

Composición química, degradabilidad y cinética ruminal in vitro en ensilaje de maíz forrajero con inclusión de mucílago de cacao

Chemical composition, degradability, and in vitro ruminal kinetics of forage corn silage supplemented with cocoa mucilage

Composição química, degradabilidade e cinética ruminal in vitro em silagem de milho forrageiro com adição de mucilagem de cacau

Espinoza-Guerra, Italo Fernando
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
iespinoza@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2975-3087>



Cedeño-Moreira, Ángel Virgilio
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
acedenom@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6564-5569>



Muñoz-Rodríguez, Jorge Geovanny
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
jmunoz@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-6134-5376>



Conrado-Palma, Diego Javier
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
dconradop@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1917-0814>



Espinoza-Medina, Camila Fernanda
Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
camila.espinoza01@cu.ucsg.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-0736-188X>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v7/n1/1478>

Como citar:

Espinoza-Guerra, I. F., Cedeño-Moreira, Ángel V., Muñoz-Rodríguez, J. G., Conrado-Palma, D. J., & Espinoza-Medina, C. F. (2026). Composición química, degradabilidad y cinética ruminal in vitro en ensilaje de maíz forrajero con inclusión de mucílago de cacao. *Código Científico Revista De Investigación*, 7(1), 528–548.

Recibido: 09/05/2026

Aceptado: 04/06/2026

Publicado: 30/06/2026

Resumen

El estudio tuvo como objetivo evaluar la composición química, la degradabilidad y la cinética ruminal in vitro de ensilajes de maíz forrajero con inclusión creciente de mucílago de cacao. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cinco tratamientos: T1 (100% maíz), T2 (90% maíz + 10% mucílago), T3 (80% + 20%), T4 (70% + 30%) y T5 (60% + 40%), con cinco repeticiones y tiempos de incubación de 0 a 72 horas. Se analizaron variables bromatológicas como materia seca, materia orgánica, materia inorgánica, fibra bruta, proteína bruta, fibra detergente ácida, extracto etéreo y energía, además de parámetros de degradabilidad y cinética. Los resultados mostraron que la materia seca, materia orgánica, fibra bruta, fibra detergente ácida y energía no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), evidenciando estabilidad estructural del ensilaje. Sin embargo, la proteína bruta y el extracto etéreo mostraron diferencias significativas, con valores máximos en T2 (10,87%) y T5 (3,43%), respectivamente. La digestibilidad in vitro de la materia seca fue mayor en T5 (75,42%), seguida de T3 y T4, superando al control. La fracción soluble y la tasa de degradación aumentaron con la inclusión de mucílago. En conclusión, el mucílago de cacao mejora la degradabilidad ruminal y el valor nutricional del ensilaje, constituyéndose en una alternativa viable y sostenible.

Palabras clave: fermentación, residuos agrícolas, carbohidratos solubles.

Abstract

The study aimed to evaluate the chemical composition, in vitro ruminal degradability, and degradation kinetics of forage maize silages with increasing inclusion levels of cocoa mucilage. A completely randomized design was used with five treatments: T1 (100% maize), T2 (90% maize + 10% mucilage), T3 (80% + 20%), T4 (70% + 30%), and T5 (60% + 40%), with five replicates and incubation times from 0 to 72 hours. Bromatological variables analyzed included dry matter, organic matter, inorganic matter, crude fiber, crude protein, acid detergent fiber, ether extract, and energy, as well as degradability and kinetic parameters. The results showed that dry matter, organic matter, crude fiber, acid detergent fiber, and energy did not present significant differences ($p > 0.05$), indicating structural stability of the silage. However, crude protein and ether extract showed significant differences, with maximum values in T2 (10.87%) and T5 (3.43%), respectively. In vitro dry matter digestibility was highest in T5 (75.42%), followed by T3 and T4, exceeding the control. The soluble fraction and degradation rate increased with mucilage inclusion. In conclusion, cocoa mucilage improves ruminal degradability and the nutritional value of silage, representing a viable and sustainable alternative.

Keywords: fermentation, agricultural residues, soluble carbohydrates.

Resumo

O estudo teve como objetivo avaliar a composição química, a degradabilidade ruminal in vitro e a cinética de degradação de silagens de milho forrageiro com níveis crescentes de inclusão de mucilagem de cacau. Foi utilizado um delineamento completamente aleatório com cinco tratamentos: T1 (100% milho), T2 (90% milho + 10% mucilagem), T3 (80% + 20%), T4 (70% + 30%) e T5 (60% + 40%), com cinco repetições e tempos de incubação de 0 a 72 horas. As variáveis bromatológicas analisadas incluíram matéria seca, matéria orgânica, matéria inorgânica, fibra bruta, proteína bruta, fibra detergente ácida, extrato etéreo e energia, bem como parâmetros de degradabilidade e cinéticos. Os resultados mostraram que a matéria seca, a matéria orgânica, a fibra bruta, a fibra detergente ácida e a energia não apresentaram

diferenças significativas ($p > 0,05$), indicando estabilidade estrutural da silagem. No entanto, a proteína bruta e o extrato etéreo apresentaram diferenças significativas, com valores máximos em T2 (10,87%) e T5 (3,43%), respectivamente. A digestibilidade *in vitro* da matéria seca foi mais elevada em T5 (75,42%), seguida de T3 e T4, excedendo o controle. A fração solúvel e a taxa de degradação aumentaram com a inclusão de mucilagem. Em conclusão, a mucilagem de cacau melhora a degradabilidade ruminal e o valor nutricional da silagem, representando uma alternativa viável e sustentável.

Palavras-chave: fermentação, resíduos agrícolas, hidratos de carbono solúveis.

Introducción

En los sistemas de producción de rumiantes en regiones tropicales y subtropicales, la disponibilidad y calidad del forraje condicionan de manera determinante la ingestión de materia seca (MS), la fermentación ruminal y, en consecuencia, el desempeño productivo (Lozano et al., 2021; Martínez-Loperena et al., 2011). La marcada estacionalidad climática, junto con la creciente competencia por recursos entre la alimentación humana y animal, intensifica estas limitaciones, promoviendo la búsqueda de estrategias que fortalezcan la seguridad alimentaria, reduzcan costos y mejoren la eficiencia de los sistemas productivos sin comprometer la salud animal ni la calidad de los productos (Ortiz et al., 2024; Vera et al., 2021).

En este contexto, el ensilaje de maíz (*Zea mays*) constituye una de las principales alternativas para la conservación de forrajes, debido a su alto contenido de materia seca y carbohidratos fermentables, especialmente almidón, que favorecen la producción de ácidos grasos volátiles en el rumen (Galina et al., 2009;). Su uso generalizado como base alimenticia responde a su capacidad para aportar energía de forma constante y sostener la productividad bajo diversas condiciones de manejo (Grant y Ferraretto, 2018). Sin embargo, su valor nutritivo puede verse limitado por factores como el estado de madurez al momento de la cosecha, la eficiencia del proceso de fermentación y la composición estructural de la fibra, particularmente por elevados contenidos de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA), que reducen la digestibilidad debido a procesos de lignificación (Charmley, 2001; Vera et al., 2021; Martínez et al., 2011).

Desde el punto de vista nutricional, la evaluación de la degradabilidad ruminal y de los parámetros cinéticos asociados constituye una herramienta clave para comprender la dinámica de utilización de los nutrientes. La técnica *in vitro* ha sido ampliamente empleada para estimar la degradación de la MS y caracterizar fracciones como la soluble (A), la potencialmente degradable (B) y la tasa de degradación (c), permitiendo describir la velocidad y extensión del proceso fermentativo (Goering y Van Soest, 1970; Ørskov y McDonald, 1979; Barrera et al., 2022). Estos parámetros reflejan tanto la calidad del sustrato como su interacción con la microbiota ruminal, responsable de la transformación de los nutrientes en productos finales como los ácidos grasos volátiles, fundamentales para el metabolismo energético del hospedador (Van Soest, 1994; Vera et al., 2021).

En los últimos años, ha cobrado relevancia el uso de subproductos agroindustriales como aditivos en la elaboración de ensilajes, con el propósito de mejorar su valor nutricional y promover sistemas más sostenibles. En este sentido, los residuos derivados del cacao (*Theobroma cacao L.*), particularmente el mucílago o maguey, representan una alternativa promisoriosa debido a su disponibilidad en zonas productoras y a su contenido de azúcares solubles, compuestos bioactivos, proteína y minerales (Figuerola et al., 2020; Espinoza et al., 2023; Campione et al., 2021). Estas características favorecen la fermentación láctica, contribuyen a la rápida disponibilidad de energía en el rumen y pueden mejorar la estabilidad del ensilaje mediante la reducción del pH (García et al., 2022; Renna, 2022). Asimismo, su inclusión podría incrementar la fracción soluble y la tasa de degradación de la materia seca, optimizando la eficiencia fermentativa (Vera-Rodríguez et al., 2021;).

No obstante, la incorporación de fuentes ricas en carbohidratos solubles también puede generar efectos contrapuestos sobre la cinética ruminal. Altos niveles de inclusión podrían inducir fermentaciones rápidas que alteren la sincronía entre energía y nitrógeno, limitando la síntesis microbiana (Nocek & Russell, 1988; Russell & Rychlik, 2001). Además, incrementos

en la tasa de degradación pueden acelerar el pasaje ruminal, reduciendo el tiempo de acción microbiana sobre las fracciones fibrosas (Allen, 2000). A pesar de estos avances, persiste un vacío de conocimiento respecto al efecto específico del mucílago de cacao sobre los parámetros cinéticos de degradación ruminal en ensilajes de maíz forrajero. La mayoría de investigaciones se han centrado en su composición química o en su uso como subproducto alimenticio, sin profundizar en su impacto sobre la dinámica de degradación (fracciones A, B y tasa c) y su relación con la eficiencia fermentativa.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar de manera integral la composición química, la degradabilidad y la cinética ruminal *in vitro* de ensilajes de maíz forrajero con diferentes niveles de inclusión de mucílago de cacao, con énfasis en la caracterización de los parámetros cinéticos de degradación de la materia seca. Se busca así determinar su efecto sobre la dinámica fermentativa y aportar información relevante para el diseño de estrategias nutricionales más eficientes y sostenibles en la alimentación de rumiantes.

Metodología

Sitio experimental

La presente investigación se desarrolló en el Laboratorio de Bromatología y en el Laboratorio de Rumiología y Metabolismo Nutricional (RUMEN) del Campus Experimental “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ubicado en el km 7 ½ de la vía Quevedo–El Empalme, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador (01°06' S; 79°29' O; 73 msnm). La zona presenta condiciones agroecológicas de bosque húmedo tropical, con temperatura media de 25–26 °C, alta humedad relativa y régimen de luz natural de aproximadamente 12 h luz/oscuridad, condiciones favorables para la producción y conservación de forrajes.

Recolección del material vegetal

Se recolectaron dos materiales principales provenientes de parcelas divididas establecidas en el Campus Experimental “La María”: maíz forrajero (*Zea mays* L.), variedad INIAP 551, y subproductos del cacao (*Theobroma cacao* L.), incluyendo tanto el mucílago líquido obtenido durante el despulpado de las mazorcas como el material fibroso residual (maguey de cacao). El maíz fue cosechado en su estado fenológico óptimo para ensilaje, asegurando una adecuada relación entre materia seca y carbohidratos solubles. Los subproductos de cacao se caracterizaron por su aporte de compuestos fermentables (mucílago) y fracción estructural fibrosa (maguey), contribuyendo potencialmente a la dinámica fermentativa del ensilaje.

Proceso de ensilaje

El ensilaje se realizó a escala de laboratorio en microsilos de PVC de 4 pulgadas (30 cm de longitud × 10 cm de diámetro), con capacidad aproximada de 3 kg. El maíz fue picado en partículas de 0,5–1,0 cm mediante una picadora (SC Cevacos Trapp ES 400) y posteriormente mezclado homogéneamente con los subproductos de cacao según los niveles de inclusión establecidos. La mezcla fue pesada, compactada manualmente y sellada herméticamente mediante tapones de PVC con válvula tipo Bunsen, tornillos y cinta de embalaje, siguiendo el modelo de (Pereira et al. 2005) y las modificaciones para recolección de efluentes propuestas por (Dormond et al. 2011 y Espinoza et al. 2023) garantizando condiciones anaeróbicas óptimas.

Los microsilos fueron almacenados durante 35 días a temperatura ambiente, bajo iluminación natural (12 h luz/oscuridad) y sin exposición directa a radiación solar. Finalizado el período de fermentación, los silos fueron abiertos y se tomaron muestras representativas para análisis bromatológico, degradabilidad *in vitro* y cinética ruminal.

Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con cinco tratamientos: T1 (100% maíz), T2 (90% maíz + 10% subproducto de cacao), T3 (80% + 20%), T4 (70% + 30%) y T5 (60% + 40%), con cinco repeticiones por tratamiento. Cada unidad experimental correspondió a una muestra incubada en el sistema ANKOM Daisy II®.

Análisis de composición química

Las muestras fueron sometidas a análisis bromatológicos siguiendo metodologías de AOAC. La materia seca (MS) se determinó mediante secado en estufa a 65 °C (pre-secado) y 105 °C (secado final). La proteína bruta (PB) se analizó mediante el método Kjeldahl, utilizando digestión ácida, destilación y titulación, multiplicando el nitrógeno total por 6,25. El extracto etéreo (EE) se determinó por extracción con éter de petróleo, mientras que las cenizas se obtuvieron por incineración a 600 °C.

La fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) se determinaron mediante el sistema ANKOM, conforme al método de Van Soest et al., permitiendo cuantificar las fracciones estructurales de la pared celular.

Degradabilidad ruminal in vitro

La degradabilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) se evaluó mediante el sistema ANKOM Daisy II®, siguiendo el protocolo de ANKOM Technology. Se incubaron muestras (0,3 g) en bolsas filtro F57 (25 µm) a 39,5–40 °C en medio buffer con líquido ruminal bovino. El líquido ruminal fue obtenido de bovinos Brahman fistulados (500 ± 25 kg), filtrado y mantenido a 40 °C, siguiendo la metodología clásica de Tilley y Terry. La solución buffer fue preparada con sales minerales y ajustada a pH 7,0 ± 0,5. Se utilizó una relación buffer:líquido ruminal de 3:2, manteniendo atmósfera de CO₂ para preservar condiciones anaeróbicas, conforme a (Barrera et al.2017). Las incubaciones se realizaron a)tiempos de 0, 3, 6, 12, 24,

48 y 72 h. Posteriormente, las bolsas fueron lavadas, secadas (65 °C por 48 h) y pesadas para determinar el residuo no degradado.

La DIVMS se calculó como:

$$\text{DIVMS (\%)} = [(M_{\text{pre}} - M_{\text{post}}) / M_{\text{pre}}] \times 100$$

Cinética de degradación

Los parámetros cinéticos A (fracción soluble), B (fracción potencialmente degradable) y c (tasa de degradación) se estimaron mediante el modelo no lineal de Ørskov y McDonald. Se utilizó Solver de Excel para ajustar los datos y estimar la degradabilidad potencial (A + B).

Análisis estadístico

Los datos de composición química y degradabilidad fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA). Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) para comparación de medias. El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

donde T_i representa el efecto del tratamiento y E_{ij} el error experimental. El análisis se realizó con el software InfoStat.

Este enfoque permitió evaluar de manera integral el efecto de los niveles de inclusión de subproductos de cacao sobre la composición química, la degradabilidad in vitro y la cinética ruminal del ensilaje de maíz, garantizando rigor experimental y validez estadística.

Resultados

Composición química del ensilaje maíz ensilaje de maíz forrajero con inclusión de mucílago de cacao

La caracterización química de ensilajes de *Zea mays* con niveles crecientes de maguey de *Theobroma cacao* presentes en el Cuadro 1 mostró un comportamiento mayoritariamente estable entre tratamientos. En general, la mayoría de las variables no presentó diferencias

significativas ($p > 0,05$); sin embargo, se observaron diferencias estadísticas en la proteína bruta y el extracto etéreo.

El contenido de materia seca (MS) presentó valores elevados en todos los tratamientos, con un rango de 85,96 a 93,33%, sin diferencias significativas entre medias ($p > 0,05$). La variación observada entre tratamientos fue reducida y no evidenció una tendencia consistente asociada al incremento del mucílago de cacao. Este comportamiento indica que la inclusión progresiva del aditivo no alteró de manera detectable la concentración de MS del ensilaje. De forma similar, la materia orgánica (MO) se mantuvo en un intervalo estrecho de 89,76 a 92,03%, sin efecto estadístico de los tratamientos ($p > 0,05$). La estabilidad de esta variable sugiere que la fracción orgánica del material ensilado se conservó homogénea independientemente del nivel de inclusión evaluado.

En concordancia con el comportamiento de la MO, la materia inorgánica (MI) no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). Su variación fue inversa a la observada para MO, manteniéndose dentro de un margen reducido y sin una respuesta lineal o cuadrática evidente frente al aumento del mucílago. En conjunto, los resultados de MO y MI indican que la composición mineral relativa del ensilaje permaneció estable a lo largo de los tratamientos, sin evidencias de alteración atribuible a la incorporación del subproducto.

La proteína bruta (PB) fue la variable con respuesta más evidente al efecto de los tratamientos. Los valores oscilaron entre 9,45 y 10,87%, registrándose diferencias significativas entre medias ($p = 0,0094$). La separación por letras en la comparación múltiple confirmó la existencia de al menos dos grupos estadísticamente distintos, lo que indica que la inclusión de mucílago de cacao modificó el contenido proteico del ensilaje. Aunque la amplitud del rango fue relativamente moderada, la significancia estadística sugiere una respuesta consistente de esta variable a los niveles evaluados. En consecuencia, la PB constituyó el parámetro más sensible dentro de la caracterización química realizada.

Las fracciones fibrosas mostraron un comportamiento marcadamente uniforme. La fibra detergente neutra (FDN) se ubicó entre 64,05 y 66,86%, sin diferencias significativas entre tratamientos ($p>0,05$). La dispersión de los datos fue baja y no se identificó una tendencia definida de incremento o disminución conforme aumentó la inclusión del mucílago. De igual manera, la fibra detergente ácida (FDA) varió entre 30,32 y 33,92%, también sin efecto estadístico de los tratamientos ($p>0,05$). La estabilidad de FDN y FDA evidencia que la inclusión del mucílago de cacao no modificó sustancialmente la fracción estructural del ensilaje, manteniéndose relativamente constantes tanto la pared celular total como sus componentes menos digestibles.

El extracto etéreo (EE) fue otra de las variables que presentó respuesta diferencial entre tratamientos, con significancia estadística ($p=0,0236$). Aunque la magnitud de las variaciones fue menor que la registrada para PB, la comparación entre medias indicó diferencias atribuibles al nivel de inclusión del mucílago. Este resultado sugiere que la fracción lipídica del ensilaje respondió al tratamiento, a diferencia de lo observado para la mayoría de los demás componentes químicos. No obstante, el patrón de cambio entre niveles no fue suficientemente amplio como para modificar el comportamiento general de la composición proximal.

En cuanto al contenido de energía, no se evidenciaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($p>0,05$). La variable mostró un comportamiento homogéneo entre los niveles de inclusión, sin una tendencia definida asociada al incremento del mucílago de cacao. En consecuencia, los cambios detectados en PB y EE no se reflejaron en una respuesta estadísticamente significativa del valor energético.

Tabla 1

Caracterización química de ensilajes de *Zea mays* con niveles crecientes de maguey de *Theobroma cacao*.

Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	EE	CV	P
	100% MF	90% MF +	80% MF +	70% MF +	60% MF +			
		10% MC	20% MC	30% MC	40% MC			
FB	85,97a	70,95a	84,93a	78,40a	84,24a	4,88	13,5	0,1987
MS	93,33a	93,21a	92,29a	85,96a	93,04a	3,14	7,67	0,4244

MO	90,79a	90,80a	92,03a	89,76a	90,53a	1,18	2,91	0,7509
MI	9,22a	9,21a	7,98a	10,25a	9,48a	1,18	28,62	0,7521
PB	9,45a	10,87b	9,57a	9,77ab	9,47a	0,28	6,42	0,0094
FDN	66,86a	64,94a	66,45a	65,03a	64,05a	1,41	4,81	0,614
FDA	30,81a	33,44a	31,71a	33,92a	30,32a	2,14	14,96	0,7028
EE (Grasa)	2,49ab	2,08a	2,26a	2,47ab	3,43b	0,28	24,16	0,0236
Energía	3,26a	2,44a	3,33a	3,54a	3,45a	0,29	20,28	0,0924

Nota: Medias seguidas por la misma letra en la misma fila, no difieren estadísticamente (Tukey, $p > 0.05$) (Autores, 2026).

Degradabilidad y cinética ruminal in vitro en ensilaje de maíz forrajero con inclusión de mucílago de cacao

Los resultados muestran que la degradabilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) detalladas en el Cuadro 2 del ensilaje de maíz forrajero con mucílago de cacao (MC) aumentó a lo largo del tiempo de incubación (0–72 h) para todas las proporciones evaluadas (T1: 100% EMF; T2: 90/10; T3: 80/20; T4: 70/30; T5: 60/40). En 0 h, T4 y T5 presentaron las mayores DIVMS iniciales (40,09% y 38,97%, respectivamente), por encima de T3 (34,88%), T2 (22,59%) y T1 (17,88%), y a las 72 h las diferencias entre T3, T4 y T5 se redujeron a valores cercanos (74,72–75,42%), mientras T1 y T2 quedaron más bajas (61,26–63,87%), sugiriendo mayor degradabilidad final con mayor MC. En la cinética, la fracción soluble (A) fue mayor en T3–T5 (33,26–38,57%) frente a T1–T2 (17,58–19,67%), la fracción insoluble degradable (B) no mostró diferencias significativas entre tratamientos (aproximadamente 38,09–49,00%), y la tasa de degradación de B (c) fue mayor en T4 y T5 (0,05%/h) frente a T1–T3 ($\approx 0,04\%/h$). La degradabilidad potencial (A+B) fue de 65,47% (T1), 68,67% (T2), 82,20% (T3), 76,66% (T4) y 79,06% (T5), destacando que el mayor potencial de degradación se obtuvo con T3 (80% EMF + 20% MC), seguido por T5; las constantes de pasaje a las velocidades de incubación $k_{0,02}$, $k_{0,05}$ y $k_{0,08} \text{ h}^{-1}$ aumentaron con mayor MC, situando a T5 como el tratamiento con mayores valores en las tres curvas (aproximadamente 0,49–0,98 y 0,49%/h) y con diferencias significativas ($P < 0,05$). En conjunto, estos datos indican que la inclusión progresiva de MC en el ensilaje de maíz favorece la DIVMS y la cinética de degradación del MS a lo largo del periodo experimental, con T3 mostrando el mayor A+B y T4–T5 mostrando tasas de

degradación y de pasaje más altas, lo que sugiere que la formulación óptima dependerá del objetivo nutricional, ya sea mayor degradabilidad total o liberación rápida de nutrientes.

Tabla 2

Degradabilidad y cinética ruminal *in vitro* en ensilaje de maíz forrajero con inclusión de mucílago de cacao

Horas de incubación	T1	T2	T3	T4	T5	EEM	CV.	Prob.
	100% MF	90% MF	80% MF+	70% MF+	60% MF+			
		+10%MC	20%MC	30%MC	40%MC			
0	17,88 a	22,59 a	34,88 b	40,09 c	38,97 bc	1.13	7.29	<0,0001
3	20,64 a	23,27 a	37,58 b	42,13 b	42,71 b	1.35	8.11	<0,0001
6	31,50 ab	28,14 a	40,99 ab	45,71 bc	46,42 c	3.28	16.99	0.0031
12	30,49 a	37,30 a	50,41 b	53,22 b	53,69 b	2.44	10.82	<0,0001
24	47,25 a	51,06 a	63,78 b	63,08 b	66,11 b	1.44	4.95	<0,0001
48	56,84 a	61,49 b	72,64 c	70,90 c	73,87 c	0.82	2.45	<0,0001
72	61,26 a	63,87 a	74,72 b	73,70 b	75,42 b	0.75	2.16	<0,0001

Nota: (Autores, 2026).

abcd Medias con letras diferentes entre filas difieren ($p < 0.05$). T1= 100%EMF, T2=90%EMF+10%MC, T3=80%EMF+20%MC, T4=70%EMF+30%MC y T5=60%EMF+40%MC

Cinética ruminal *in vitro* de la materia seca (DIVMS).

La degradación de la cinética ruminal *in vitro* de la materia seca (DIVMS) presente en el Cuadro 3 en ensilaje de maíz forrajero con inclusión de mucílago de cacao mostró diferencias significativas entre los cinco tratamientos evaluados (T1–T5). En las fracciones evaluadas, la fracción soluble (A) fue mayor en los tratamientos con mayores porcentajes de mucílago de cacao, destacando T4 con 38,57% y T5 con 37,61%, frente a T3 (33,26%), T2 (19,67%) y T1 (17,58%). Por otro lado, la fracción insoluble degradable (B) presentó valores que oscilaron entre 38,09% (T4) y 49,00% (T2), lo que indica una variabilidad menor entre T1–T3 en comparación con T4 y T5. Respecto a la tasa de degradación de la fracción B (c), se observó una mayor velocidad en los tratamientos con mayor inclusión de MC (T4 y T5, aproximadamente 0,05%/h) frente a T1–T3 (alrededor de 0,04%/h).

En cuanto a la degradabilidad potencial (A+B), los valores fueron de 65,47% (T1), 68,67% (T2), 82,20% (T3), 76,66% (T4) y 79,06% (T5), posicionando a T3 (80% EMF + 20% MC) como el tratamiento con el mayor potencial de degradación. En los parámetros cinéticos de degradación y tránsito, $DE = c$ mostró diferencias ($p < 0,05$) entre los tratamientos, con valores de 0,04%/h para T1–T3 y 0,05%/h para T4–T5, y las constantes de pasaje k a tres velocidades (0,02; 0,05; 0,08 h^{-1}) registraron sus máximos en T5 (aproximadamente 65,79; 57,01 y 52,47, respectivamente), seguido por T4 y T3. Estos patrones indican que la mayor inclusión de mucílago de cacao favorece la velocidad de paso y la liberación de nutrientes, mientras que la degradabilidad total óptima a 72 h puede favorecerse con una proporción intermedia de EMF/MC.

Tabla 3

Parámetros de cinética ruminal in vitro de MS en ensilaje de maíz forrajero con inclusión de mucílago de cacao

Variable	T1: EMF 100%	T2: EMF 90% + MC 10%	T3: EMF 80% + MC 20%	T4: EMF 70% + MC 30%	T5: EMF 60% + MC 40%	EEM	p-valor	CV
A	17.58 b	19.67 b	33.26 a	38.57 a	37.61 a	1.29	<0.0001	8.82
B	47.89 a	49.00 a	48.94 a	38.09 a	41.45 a	2.56	0.0245	11.35
C	34.53 a	31.33 ab	17.80 c	23.34 abc	20.94 bc	2.85	0.0038	22.24
A+B	65.47 c	68.67 bc	82.20 a	76.66 abc	79.06 ab	2.85	0.0038	7.65
DE = c	0.04 a	0.04 a	0.04 a	0.05 a	0.05 a	0.01	0.8789	35.89
k 0.02	48.36 d	51.77 c	63.29 b	63.87 ab	65.79 a	0.49	<0.0001	1.66
k 0.05	37.77 b	41.04 b	52.87 a	55.58 a	57.01 a	0.98	<0.0001	4.00
k 0.08	32.64 c	35.73 c	47.93 b	51.42 ab	52.47 a	1.02	<0.0001	4.63

Nota: EMF = ensilaje de maíz fresco; MC = material complementario; EEM = error estándar de la media; CV = coeficiente de variación. Letras diferentes en una misma fila indican diferencias estadísticas entre tratamientos. (Autores, 2026).

Abbcd 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%

Discusión

Composición química del ensilaje maíz ensilaje de maíz forrajero con inclusión de mucílago de cacao.

La composición química del ensilaje de maíz con inclusión de mucílago de cacao mostró una elevada estabilidad en la mayoría de los componentes evaluados, lo que indica que este subproducto agroindustrial no altera de manera significativa la estructura bromatológica del ensilaje. En el presente estudio, la materia seca (MS), materia orgánica (MO), materia inorgánica (MI), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y el valor energético no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), evidenciando un comportamiento estable frente a la inclusión del mucílago de cacao.

De manera similar, Ferreira y Mertens (2005), en su estudio sobre “Características químicas y físicas de los ensilados de maíz y sus efectos sobre la desaparición *in vitro*”, señalan que la fracción fibrosa del maíz presenta una alta estabilidad estructural, lo que explica la baja variabilidad observada en FDN y FDA en ambos estudios. En cuanto a la materia seca, aunque en este estudio se observaron valores elevados (85,96–93,33%), (Espinoza et al.2017) en su estudio características microbiológicas, estabilidad aeróbica y cinética de degradación ruminal del ensilado de pasto saboya con residuo de maracuyá.” reportaron valores inferiores (14–25% en base húmeda). Esta diferencia se atribuye principalmente a la base de expresión de los datos y a las condiciones de fermentación, aunque en ambos casos se mantiene la tendencia de ausencia de efecto del mucílago sobre la MS.

La proteína bruta (PB) fue la única variable que presentó diferencias significativas ($p < 0.05$), con valores entre 9,45 y 10,87%. Este comportamiento coincide , quienes también reportaron incrementos significativos de PB con la inclusión de mucílago de cacao. De forma complementaria, Raimi (2022), en su estudio sobre “Fitoquímicos y composición proximal del ensilaje a base de cacao”, evidenció incrementos más marcados de proteína en ensilajes a base

de cacao, alcanzando valores superiores al 20%, lo que sugiere que la fermentación puede potenciar la concentración proteica del ensilaje.

Asimismo, Vera Rodríguez et al. (2021) en “Residuos de la producción de cacao (*Theobroma cacao L.*) como alternativa alimenticia para rumiantes”, reportan que los residuos de cacao presentan contenidos de proteína cruda cercanos al 7–8%, lo que respalda su contribución como fuente de nitrógeno en sistemas de ensilaje. Además, estos autores señalan la presencia de compuestos fenólicos que podrían reducir pérdidas proteicas durante la fermentación, favoreciendo el incremento observado en PB.

Por otra parte, el extracto etéreo (EE) mostró diferencias significativas ($p=0,0236$), lo que concuerda con Ortiz et al. (2024) en su estudio sobre “Physical and chemical properties of cocoa (*Theobroma cacao*) and palm kernel cake by-products”, quienes reportan contenidos lipídicos en subproductos de cacao cercanos al 6–7%, lo que explica su influencia en la fracción grasa del ensilaje.

Sin embargo, el valor energético no presentó diferencias significativas ($p>0,05$), lo que coincide con (Espinoza et al.2017) en su estudio características microbiológicas, estabilidad aeróbica y cinética de degradación ruminal del ensilado de pasto saboya con residuo de maracuyá quienes tampoco encontraron sobre la energía del ensilaje de maíz. Esto indica que las variaciones en PB y EE no fueron suficientes para modificar la densidad energética global del alimento.

Degradabilidad y cinética ruminal in vitro en ensilaje de maíz forrajero con inclusión de mucílago de cacao.

La degradabilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) aumentó con el tiempo, alcanzando 61,26% en el tratamiento control (T1) a las 72 h, mientras que los tratamientos con mucílago de cacao (T3–T5) registraron valores entre 73,70% y 75,42%. Estos valores superan los reportados por (Barrera et al. 2022), en el estudio sobre degradabilidad ruminal in vitro de

residuos agroindustriales de maíz (*Zea mays*), reportaron valores de 68,96%, y se atribuyen al mayor contenido de carbohidratos solubles aportados por el mucílago, lo que incrementa la fracción soluble y acelera la actividad microbiana, favoreciendo la degradación del sustrato. De forma consistente, (Vera, et al. 2020), al evaluar la caracterización química y degradabilidad in situ de residuos orgánicos como alternativa alimenticia para bovinos, registraron degradabilidades in situ entre 49,77% y 52,93% a las 72–96 h, evidenciando una cinética de liberación lenta, asociada a su elevada fracción fibrosa y limitada fracción soluble, lo que restringe la fermentación ruminal.

Asimismo, (Otomaso et al. 2022), en Características del ensilaje, perfiles nutricionales y digestibilidad in vitro de harinas de cáscara de grano de *Theobroma cacao* ensiladas de diferentes maneras, reportaron digestibilidades de materia orgánica superiores a 65%, junto con incrementos en ácidos grasos de cadena corta y energía metabolizable, indicando una mejora en la eficiencia fermentativa del ecosistema ruminal, probablemente relacionada con la reducción de compuestos anti nutricionales y una mayor disponibilidad de sustratos energéticos fermentables. En ensilajes de maíz, (Miller et al. 2021) sobre el estudio de la influencia de la degradabilidad de la fibra del ensilado de maíz en dietas con menor y mayor contenido de fibra sobre el rendimiento de la lactancia, la digestibilidad de los nutrientes y las características ruminales en vacas Holstein lactantes, observaron digestibilidades de FDN de 48,6% en materiales convencionales y hasta 61,1% en híbridos de alta digestibilidad (BM3), lo que evidencia que las modificaciones estructurales de la pared celular, particularmente la reducción de lignificación, incrementan la accesibilidad de la microbiota celulolítica y aceleran el turnover ruminal.

Finalmente, (Renna, et al. 2022) que evaluaron la Inclusión de la cáscara del grano de cacao en la dieta de cabras lecheras: efectos sobre el rendimiento de la producción de leche y el perfil de ácidos grasos de la leche, reportaron que la inclusión de subproductos de cacao en

dietas de cabras redujo el consumo de materia seca sin afectar la producción láctea, lo que sugiere cambios en la palatabilidad y densidad energética de la dieta, sin comprometer la eficiencia de utilización de nutrientes a nivel productivo, aunque con posibles implicaciones en la regulación del consumo voluntario.

Cinética ruminal in vitro de la materia seca (DIVMS).

La cinética de degradación ruminal in vitro de la materia seca (DIVMS) del ensilaje de maíz forrajero (EMF) con inclusión de mucílago de cacao (MC) evidenció modificaciones significativas en los parámetros fermentativos. La fracción soluble (A) alcanzó valores de 17,58% (T1), 19,67% (T2), 33,26% (T3), 38,57% (T4) y 37,61% (T5), siendo superior en los tratamientos con mayor inclusión de MC. Estos valores son comparables con lo reportado por (Scott et al. 2025), en su estudio sobre la cinética de fermentación ruminal in vitro de alimentos alternativos con subproductos agrícolas, quienes reportan que dietas con mayor contenido de subproductos energéticos incrementan la fracción soluble debido a una mayor disponibilidad de carbohidratos rápidamente fermentables

En cuanto a la fracción insoluble degradable (B), en este estudio se registraron valores entre 38,09% y 49,00%, los cuales son superiores a los reportados por (Scott et al. 2025), en su investigación sobre la cinética de fermentación ruminal in vitro de alimentos alternativos con subproductos agrícolas), quienes obtuvieron valores de 24,6% a 26,2% (246–262 g/kg MS) en dietas con subproductos agroindustriales, evidenciando una mayor proporción de fracción estructural potencialmente degradable en el ensilaje evaluado.

Respecto a la tasa de degradación (c), los mayores valores registrados fueron de 0,05 h⁻¹ en T4 y T5, los cuales se encuentran dentro del rango reportado en la literatura (0,03–0,06 h⁻¹) para subproductos de cacao, en el estudio realizado por (Scott et al. 2025), acerca de la fermentación ruminal in vitro de alimentos alternativos con subproductos agrícolas), indicando una fermentación eficiente y más rápida en comparación con dietas convencionales.

En términos de degradabilidad potencial (A+B), el mayor valor registrado fue de 82,20%, superior a los reportados por (Omotoso et al. 2023), señalan en su estudio sobre las características del ensilaje y digestibilidad in vitro de cáscara de cacao), quienes encontraron digestibilidades de materia orgánica entre 50% y 58,6% (500–586 g/kg MS) en ensilajes de subproductos de cacao, lo que confirma un alto potencial de degradación del material evaluado.

Asimismo, la degradabilidad efectiva y las constantes de pasaje (k) alcanzaron valores máximos de 65,79%, 57,01% y 52,47% (para tasas de 0,02; 0,05 y 0,08 h⁻¹, respectivamente) en T5, superiores a los valores típicamente reportados en residuos de cacao evaluados in situ hasta 72 h, según (Vera et al. 2021, evaluación nutricional y degradabilidad de residuos de cacao en rumiantes).

Conclusión

La inclusión de subproductos de cacao (*Theobroma cacao L.*), en forma de mucílago y fracción fibrosa (maguey), en el ensilaje de maíz (*Zea mays L.*) no alteró de manera significativa la mayoría de los componentes de la composición química, evidenciándose una alta estabilidad en materia seca, materia orgánica, materia inorgánica, fracciones fibrosas (FDN y FDA) y contenido energético ($p > 0,05$). Sin embargo, la proteína bruta y el extracto etéreo mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), indicando que la inclusión del subproducto influye principalmente sobre las fracciones nitrogenadas y lipídicas del ensilaje.

Desde el punto de vista fermentativo, la degradabilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) se incrementó progresivamente con el aumento del nivel de inclusión de mucílago de cacao, alcanzando los mayores valores en los tratamientos con 20–40% de inclusión. La cinética ruminal evidenció un aumento en la fracción soluble (A) y en la tasa de degradación (c) en los tratamientos con mayor proporción de subproducto, lo que sugiere una mayor disponibilidad de sustratos fermentables y una aceleración de la actividad microbiana ruminal.

El tratamiento con 20% de mucílago de cacao (T3) presentó el mayor potencial de degradación (A+B), mientras que niveles superiores (30–40%) favorecieron la velocidad de degradación y el pasaje ruminal. En conjunto, estos resultados indican que la inclusión moderada de subproductos de cacao optimiza el valor nutricional del ensilaje, mejorando su utilización ruminal sin comprometer su estabilidad química.

Referencias bibliográficas

- Abasolo-Pacheco, F., Sellan-Canales, M. J., García-Gallirgos, V. J., & Onofre-Correa, J. A. (2025). Desarrollo vegetativo del maíz bajo influencia de diluciones minerales y biológicas. *Revista Científica Zambos*, 4(2), 265-280. <https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n2/121>
- Allen, M. S. (2000). Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 83, 1598–1624. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75030-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75030-2)
- ANKOM Technology. (2008). In vitro true digestibility using the DAISY II incubator system. ANKOM Technology Corporation.
- AOAC International. (1995). Official methods of analysis (16th ed.). AOAC International.
- AOAC. (2000). Official methods of analysis (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Barrera Álvarez, A. E., Espinoza Guerra, I. F., Álvarez Perdomo, G. R., y Medina Villacís, M. L. (2022). Degradabilidad ruminal in vitro de *Zea mays*. *Revista de Investigación TALENTOS*, 9(2), 77–83.
- Brito-Gómez, V. M., Herrera-Jácome, D. F., Miranda-Monar, G. H., Conrado-Palma, D. J., & Miranda-Monar, H. P. (2026). Modelación DSSAT del maíz bajo cambio climático y densidad de siembra en época lluviosa. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(1), 548-562. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/170>
- Campione, A., Pauselli, M., Natalello, A., Valenti, B., Pomete, C., Avondo, M., Morbidini, L., Luciano, G., & Caccamo, M. (2021). Inclusion of cocoa by-product in the diet of dairy sheep: Effects on the fatty acid profile of ruminal content and on the composition of milk and cheese. *Animal*, 15(6), 100243. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100243>.
- Charmley, E. (2001). Towards improved silage quality: A review. *Canadian Journal of Animal Science*, 81(2), 157–168.
- Dormond, H., Rojas, A., Boschini, C., Mora, G., y Sibaja, G. (2011). Evaluación preliminar de la cáscara de banano maduro como material de ensilaje en combinación con pasto king grass (*Pennisetum purpureum*). *InterSedes*, 12(23), 17–31.
- Espinoza-Guerra, I. F., Cedeño-Moreira, Ángel V., Muñoz-Rodríguez, J. G., Conrado-Palma,

- D. J., & Bone-Flores, D. E. (2026). Composición química de subproductos agroindustriales del maíz (*Zea mays*) utilizados en la alimentación de rumiantes. *Journal of Economic and Social Science Research*, 6(2), 152-162. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v6/n2/246>
- 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>
- Espinoza-Guerra, Í., Montenegro, B., Rivas, J., Romero, M., García, A., y Martínez, A. (2017). Características microbiológicas, estabilidad aeróbica y cinética de degradación ruminal del ensilado de pasto saboya con residuo de maracuyá. *Revista Científica FCV-LUZ*, 26(6), 402–407.
- Espinoza, I. F., Barrera, A. E., Sánchez, A. R., Medina, M. L., y García, A. (2023). Elaboración de ensilaje de maíz forrajero y residuos de banano verde para ovinos tropicales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), 2817–2828.
- Ferreira, G., y Mertens, D. R. (2005). Chemical and physical characteristics of corn silages and their effects on in vitro disappearance. *Journal of Dairy Science*, 88(12), 4414–4425.
- Figuroa, K. H. N., García, N. V. M., y Vega, R. C. (2020). Cocoa by-products. En *Food wastes and by-products: Nutraceutical and health potential* (pp. 373–411).
- Galina, M. A., Ortiz-Rubio, M. A., Mondragón, F., y Delgado-Pertíñez, M. (2009). Rendimiento de terneros alimentados con silo de maíz o láctico con un promotor de la fermentación ruminal. *Archivos de Zootecnia*, 58(3), 1–12.
- García Villoslada, A. E., Acosta Núñez, Y. N., Terrones Campos, H. G., Carrasco Pacheco, R. E., y Autukai Biktuk, J. L. (2022). Subproductos del cacao (*Theobroma cacao*) como alternativa para la mejora de la dieta balanceada en rumiantes. *Revista Científica Dékamu Agropecuaria*, 3(1), 42–57. <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v3i1.72>
- Goering, H. K., y Van Soest, P. J. (1970). Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *USDA Agricultural Handbook No. 379*.
- Grant, R. J., y Ferraretto, L. F. (2018). Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4111–4121.
- Lozano, L. L. P., Gómez, J. J. A., Morán, D. L. T., y Galarza, G. A. V. (2021). Alimentación alternativa de rumiantes con residuos de cosecha. *Journal of Science and Research*, 6(4), 1–10.
- Martínez-Loperena, R., Castelán-Ortega, O. A., González-Ronquillo, M., & Estrada-Flores, J. G. (2011). Determinación de la calidad nutritiva, fermentación In Vitro y metabolitos secundarios en arvenses y rastrojo de maíz utilizados para la alimentación del ganado lechero. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 525-536
- Maynard, L. A., & Loosli, J. K. (1993). *Animal nutrition* (7th ed.). McGraw-Hill.
- Miller, M. D., Kokko, C., Ballard, C. S., Dann, H. M., Fustini, M., Palmonari, A., y Grant, R. J. (2021). Influence of fiber degradability of corn silage on lactational performance and

- ruminal characteristics. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1728–1743.
- Nocek, J. E., & Russell, J. B. (1988). Protein and energy as an integrated system. *Journal of Dairy Science*, 71, 2070–2107. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79782-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79782-9)
- Omotoso, O. B., Ale, O. M., Fajemisin, A. N., & Fajemisin, A. N. (2023). Silage characteristics and in vitro digestibility of Theobroma cacao bean shell meals. *Tropical Animal Health and Production*, 26(1).
- Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). Estimation of protein degradability in the rumen. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 499–503. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>.
- Ortiz, J., Casanoves, F., Balanta, J., & Celis, G. (2024). Physical and chemical properties of cocoa (Theobroma cacao) and palm kernel cake by-products. *Food Research*, 6(4), 1–24.
- Pereira, L., Gonçalves, L., Tomich, T., Borges, I., y Rodríguez, N. (2005). Silos experimentais para avaliação da silagem de girassol. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 57(5), 690–696.
- Raimi, C. O., & Adeloye, A. A. (2022). Phytochemicals and proximate compositions of cocoa-based silage. *International Journal of Innovative Research and Reviews*, 6(1), 11–16.
- Renna, M., Lussiana, C., Colonna, L., Malfatto, V. M., Mimosi, A., & Cornale, P. (2022). Inclusion of cocoa bean shell in dairy goats. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 848452.
- Russell, J. B., y Rychlik, J. L. (2001). Factors that alter rumen microbial ecology. *Science*, 292, 1119–1122.
- Scott, M. D. E., John, E. N., & Jones, K. R. (2025). In vitro ruminal fermentation kinetics of alternative feeds. *Dairy Science and Management*, 2(1), 5.
- Tilley, J. M. A., & Terry, R. A. (1963). A two-stage technique for in vitro digestion. *Journal of the British Grassland Society*, 18(2), 104–111.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd ed.). Cornell University Press.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber analysis. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597.
- Vera Rodríguez, J. H., Jiménez Murillo, W. J., Naula Mejía, M. C., . (2021). Residuos de cacao como alternativa alimenticia para rumiantes. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 13(2), 24–29. <https://doi.org/10.24188/recia.v13.n2.2021.839>.
- Vera, J., Lazo, R., Barzallo, D., & Gavin, C. (2020). Chemical characterization and degradability of organic waste. *Ecuadorian Science Journal*, 5(4), 1–14.
- Vinces-Tachong, R. E., Solorzano-Cedeño, L. J., Zambrano-Morales, D. M., Murillo-Orellana, D. D., & Muñoz-Montoya, J. A. (2025). Productividad del maíz en función de distintas dosis del biofertilizante Ferti-Organ. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(4), 414-425. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n4/121>