la microbiota ruminal al sustrato (Kibon y Orskov 1993, Albores *et al.* 2018).

En contraste, los tratamientos T9, T10, T11 y T12, que incorporaron un inoculante durante el proceso de ensilaje, presentaron valores de Vm superiores, lo que sugiere una fermentación más eficiente y sostenida. Esta mejora puede estar asociada a la actividad del inoculante, el cual podría haber favorecido una pre-fermentación microbiana, incrementando la solubilidad de los compuestos orgánicos y mejorando su disponibilidad para los microorganismos ruminales. Estos resultados coinciden con los encontrados por Pérez Luna *et al.* (2024) en ensilajes de sorgo y guandú, quienes observaron que la incorporación de inoculantes favoreció el comportamiento de la cinética fermentativa.

Por otro lado, los tratamientos con maíz + guandú (T5 a T8) presentaron los valores más bajos de Vm, lo que podría explicarse por su mayor contenido de FDN y FDA. Estos componentes estructurales dificultan el acceso microbiano al sustrato, lo que retrasa el proceso inicial de degradación, ocasionando una disminución de la duración de la fase de fermentación activa, por tanto, se reduce la producción total de gas. Este patrón fue también identificado por Pérez Luna *et al.* (2019), quienes concluyeron que una alta proporción de fibras estructurales limita el desarrollo de fermentaciones extensas, incluso si el inicio es rápido. Rendón *et al.* (2014) señalan que los ensilajes elaborados en micro silos, como los empleados en esta investigación, no presentan variaciones significativas atribuibles al tiempo de almacenamiento, este comportamiento respalda la consistencia de los resultados obtenidos en los distintos tratamientos. Esto refuerza la idea de que las variaciones en Vm están más relacionadas con la composición del sustrato y la presencia de aditivos, que con el tiempo de conservación del ensilado. En este contexto, Aguirre *et al.* 2017) indican que una adecuada sincronización entre la energía y el nitrógeno (N) en el rumen constituye una buena estrategia para incrementar la eficiencia fermentativa.

Parámetros de gas, digestibilidad *in vitro* y potencial de emisión de gas

Las gramíneas forrajeras, los follajes de especies arbóreas y las mezclas entre estos, constituyen sustratos con una composición química más compleja que la de materias primas simples y homogéneas. Como consecuencia, los índices de sincronización entre el suministro de la energía y del nitrógeno, suelen verse afectados, siendo frecuente la presencia de un exceso de nitrógeno y una sincronización deficiente entre la fermentación del nitrógeno y de la MS (Rosales *et al.* 1997). La combinación de gramíneas y follaje de especies arbóreas en el proceso de ensilaje puede favorecer una mejor sincronización entre la disponibilidad de energía y nitrógeno, lo que contribuye a incrementar las fracciones fermentables y a mejorar la degradación de la MS (Nsahlai *et al.* 1995). Considerando lo anterior, los valores de FR observados en los tratamientos T1, T7 y T9 podría atribuirse a una mayor fermentación de la fracción soluble, rica en azúcares; así como la degradación de otros carbohidratos fermentables, entre ellos el almidón, la celulosa y pectinas (Albores *et al.* 2018). En el caso de la FM no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, con valores que fluctuaron entre 160.75 y 237.78 mg g⁻¹. En estos tratamientos se evidenció una mayor degradación de fracciones ricas en almidón, así como una variación en el contenido de celulosa. Estos resultados son comparables con los reportados por Pérez Luna *et al.* (2019) en ensilajes de sorgo solo y en combinación con *C. cajan* e inoculante. Por otra parte, el tratamiento con fermentación más lenta (T12) podría considerarse como una fuente energética en dietas balanceadas, al integrarse con sustratos de rápida fermentación que permitan mejorar la sincronización y el aprovechamiento del exceso de NH₃ (Cajarville *et al.* 2012).

Los tratamientos T1, T2, T3 y T9 registraron los valores más elevados de la DIVMS, lo cual indica una mayor disponibilidad de nutrientes fermentables. Este comportamiento podría asociarse con una mayor densidad energética en los ensilajes, derivada de un contenido más alto de carbohidratos solubles, lo que favorece el establecimiento rápido de la fermentación ruminal y sostiene mayores tasas de producción de gas (Girma *et al.* 2015). La menor DIVMS la presentaron los tratamientos T6, T5, T10, T12, T8, T11, T7 y T4; esto puede ser debido a que los niveles de guandú en el ensilado reducen la digestibilidad, debido a las fracciones fibrosas presentes en el tallo de esta leguminosa (Pérez Luna *et al.* 2024).

La eficiencia de la degradación de la MS se refleja en el IPEGF, en el cual los tratamientos evaluados mostraron valores de 359.92 a 552.47 mL g⁻¹ de MSD. Al respecto, Pérez Luna *et al.* (2019) reportaron rangos similares 385.95 a 540.13 mL g⁻¹ de MSD, destacando los valores más bajos de 385.95, 396.12 y 393.39 mL g⁻¹ de MSD. Este comportamiento podría estar relacionado con una elevada cantidad de componentes celulares que influyen en el proceso fermentativo, posiblemente mediante una inhibición parcial de la actividad microbiana, sin afectar de manera significativa la degradación enzimática de la MS (Carballa *et al.* 2015). Estos resultados sugieren que los sustratos evaluados podrían emplearse como una estrategia para reducir la producción de gas, ya que por unidad de MS fermentada se generó una menor cantidad de gas.

CONCLUSIONES

El ensilado de maíz y guandú con y sin inoculante, mejoró su composición química y la digestibilidad ruminal *in vitro* de la MS, evidenciado por el aumento de la proteína cruda y la reducción de los carbohidratos estructurales. Las mejoras observadas se reflejaron en un incremento de la fermentación ruminal y en una mayor degradación de la materia seca. El tratamiento maíz + guandú + inoculante a los 60 días destacó por presentar la mayor tasa de fermentación y volumen máximo de gas, lo que lo convierte en una alternativa viable para la suplementación de rumiantes durante la época de estiaje. Asimismo, algunos tratamientos mostraron una menor producción de gas por unidad de materia orgánica fermentable, lo cual podría indicar un potencial para la emisión de gases de efecto invernadero. Estos resultados respaldan el uso del ensilado de maíz y guandú como una opción nutricionalmente eficiente y ambientalmente sostenible dentro de los sistemas de producción ganadera.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Aguirre VC, Medina VM, Montenegro VL, Sánchez LA, Barrera AA and Espinosa GI (2017) Fermentation kinetics and ruminal degradability *in vitro* of diets with different nitrogen source. *Animal Production* 10(2): 69-73.
- Albores MS, Alayón GJ, Miranda RL, Jiménez FG, Kú VJ, Vargas VL (2018) Nutritional composition, *in vitro* degradation and potential fermentation of tree species grazed by ruminants in secondary vegetation (acahual) of deciduous forest. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences* 28(5): 1263-1275.
- AOAC (1996) Official Methods of Analysis, 17th edn. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>. Fecha de consulta: 25 de abril de 2023.
- Burgos ÁM, Porta M, Hack CM, Castelan ME (2021) Calidad nutricional de ensilajes mixtos de *Saccharum officinarum* L. y hojas de *Manihot esculenta* Crantz. *Pastos y Forrajes* 44: 1-8.

- Blümmel M, Lebzien P (2001) Predicting ruminal microbial efficiencies of dairy rations by *in vitro* techniques. *Livestock Production Science* 68(2): 107-117. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00241-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00241-4)
- Cacep JC, Alatorre AC, Vera SR (2021) Evaluación económica de una unidad bovina doble propósito en el trópico húmedo. *Revista Mexicana de Agronegocios* 49: 1-8.
- Cajarville C, Britos A, Garciarena D, Repetto J (2012) Temperate forages ensiled with molasses or fresh cheese whey: Effects on conservation quality, effluent losses and ruminal degradation. *Animal Feed Science and Technology* 17(1): 14-19. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.09.016>
- Cappelle ER, Valadares FC, Silva JF, Cecon PR (2001) Estimativas do alor nergético a partir de aracterísticas uímicas e romatológicas dos limentos. *Revista Brasileira* 30(6): 1837-1856.
- Carballa M, Regueiro L, Lema J (2015) Microbial management of anaerobic digestion: exploiting the microbiome-functionality nexus. *Current Opinion in Biotechnology* 33(1): 103-111. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2015.01.008>
- Cisneros-Saguilán P, Martínez-Vásquez J, Rosa-Galindo A de la, Candelaria-Martínez B, Portillo-Salgado R (2024) Caracterización tipológica de la ganadería bovina doble propósito en Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 11(3): e3560. <https://doi.org/10.19136/era.a11n3.3560>
- Elmasry A, Mendoza G, Miranda L, Vázquez G, Salem A, Hernández P (2016) Effects of types and doses of yeast on gas production and *in vitro* digestibility of diets containing maize (*Zea mays*) and lucerne (*Medicago sativa*) or oat hay. *South African Journal Animal Science* 46(4): 145-151. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v46i4.7>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022) Livestock and livelihoods in Latin America: State of the sector. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc1319e>
- Fuentes RJ, Guerrero RA (2014) Explotación de bovinos en corrales de engorda. Parámetros productivos. Trillas. México. 160p.
- Girma M, Animut G, and Assefa G (2015) Chemical composition and *in vitro* organicmatter digestibility of major indigenous fodder trees and shrubs in Northeastern drylands of Ethiopia. *Livestock Research Rural Developmen* 27(2): 136-140.
- Hernández-Trejo A, Santillán JA, Estrada-Drouaillet B, Ramírez ZR, Fuentes SE, Coronado-Blanco JM, Malvar RA (2022) Tolerancia del maíz al daño foliar de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) y a la aplicación de insecticidas. *Agro Productividad* 15(5): 23-31.
- INEGI (2017) Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Anuario Estadístico, Chiapas, México. pp. 24-30. https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825094836.pdf. Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2022.
- Kibon A, Ørskov E (1993) The use of degradation characteristics of browse plants to predict intake and digestibility by goats. *Animal Production* 57(2): 247-251. <https://doi.org/10.1017/S0003356100006851>
- Krishnamoorthy U, Rymer C, Robinson P (2005) The *in vitro* gas production technique: limitations and opportunities. *Animal Feed Science and Technology* 1(7): 123-124. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.015>
- Ledea RL, La O L, Verdecia AD, Benitez JD, Hernández ME (2021) Composición química-nutricional de rebrotes de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone durante La estación lluviosa. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24(54): 1-13.
- Ligoski B, Gonçalves L, Claudio F, Alves E, Krüger A, Bizzuti B, Paim T (2020) Silage of intercropping corn, palisade grass, and pigeon pea increases protein content and reduces *in vitro* methane production. *Agronomy* 10(11): 178-179. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111784>
- López JA, Reta SD, Santana OI, Reyes GA, Rodríguez HK, Granados NJ, López CM, Sánchez DJ (2025) Rendimiento de forraje y valor nutritivo del ensilado de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-

- invierno. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 16(1): 208-223.
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v16i1.6301>
- Menke H, Steingass H (1988) Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Animal Research Development 28(2): 17-55.
- Monforte BG, Sandoval CC, Ramírez AL, Capetillo LC (2005) Defaunating capacity of tropical fodder trees: Effects of polyethylene glycol and its relationship to *in vitro* gas production. Animal Feed Science and Technology 12(3): 313-327. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.016>
- Montgomery DC (2013) Design and analysis of experiments. Eighth Edition. Wiley & Sons. New Jersey, USA. 724p.
- Nsahlai IV, Siaw DE, Uminna NN (1995) Inter-relationships between chemical constituents, rumen dry matter and nitrogen degradability in fresh leaves of multipurpose trees. Journal of Science Food and Agriculture 69(2): 235-246. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740690214>
- Narváez HJ, Angulo AJ, Barragán HW, Mahecha LL (2023) Arbustivas y arbóreas del piedemonte amazónico colombiano: potencial nutricional y ambiental en sistemas ganaderos. Agronomía Mesoamericana 34(3): 1-21. <https://doi.org/10.15517/am.2023.52442>
- NRC (2016) Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised. Ed. Washington D.C. National Academy of Sciences. <https://doi.org/10.17226/19014>
- Osorio GJ, Calderón BV, de Mesa OL, Restrepo BD (2024) Importancia de la disponibilidad de alternativas forrajeras para la alimentación de ganado bovino. Revista Politécnica 20(39): 18-30. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v20n39a2>
- Pérez LE, Gil MR, Córdova ML, Espinosa VS, León VH, Ley CA (2019) Valor nutricional de ensilaje de *Sorghum bicolor* L. Moench cv. RB Cañero y *Cajanus cajan* cv. CAQUI en un sistema integrado de producción agropecuaria en Villaflores, Chiapas. Revista Mexicana de Agroecosistemas 6(2): 1247-1251.
- Pérez LE, Albores MS, Ruíz GA, Espinosa VS, Alayón GJ, Ruíz SB (2024) Fermentación y digestibilidad ruminal *in vitro* de ensilados de *Sorghum bicolor* y *Cajanus cajan*. Abanico Veterinario 15(1): 1-20. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.2>
- Pérez de León JA, Pérez LE, Albores MS, Jiménez FG, Pérez EG, Espinosa VS (2023) Composición química de ensilaje de maíz BM-709 consorciado o no con *Cajanus cajan* cv. Caqui. AIA Avances en Investigación Agropecuaria 27(2): 44-45. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.23.27.50>
- Quiñones CJ, Cardona IJ, Castro RE (2020) Ensilaje de arbustivas forrajeras para sistemas de alimentación ganadera del trópico altoandino. Revista de Investigaciones Altoandinas. Journal of High Andean 22(3): 285-301. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.662>
- Rendón ME, Noguera RR, Posada SL (2014) Vinaza de caña como aditivo acidificante en la elaboración de ensilaje de maíz (*Zea mays*). Livestock Research for Rural Development 26(1) 17-21. <http://www.lrrd.org/lrrd26/1/rend26007.html>. Fecha de consulta: 11 de julio de 2019.
- Rosales M, Gill M (1997) Tree mixtures within integrated farming systems. Second FAO Electronic Conference on Tropical Feeds Livestock Feed Resources within Integrated Farming Systems. Livestock Research for Rural Development 9(36): 1248-1255.
- Santiani L, Rossato O, Contini R, Vortmann I, Eisenhardt J (2020) Consórcio de milho com forrageiras: atributos físicos do solo e produtividade de massa seca. Colloquium Agrariae 16(6): 36-46. <https://doi.org/10.5747/ca.2020.v16.n6.a405>
- SAS (2006) Institute Inc., SAS/STAT. Software, Ver. 9.00. SAS, Cary, NC, USA. 442p.
- Sandoval GL, Miranda RL, Lara BA, Huerta BM, Uribe GM, Martínez MM (2016) Fermentación *in vitro* y la correlación del contenido nutrimental de Leucaena asociada con pasto estrella. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7(16): 3185-3196.

- Schofield P, Pell A (1995) Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes and grasses. *Journal of Animal Science* 73(11): 3455-3463. <https://doi.org/10.2527/1995.73113455x>
- Shimada MA (2018) Alimentos y alimentación animal. Trillas. México. 328p.
- Soltan YA, Morsy AS, El-Zaiat HM, de Almeida AM (2025) Reducing livestock emissions while maintaining productivity in ruminant production systems: challenges and opportunities in the Tropics and the Mediterranean. *Tropical Animal Health and Production* 57(5): 262. <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04517-1>
- Theodorou MK, Williams BA, Dhanoa MS, McAllan AB, France J (1994) A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science Technology* 48(2): 185-197. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)
- Van-Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74(2): 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)