

Research Article

Degradabilidad ruminal in vitro y cinética de fermentación de residuos agroindustriales de maíz (*Zea mays*) como alternativa para la alimentación de rumiantes

In vitro ruminal degradability and fermentation kinetics of corn (*Zea mays*) agro-industrial residues as an alternative feed for ruminants



Espinoza-Guerra, Italo Fernando ¹



<https://orcid.org/0000-0002-2975-3087>



iespinoza@uteg.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.



Muñoz-Rodríguez, Jorge Geovanny ³



<https://orcid.org/0009-0004-6134-5376>



jmunoz@uteg.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.



Borbor-Lainez, Marjorie Vanesa ⁵



<https://orcid.org/0000-0001-8717-561X>



marjorie.borbor2016@uteg.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.



Cedeño-Moreira, Ángel Virgilio ²



<https://orcid.org/0000-0002-6564-5569>



acedenom@uteg.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.



Conrado-Palma, Diego Javier ⁴



<https://orcid.org/0000-0002-1917-0814>



dconradop@uteg.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v6/n2/247>

Resumen: El objetivo del estudio fue evaluar la degradabilidad ruminal in vitro y la cinética de degradación de residuos agroindustriales de maíz (*Zea mays* L.) como alternativa para la alimentación de rumiantes. Se empleó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos: hojas de mazorca (T1), panca (T2), tusa sin grano (T3) y pelusa (T4), con cinco repeticiones cada uno. La degradabilidad de la materia seca se determinó mediante la técnica in vitro con el sistema DAISY II, utilizando tiempos de incubación de 0, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 horas. Los resultados evidenciaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos en todos los tiempos evaluados. La pelusa (T4) presentó la mayor degradabilidad, alcanzando 68,96% a las 72 horas, seguida por T1 (49,00%), T2 (42,82%) y T3 (27,78%), lo que indica mayor disponibilidad de sustratos fermentables y mayor actividad microbiana ruminal. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas ($P > 0,05$) en los parámetros cinéticos evaluados, incluyendo la fracción soluble, fracción potencialmente degradable, tasa de degradación y degradabilidad efectiva, lo que sugiere un comportamiento fermentativo similar entre los residuos. En conclusión, existe variabilidad en la degradabilidad de estos subproductos, destacándose la pelusa como una alternativa con alto potencial nutricional.

Palabras clave: Digestibilidad, microbiota ruminal, subproductos, alimentación.



Check for updates

Receptado: 26/Mar/2026

Aceptado: 16/Abr/2026

Publicado: 30/Abr/2026

Cita: Espinoza-Guerra, I. F., Cedeño-Moreira, Ángel V., Muñoz-Rodríguez, J. G., Conrado-Palma, D. J., & Borbor-Lainez, M. V. (2026). Degradabilidad ruminal in vitro y cinética de fermentación de residuos agroindustriales de maíz (*Zea mays*) como alternativa para la alimentación de rumiantes. *Journal of Economic and Social Science Research*, 6(2), 163-174. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v6/n2/247>

Journal of Economic and Social Science Research (JESSR)

<https://economicsocialresearch.com>

jessr@editorialgrupo-aea.com

info@editorialgrupo-aea.com

Nota del editor: Editorial Grupo AEA se mantiene neutral con respecto a las reclamaciones legales resultantes de contenido publicado. La responsabilidad de información publicada recae enteramente en los autores.

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

The objective of this study was to evaluate the in vitro ruminal degradability and degradation kinetics of agro-industrial maize (*Zea mays L.*) residues as an alternative for ruminant feeding. A completely randomized design was used with four treatments: corn husk leaves (T1), corn stover (T2), cob without grain (T3), and corn silk (T4), each with five replicates. Dry matter degradability was determined using the in vitro technique with the DAISY II system, considering incubation times of 0, 3, 6, 12, 24, 48, and 72 hours. The results showed significant differences ($P < 0.05$) among treatments at all evaluated times. Corn silk (T4) exhibited the highest degradability, reaching 68.96% at 72 hours, followed by T1 (49.00%), T2 (42.82%), and T3 (27.78%), indicating greater availability of fermentable substrates and higher ruminal microbial activity. In contrast, no significant differences ($P > 0.05$) were observed in the evaluated kinetic parameters, including the soluble fraction, potentially degradable fraction, degradation rate, and effective degradability, suggesting a similar fermentative behavior among the residues. In conclusion, there is variability in the degradability of these by-products, with corn silk standing out as an alternative with high nutritional potential.

Keywords: Digestibility, ruminal microbiota, by-products, feeding.

1. Introducción

La producción animal basada en rumiantes depende fundamentalmente de la capacidad fermentativa del rumen para transformar biomasa fibrosa no aprovechable por monogástricos en nutrientes disponibles, como ácidos grasos volátiles y proteína microbiana, esenciales para el crecimiento y la producción (Van Soest, 1994). Este proceso metabólico permite a los rumiantes aprovechar subproductos agrícolas que, de otro modo, serían desperdiciados, constituyendo una estrategia clave para diversificar las fuentes de alimentación y mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos (Salami et al., 2019). Entre los residuos agroindustriales más abundantes se encuentran aquellos derivados del cultivo de maíz (*Zea mays L.*), incluyendo cáscara, pelusa, tusa y panca, los cuales representan una fracción considerable de la materia seca poscosecha y, con frecuencia, se encuentran subutilizados (Liang et al., 2022).

La valorización de estos residuos como fuente alternativa de alimento para rumiantes presenta múltiples ventajas (Núñez-Torres & Rodríguez-Barros, 2019). Su inclusión en dietas permite reducir la dependencia de forrajes convencionales, disminuir costos de alimentación, contribuir a la economía circular y disminuir el impacto ambiental asociado al manejo inadecuado de la biomasa, como la quema o el abandono de restos agrícolas (Troncozo-Correa et al., 2026). Sin embargo, el aprovechamiento eficiente de estos subproductos depende de una caracterización precisa de su

degradabilidad ruminal y de la cinética de fermentación, dado que la digestibilidad y la disponibilidad de nutrientes están directamente influenciadas por la composición química y estructural de cada fracción vegetal (Van Soest, 1994).

Investigaciones recientes han evidenciado que La fermentación ruminal in vitro constituye una herramienta estandarizada que permite evaluar de manera controlada la degradación de la materia seca, la producción de gases y los perfiles de ácidos grasos volátiles (VFA), así como la actividad de la microbiota ruminal frente a distintos sustratos (Dhakal et al., 2023). Esta metodología facilita la comparación entre subproductos agrícolas, ofreciendo información cuantitativa sobre su potencial nutritivo antes de su inclusión en dietas comerciales, lo que disminuye riesgos productivos y optimiza la eficiencia fermentativa (García-Rodríguez et al., 2019)

Las técnicas in vitro, como el sistema DAISY II, han sido ampliamente utilizadas para simular las condiciones ruminales, permitiendo evaluar múltiples muestras con alta precisión y reproducibilidad, este método reduce la variabilidad experimental y optimiza el uso de líquido ruminal, facilitando la incubación simultánea de diversos sustratos bajo condiciones controladas de temperatura y ambiente anaeróbico (Tassone et al., 2020). Además, permite estimar la degradabilidad de la materia seca y la dinámica fermentativa, siendo una herramienta eficiente para evaluar el potencial nutritivo de residuos agroindustriales destinados a la alimentación de rumiantes (Ørskov, 2000).

A pesar del potencial demostrado, la información específica sobre la degradabilidad ruminal in vitro y la cinética de fermentación de fracciones individuales de residuos de maíz —como cáscara, pelusa, tusa y panca— sigue siendo limitada. La mayoría de los estudios disponibles se centran en el corn stover de manera general, sin diferenciar entre fracciones vegetales ni evaluar comparativamente su comportamiento fermentativo (Liang et al., 2022). Esta limitación restringe la formulación de dietas basadas en evidencia y dificulta la transferencia de conocimiento hacia estrategias alimentarias más eficientes, particularmente en regiones tropicales donde la disponibilidad de residuos de maíz es elevada y su aprovechamiento resulta clave para mejorar la productividad de los sistemas ganaderos (García-Rodríguez et al., 2019).

Por tanto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la degradabilidad ruminal in vitro y la cinética de fermentación de residuos agroindustriales de maíz (*Zea mays L.*), con el fin de determinar su potencial como alternativa alimentaria para rumiantes, generando evidencia científica cuantitativa y actualizada que contribuya a la optimización del uso de subproductos agrícolas en sistemas de producción animal sostenibles.

2. Materiales y métodos

Localización del sitio experimental

El estudio se desarrolló en el Laboratorio de Rumiología y Metabolismo Nutricional (RUMEN) de la finca La María, perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ubicada en Mocache, cantón Los Ríos, Ecuador. Sus coordenadas son 01°06'S y 79°29'W, a una altitud de 73 metros sobre el nivel del mar. El entorno se caracteriza por una topografía ligeramente ondulada y condiciones climáticas propias de zona tropical, con temperatura promedio alrededor de 25,5 °C y humedad relativa alta.

Recolección del subproducto

Los subproductos de maíz (cáscara, pelusa, tusa y panca) fueron recolectados del Campus La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, una vez finalizada de cosecha de maíz. Durante el muestreo, se seleccionaron materiales libres de contaminantes visibles, tales como suelo, piedras o residuos en descomposición, asegurando la calidad del material experimental. Cada tipo de residuo fue recolectado y almacenado por separado para evitar contaminación cruzada. Posteriormente, las muestras fueron transportadas al laboratorio en condiciones controladas, minimizando la exposición a humedad. Una vez en el laboratorio, los residuos fueron secados al aire y molidos hasta obtener un tamaño de partícula homogéneo, adecuado para su evaluación in vitro.

Diseño experimental

El experimento se llevó a cabo bajo un diseño completamente al azar, T1 (hojas de la mazorca de maíz), T2 (panca de maíz), T3 (tusa de maíz sin grano) y T4 (pelusa de maíz) correspondientes a residuos agroindustriales de maíz y (5) repeticiones por tratamientos. Cada unidad experimental consistió en una muestra incubada en el sistema DAISY II para la determinación de la degradabilidad de la materia seca a diferentes tiempos de incubación (0, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 h). Los tratamientos fueron evaluados bajo condiciones homogéneas de incubación, permitiendo comparar directamente el efecto del tipo de residuo sobre la degradabilidad y los parámetros cinéticos estimados.

Procedimiento degradabilidad in vitro

La degradabilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) se evaluó en cuatro subproductos agroindustriales de maíz (*Zea mays* L.): T1 (hojas de la mazorca de maíz), T2 (panca de maíz), T3 (tusa de maíz sin grano) y T4 (pelusa de maíz). Se utilizaron tres bovinos Brahman (500 ± 25 kg de peso vivo), fistulados y clínicamente sanos, como donantes de líquido ruminal, el cual fue recolectado mediante succión al vacío y transportado en termos previamente aclimatados a 40 °C para preservar la actividad microbiana (Tassone et al., 2020). La solución buffer (saliva artificial) fue preparada con fosfato de sodio dibásico anhidro (3.6 g/L), bicarbonato de sodio (9.8

g/L), cloruro de sodio (47 g/L), cloruro de calcio (4 g/L), cloruro de potasio (57 g/L) y cloruro de magnesio (6 g/L), y posteriormente fue incubado en baño María a 40 °C. El pH de la solución fue determinado, considerándose óptimo un valor de 7 ± 0.5 , de no cumplir con ese requerimiento se nivelará adicionando hidróxido de sodio ($\text{pH} < 6.5$) y/o ácido sulfúrico ($\text{pH} > 7.5$). El líquido ruminal se mezcló con la solución buffer en una proporción 3:2, manteniendo flujo continuo de CO_2 para garantizar condiciones anaeróbicas (Menke & Steingass, 1988). Previo al proceso de incubación, se activó el sistema ANKOM Daisy II®, el cual se mantuvo a una temperatura constante de $40 \pm 0,5$ °C. Durante la preparación de la mezcla de líquido ruminal (9,6 L) y solución buffer (14,4 L), se mantuvo una atmósfera de CO_2 con el fin de preservar las condiciones anaeróbicas y garantizar la viabilidad de los microorganismos ruminales.

Las muestras secas y molidas fueron depositadas en bolsas filtro ANKOM® F57 de tamaño de poro de 25 μm y dimensiones de 5 x 4 cm fabricadas de poliéster/polietileno, en las cuales se pesaron 0,3 g por unidad experimental de acuerdo con la metodología planteada por ANKOM Technology. Posteriormente, las bolsas fueron incubadas en el sistema DAISY II bajo condiciones anaeróbicas a 39,5 °C, durante los tiempos establecidos (0, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 h), permitiendo la acción progresiva del microbiota ruminal sobre el sustrato. Finalizada la incubación, las bolsas fueron retiradas, lavadas para eliminar residuos adheridos y secadas en estufa de aire forzado (Memmert) a 65 °C durante 48 h. Finalmente, la degradabilidad de la materia seca (DIVMS) y los parámetros cinéticos se determinaron mediante modelos no lineales de acuerdo con (Ørskov & McDonald 1979; Van Soest, 1994).

Procedimiento de la cinética de fermentación in vitro

La cinética de fermentación de la materia seca se estimó a partir de los datos de degradabilidad obtenidos en los diferentes tiempos de incubación (0, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 h), siguiendo modelos matemáticos ampliamente utilizados en nutrición de rumiantes.

Los datos experimentales fueron ajustados al modelo exponencial propuesto por (Ørskov & McDonald, 1979), el cual describe la dinámica de degradación ruminal en función del tiempo:

$$Y = a + b(1 - e^{-ct})$$

donde:

Y = degradabilidad acumulada (%) al tiempo ttt

a = fracción soluble (%)

b = fracción potencialmente degradable (%)

c = tasa de degradación (h^{-1})

t = tiempo de incubación (h)

Este modelo permite estimar parámetros clave del proceso fermentativo, incluyendo la fracción rápidamente disponible, la fracción degradable y la velocidad de degradación del sustrato, los cuales están directamente relacionados con la eficiencia de utilización del alimento por los microorganismos ruminales (France et al., 2000).

La modelación de la cinética de fermentación constituye una herramienta fundamental para evaluar el valor nutritivo de subproductos agroindustriales, ya que permite predecir su comportamiento en el rumen y su contribución potencial a la producción de ácidos grasos volátiles y energía metabolizable (Van Soest, 1994).

Análisis estadísticos

Los datos de degradabilidad de la materia seca y de los parámetros cinéticos (A, B y c) fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA), considerando el efecto del tipo de residuo agroindustrial de maíz. Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey para identificar diferencias específicas. El nivel de significancia se estableció en $p < 0,05$. Los resultados se expresaron como media \pm error estándar, lo que permitió una adecuada interpretación de la variabilidad de los datos y la comparación entre tratamientos.

3. Resultados

3.1. Degradabilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS)

La degradabilidad ruminal *in vitro* de la materia seca presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los residuos agroindustriales de maíz en todos los tiempos de incubación. La pelusa de maíz mostró consistentemente los mayores valores de degradabilidad, seguida de la panca y la cáscara, mientras que la tusa presentó los valores más bajos durante todo el periodo evaluado. En la fase inicial de incubación (0 h), T2 alcanzó 29,85%, siendo superior a T1 (3,69%) y T3 (3,79%), y estadísticamente similar a T4 (24,33%). A las 3 h, la misma tendencia se mantuvo, con T2 registrando 35,79%, seguido de T4 (26,09%), mientras que T1 (5,31%) y T3 (5,77%) permanecieron en niveles bajos. A las 6 h, T2 conservó la mayor degradabilidad (33,75%), superando a T4 (25,71%), T1 (6,56%) y T3 (6,79%). Posteriormente, a las 12 h, T2 incrementó su degradabilidad hasta 46,62%, en contraste con T4 (26,81%), T1 (14,03%) y T3 (7,95%). T1 (hojas de la mazorca de maíz), T2 (panca de maíz), T3 (tusa de maíz sin grano) y T4 (pelusa de maíz)

A las 24 h, T2 alcanzó 58,95%, manteniendo diferencias significativas con el resto de tratamientos. En este punto, T1 y T4 presentaron valores intermedios (28,90% y 31,79%, respectivamente), mientras que T3 continuó mostrando la menor degradación (14,12%). En los tiempos finales, T2 mantuvo el mayor potencial de aprovechamiento ruminal, con 65,70% a las 48 h y 68,96% a las 72 h. En comparación, T1 y T4 mostraron degradabilidades finales intermedias

(49,00% y 42,82%), mientras que T3 registró el menor valor al final de la incubación (27,78%). Estos resultados indican que la pelusa de maíz posee una fracción de MS más susceptible a la fermentación ruminal, sugiriendo un mayor potencial nutritivo para su inclusión en dietas de rumiantes.

Tabla 1

Degradabilidad ruminal *in vitro* de la materia seca de residuos agroindustriales de maíz (*Zea mays*), (cáscara, pelusa, tusa y panca)

Horas de incubación	T1		T2		T3		T4		EEM	CV.	Prob.
	Cáscara de maíz		Pelusa de maíz		Tusa de maíz		Panca de maíz				
0	3,69	b	29,85	a	3,79	B	24,33	a	2,64	29,62	0,0002
3	5,31	b	35,79	a	5,77	B	26,09	a	2,49	23,62	<0,0001
6	6,56	c	33,75	a	6,79	C	25,71	b	0,97	9,24	<0,0001
12	14,03	c	46,62	a	7,95	C	26,81	b	2,15	15,58	<0,0001
24	28,90	b	58,95	a	14,12	C	31,79	b	1,58	8,19	<0,0001
48	42,58	b	65,70	a	23,25	C	46,77	b	3,90	15,16	0,0005
72	49,00	b	68,96	a	27,78	C	42,82	b	1,65	6,05	<0,0001

Nota: MZ: Maíz; EEM: Error Estándar de la Media; P<: Probabilidad; CV: Coeficiente de Variación; abc Promedios en cada fila con letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey $p > 0.05$) (Autores, 2026).

3.2. Cinética ruminal *in vitro* de la materia seca

La cinética ruminal *in vitro* de la materia seca de los residuos agroindustriales de maíz no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$) para ninguno de los parámetros estimados (Tabla 2). La fracción soluble (A) presentó valores entre 8,65 y 17,77%, correspondiendo el menor valor a la tusa de maíz (T3) y los mayores a la panca (T4; 17,77%) y pelusa de maíz (T2; 17,75%). No obstante, estas variaciones no fueron estadísticamente diferentes ($p = 0,5173$). De manera similar, la fracción insoluble pero potencialmente degradable (B) osciló entre 46,38 y 72,82%, con una tendencia numérica más alta en la tusa de maíz (T3), aunque sin diferencias entre tratamientos ($p = 0,4361$).

La tasa de degradación de la fracción B (c) se mantuvo en un rango estrecho, entre 0,02 y 0,03 h^{-1} , evidenciando un comportamiento cinético comparable entre los residuos evaluados ($p = 0,6542$). En consecuencia, el potencial de degradación ruminal (A + B) tampoco difirió significativamente, con valores comprendidos entre 61,42 y 81,47%. Aunque la tusa de maíz registró el mayor valor numérico (81,47%), dicha respuesta no representó una ventaja estadística frente a los demás tratamientos.

La degradabilidad efectiva (DE) calculada para diferentes tasas de pasaje mostró la misma tendencia. A una tasa de pasaje de 0,02 h^{-1} , los valores fluctuaron entre 32,36 y 41,20%; a 0,05 h^{-1} , entre 22,00 y 31,88%; y a 0,08 h^{-1} , entre 18,06 y 27,97%, sin diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,7745$; 0,6608; 0,6059, respectivamente). En términos numéricos, la pelusa de maíz (T2) presentó los mayores valores de DE en las tres tasas de pasaje evaluadas

Tabla 2

Cinética ruminal in vitro de la materia seca de residuos agroindustriales de maíz (Zea mays), (cáscara, pelusa, tusa y panca).

	TRATAMIENTOS EVALUADOS								EEM	P
	T1 Cáscara de maíz	T2 Pelusa de maíz	T3 Tusa de maíz	T4 Panca de maíz						
A	11,79	a	17,75	a	8,65	a	17,77	a	5,13	0,5173
B	49,63	a	49,51	a	72,82	a	46,38	a	12,58	0,4361
c	0,02	a	0,03	a	0,02	a	0,03	a	12,03	0,6542
A+B	61,42	a	67,27	a	81,47	a	64,15	a	12,03	0,6542
DE										
k										
0.02	38,29	a	41,20	a	32,36	a	38,12	a	6,08	0,7745
k										
0.05	27,81	a	31,88	a	22,00	a	30,76	a	6,02	0,6608
k										
0.08	23,34	a	27,97	a	18,06	a	27,58	a	5,84	0,6059

Nota: Medias con letras diferentes entre filas difieren ($p < 0.05$). A: Degradación de la fracción soluble. B: Fracción insoluble pero potencialmente degradable. c: Tasa de degradación en % por hora. A+B: Potencial de degradación ruminal. DE: Degradación efectiva. k: tasa de pasaje al 0.02, 0.05 y 0.08% (Autores, 2026).

4. Discusión

La mayor degradabilidad registrada en la pelusa de maíz sugiere una menor proporción de componentes estructurales complejos, como celulosa cristalina y lignina, lo que facilita el acceso y la colonización por parte de los microorganismos ruminales. Se reportaron que esta característica explica los valores elevados desde las primeras horas de incubación, evidenciando una fracción soluble y rápidamente degradable. Por el contrario, los bajos valores observados en la tusa durante todo el periodo de incubación indican una mayor resistencia a la degradación microbiana, probablemente asociada a un mayor grado de lignificación y a una estructura más rígida de la pared celular.

El incremento progresivo de la degradabilidad observado en todos los residuos a lo largo del tiempo refleja la dinámica típica de la fermentación ruminal, en la que la fracción soluble es rápidamente utilizada, seguida de la degradación gradual de la fracción potencialmente degradable. (Troncozo-Correa et al., 2026), cuando estudiaron la Degradabilidad y cinética ruminal in situ de dietas con ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays*) y residuos de banano verde (*Musa paradisiaca*) para ovinos tropicales, señala que las diferencias más marcadas a partir de las 12 h sugieren que las limitaciones estructurales de cada residuo se vuelven más evidentes durante la fase de degradación lenta. En conjunto, estos resultados evidencian que la disponibilidad y accesibilidad del sustrato para la microbiota ruminal son factores determinantes de la degradabilidad, destacándose la pelusa como el residuo con mayor potencial de aprovechamiento, mientras que la tusa presenta limitaciones asociadas a su composición y estructura celular (Chaucheyras-Durand et al., 2012).

Cinética ruminal *in vitro* de la materia seca

La ausencia de diferencias significativas ($p > 0,05$) en los parámetros de la cinética ruminal *in vitro* de la materia seca entre los residuos agroindustriales de maíz sugiere que, pese a la variabilidad en las fracciones estructurales de los tratamientos, la degradación estuvo principalmente determinada por características fisicoquímicas comunes de la pared celular vegetal (Bizzuti et al., 2023). La fracción soluble (A), aunque presentó variación (8,65–17,77%), representa una proporción reducida del sustrato total y está compuesta principalmente por compuestos rápidamente fermentables (Tang et al., 2008). Según (Sánchez et al., 2020), menciona que la diferencias pueden atribuirse a la distribución heterogénea de azúcares solubles y compuestos citoplasmáticos entre fracciones del residuo; sin embargo, su contribución a la degradabilidad global es limitada, lo que explica la ausencia de efectos estadísticos sobre los parámetros cinéticos. En contraste, fracción insoluble potencialmente degradable (B) constituyó la mayor proporción del sustrato (46,38–72,82%), indicando que la dinámica fermentativa estuvo dominada por la degradación de la pared celular, un proceso más dependiente del grado de lignificación que de variaciones menores en composición (Andrade et al., 2024). Lo reportado por (Troncozo-Correa et al., 2026) indica que la similitud en la tasa de degradación (c) ($0,02$ – $0,03 \text{ h}^{-1}$) evidencia que la actividad microbiana ruminal estuvo limitada por factores comunes, principalmente la baja accesibilidad del sustrato fibroso y la lignina como barrera estructural. En consecuencia, con (Hatfield, 1989), la hidrólisis de los polisacáridos estructurales ocurrió a velocidades similares entre tratamientos, lo que es consistente con materiales que presentan composiciones semejantes de fibra detergente neutra. Por ello, las diferencias numéricas en A+B no se tradujeron en cambios en la degradabilidad efectiva (DE), la cual depende del balance entre A, B, c y la tasa de pasaje k, siendo los tratamientos químicos o enzimáticos los que podrían generar variaciones significativas al modificar la matriz fibrosa (Ørskov & McDonald, 1979).

5. Conclusiones

Este estudio muestra que la degradabilidad ruminal *in vitro* de la materia seca de residuos agroindustriales de maíz varía según el residuo, destacando la pelusa como la de mayor aporte degradable, seguida de la cáscara, la panca y la tusa. Esta jerarquía se mantiene para la degradabilidad de la materia orgánica y para la cinética de degradación, con diferencias entre tratamientos a lo largo de los tiempos de incubación. La digestibilidad *in vitro* de MS presentó la misma tendencia, respaldando el uso de pelusa y cáscara en dietas ruminales y necesidad de procesamiento para optimizar valor nutritivo y eficiencia alimentaria.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

Referencias Bibliográficas

- Andrade, M. A. T., Braga, B. C., Villela, S. D. J., Gomes, R. dos S., Resende, M. E. L., Leitão, G. C., & Leonel, F. de P. (2024). Passage and degradation kinetics of solid particles from agricultural residues. *Semina: Ciências Agrárias*, 45(4), 1227–1240. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2024v45n4p1227>
- Bizzuti, B. E., Pérez-Márquez, S., van Cleef, F. de O. S., Ovani, V. S., Costa, W. S., Lima, P. M. T., Louvandini, H., & Abdalla, A. L. (2023). In vitro degradability and methane production from by-products fed to ruminants. *Agronomy*, 13(4), Artículo 1043. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041043>
- Chaucheyras-Durand, F., Chevaux, E., Martin, C., & Forano, E. (2012). Use of yeast probiotics in ruminants: Effects and mechanisms of action on rumen pH, fibre degradation, and microbiota according to the diet. En E. C. Rigobelo (Ed.), *Probiotic in animals* (pp. 119–152). InTech. <https://doi.org/10.5772/50192>
- Dhakal, R., Copani, G., Cappellozza, B. I., Milora, N., & Hansen, H. H. (2023). The effect of direct-fed microbials on in-vitro rumen fermentation of grass or maize silage. *Fermentation*, 9(4), Artículo 347. <https://doi.org/10.3390/fermentation9040347>
- France, J., Dijkstra, J., Dhanoa, M. S., Lopez, S., & Bannink, A. (2000). Estimating the extent of degradation of ruminant feeds from a description of their gas production profiles observed in vitro: Derivation of models and other mathematical considerations. *British Journal of Nutrition*, 83(2), 143–150. <https://doi.org/10.1017/S0007114500000180>
- García-Rodríguez, J., Ranilla, M. J., France, J., Alaiz-Moretón, H., Carro, M. D., & López, S. (2019). Chemical composition, in vitro digestibility and rumen fermentation kinetics of agro-industrial by-products. *Animals*, 9(11), Artículo 861. <https://doi.org/10.3390/ani9110861>
- Hatfield, R. D. (1989). Structural polysaccharides in forages and their degradability. *Agronomy Journal*, 81(1), 39–46. <https://doi.org/10.2134/agronj1989.00021962008100010007x>
- Liang, J., Fang, W., Chang, J., Zhang, G., Ma, W., Nabi, M., Zubair, M., Zhang, R., Chen, L., Huang, J., & Zhang, P. (2022). Long-term rumen microorganism fermentation of corn stover in vitro for volatile fatty acid production. *Bioresource Technology*, 358, Artículo 127447. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127447>
- Menke, K. H., & Steingass, 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, 7–55.
- Núñez-Torres, O. P., & Rodríguez-Barros, M. A. (2019). Subproductos agrícolas, una alternativa en la alimentación de rumiantes ante el cambio climático. *Journal of*

- the Selva Andina Animal Science*, 6(1), 24–37. <https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2019.060100024>
- Ørskov, E. R. (2000). The in situ technique for the estimation of forage degradability in ruminants. En D. I. Givens, E. Owen, R. F. E. Axford, & H. M. Omed (Eds.), *Forage evaluation in ruminant nutrition* (pp. 175–188). CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851993447.0175>
- Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 499–503. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
- Salami, S. A., Luciano, G., O’Grady, M. N., Biondi, L., Newbold, C. J., Kerry, J. P., & Priolo, A. (2019). Sustainability of feeding plant by-products: A review of the implications for ruminant meat production. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 37–55. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.02.006>
- Sánchez, A., Perea, J., Montenegro, L., Espinoza, I., Avellaneda, J., & Barba, C. (2020). Cinética de degradación ruminal in situ de ensilado de rastrojo de maíz (*Zea mays*) con niveles crecientes de urea. *Archivos de Zootecnia*, 69(267), 320–326. <https://doi.org/10.21071/az.v69i267.5351>
- Tang, S. X., Gan, J., Sheng, L. X., Tan, Z. L., Tayo, G. O., Sun, Z. H., Wang, M., & Ren, G. P. (2008). Morphological fractions, chemical composition and in vitro fermentation characteristics of maize stover of five genotypes. *Animal*, 2(12), 1772–1779. <https://doi.org/10.1017/S1751731108003121>
- Tassone, S., Fortina, R., & Peiretti, P. G. (2020). In vitro techniques using the DaisyII incubator for the assessment of digestibility: A review. *Animals*, 10(5), Artículo 775. <https://doi.org/10.3390/ani10050775>
- Troncozo-Correa, J. B., Rodríguez-Intriago, C. K., Arteaga-Terán, A. G., Pillasagua-León, I. R., & Arechua-Pino, K. F. (2026). Potencial antifúngico de extractos vegetales contra *Puccinia sorghi* en el cultivo de *Zea mays*. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(2), 17-31. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n2/177>
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd ed.). Cornell University Press.