

Research Article

Degradabilidad ruminal in vitro y cinética de fermentación de ensilados de King Grass *Pennisetum purpureum* suplementados con cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*)

In vitro ruminal degradability and fermentation kinetics of King Grass (*Pennisetum purpureum*) silage supplemented with passion fruit peel (*Passiflora edulis*)



Espinoza-Guerra, Italo Fernando ¹



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



iespinoza@uteq.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo



Muñoz-Rodríguez, Jorge Geovanny ³



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



jmunoz@uteq.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo



Díaz-Jame, Katryn Sully ⁵



<https://orcid.org/0009-0000-9990-6061>



kdiazj2@uteq.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo



Cedeño-Moreira, Ángel Virgilio ²



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



acedenom@uteq.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo



Conrado-Palma, Diego Javier ⁴



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



dconradop@uteq.edu.ec@uteq.edu.ec



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n2/174>

Resumen: El estudio evaluó la degradabilidad ruminal in vitro y la cinética de fermentación de ensilados de *Pennisetum purpureum* suplementados con cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*), con el fin de determinar su potencial como alternativa nutricional para rumiantes en sistemas tropicales. Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos: T1 (100% King Grass), T2 (90% King Grass + 10% cáscara), T3 (80% + 20%), T4 (70% + 30%) y T5 (60% + 40%), con cuatro repeticiones. Los ensilados fueron almacenados durante 30 días y evaluados mediante incubación in vitro de la materia seca a diferentes tiempos (0–72 h) usando el sistema DAISY II. Los resultados mostraron que la inclusión de cáscara de maracuyá incrementó significativamente ($p < 0,05$) la degradabilidad de la materia seca frente al control. Entre las 6 y 72 horas, los tratamientos suplementados alcanzaron un promedio de degradación de 50,29%, superando al tratamiento sin adición. A las 72 horas, los valores oscilaron entre 49,07% y 51,12%, mientras que el control presentó 38,62%. La degradabilidad efectiva también fue mayor en los tratamientos suplementados, destacando T4 con 37,47%. En conclusión, la incorporación de cáscara de maracuyá mejora la degradación ruminal y representa una alternativa viable y sostenible.

Palabras clave: nutrición, fermentación anaerobia, digestibilidad, subproductos agroindustriales.



Check for updates

Recibido: 16/Ene/2026
Aceptado: 14/Feb/2026
Publicado: 31/May/2026

Cita: Espinoza-Guerra, I. F., Cedeño-Moreira, Ángel V., Muñoz-Rodríguez, J. G., Conrado-Palma, D. J., & Díaz-Jame, K. S. (2026). Degradabilidad ruminal in vitro y cinética de fermentación de ensilados de King Grass *Pennisetum purpureum* suplementados con cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*). *Revista Científica Zambos*, 5(2), 16–27. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n2/174>

Ecuador, Santo Domingo, La Concordia Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas – Sede Santo Domingo Revista Científica Zambos (RCZ) <https://revistaczambos.utelvtsd.edu.ec>

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 study evaluated the in vitro ruminal degradability and fermentation kinetics of *Pennisetum purpureum* silages supplemented with passion fruit peel (*Passiflora edulis*), aiming to determine their potential as a nutritional alternative for ruminants in tropical systems. A completely randomized design was used with five treatments: T1 (100% King Grass), T2 (90% King Grass + 10% peel), T3 (80% + 20%), T4 (70% + 30%), and T5 (60% + 40%), with four replicates. The silages were stored for 30 days and evaluated through in vitro dry matter incubation at different times (0–72 h) using the DAISY II system. Results showed that the inclusion of passion fruit peel significantly increased ($p < 0.05$) dry matter degradability compared to the control. Between 6 and 72 hours, supplemented treatments reached an average degradation of 50.29%, surpassing the unsupplemented treatment. At 72 hours, values ranged from 49.07% to 51.12%, while the control showed 38.62%. Effective degradability was also higher in supplemented treatments, with T4 standing out at 37.47%. In conclusion, the incorporation of passion fruit peel improves ruminal degradation and represents a viable and sustainable alternative.

Keywords: nutrition, anaerobic fermentation, digestibility, agro-industrial by-products.

1. Introducción

La alimentación de rumiantes en regiones tropicales enfrenta un desafío estructural asociado a la marcada estacionalidad de la producción forrajera, la variabilidad climática y el deterioro progresivo de la calidad nutritiva de las gramíneas a medida que avanza su madurez fisiológica. En estos sistemas, la disponibilidad de biomasa no siempre se corresponde con una adecuada oferta de nutrientes fermentables y proteína utilizable en el rumen, lo que compromete la eficiencia de utilización del alimento y, en consecuencia, la productividad animal (Barrera-Álvarez et al., 2017). En este contexto, *Pennisetum purpureum* constituye una de las gramíneas más empleadas en sistemas de corte y acarreo por su elevada producción de forraje, amplia adaptación agroecológica y capacidad de sostener la alimentación en condiciones tropicales y subtropicales (Sánchez-Guerra et al., 2024). No obstante, a pesar de su alto rendimiento por unidad de superficie, este recurso presenta limitaciones nutricionales importantes cuando se cosecha en estados avanzados, particularmente por su alto contenido de humedad, incremento de la fracción fibrosa y reducción de la digestibilidad, factores que restringen su aprovechamiento ruminal (Mertens, 1994).

El ensilaje representa una alternativa tecnológica estratégica para conservar el excedente de forraje durante la época lluviosa y emplearlo en periodos de escasez. Sin embargo, a capacidad de conservación mediante ensilaje del pasto King grass no siempre es óptima debido a su baja concentración de materia seca y al riesgo de

fermentaciones indeseables, pérdidas por efluentes y deterioro de compuestos nutritivos durante el almacenamiento (Sánchez-Guerra et al., 2024). Diferentes investigaciones han demostrado que la calidad fermentativa y nutricional del ensilado de *P. purpureum* puede mejorarse mediante el uso de aditivos, inoculantes microbianos y subproductos agroindustriales capaces de incrementar la materia seca, aportar sustratos fermentables y modular la actividad microbiana del silo. Desde esta perspectiva, la incorporación de recursos alternativos de origen agroindustrial no solo responde a una necesidad nutricional, sino también a criterios de sostenibilidad, economía circular y reducción del impacto ambiental derivado de la acumulación de residuos (Mertens, 1997).

Entre los subproductos con mayor potencial, la cáscara de maracuyá ha despertado creciente interés por su disponibilidad en zonas tropicales productoras y por su composición química, caracterizada por una fracción importante de pectinas, carbohidratos estructurales moderadamente digestibles, minerales y compuestos fermentables. Además, este residuo puede obtenerse durante todo el año y representa una fracción considerable del peso del fruto, por lo que su aprovechamiento como ingrediente o aditivo para ensilaje constituye una alternativa viable para sistemas ganaderos de pequeña y mediana escala (Espinoza-Guerra et al., 2017a). Estudios previos han mostrado que la inclusión de residuos de maracuyá en ensilajes de gramíneas tropicales puede incrementar la materia seca, mejorar la composición bromatológica y favorecer la digestibilidad del material conservado (Villela et al., 1997). En ensilajes de pasto elefante, por ejemplo, la incorporación de subproductos frutícolas, incluyendo maracuyá, mejoró el proceso fermentativo y redujo parcialmente las limitaciones asociadas al exceso de humedad del forraje base (Sánchez-Guerra et al., 2024).

Particularmente, en ensilados de *Pennisetum purpureum*, la adición de cáscara de maracuyá ha mostrado efectos positivos sobre la degradabilidad de la materia seca y el comportamiento fermentativo. Romero et al. (2021) observaron que la inclusión de este subproducto en ensilaje de pasto elefante aumentó la desaparición de la materia seca durante la incubación ruminal, aunque con respuestas dependientes del nivel de inclusión. Del mismo modo, Espinoza-Guerra et al. (2017b) reportaron que los residuos de diferentes variedades de maracuyá presentaron potencial de degradación ruminal apreciable, destacándose diferencias entre la fracción soluble, la fracción potencialmente degradable y la degradabilidad efectiva. Estos hallazgos sugieren que la cáscara de maracuyá no solo puede actuar como corrector del proceso de ensilaje, sino también como modulador de la dinámica fermentativa en el rumen. Sin embargo, la magnitud de esta respuesta depende de la interacción entre el subproducto, la matriz fibrosa del pasto y la velocidad con que los nutrientes son liberados y fermentados por la microbiota ruminal (Noguera et al., 2014).

A pesar de los avances en el uso de subproductos agroindustriales, se dispone de información limitada sobre la degradación ruminal *in vitro* y la cinética de fermentación de ensilados de *Pennisetum purpureum* con cáscara de maracuyá. Es necesario

entender cómo distintos niveles de inclusión afectan la degradación de la materia seca y la eficiencia fermentativa bajo condiciones controladas. Por ello, este estudio evaluó la cinética de fermentación y degradación ruminal *in vitro* de estos ensilados, generando información para optimizar su aprovechamiento nutricional.

2. Metodología

Sitio experimental:

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Rumiología del Campus Experimental “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicado en Mocache, Los Ríos, Ecuador. Este entorno ofrece condiciones tropicales y humedad relativa elevada, con temperatura media cercana a los 25–26 °C, lo que facilita la obtención de material forrajero representativo de la zona costera.

Recolección de la muestra:

El material vegetal correspondiente a *Pennisetum purpureum* (King grass) fue recolectado en condiciones de campo en estado fenológico adecuado para su aprovechamiento, asegurando uniformidad en la edad de rebrote. El corte se realizó manualmente, evitando la inclusión de material senescente o contaminado, y fue transportado inmediatamente al laboratorio en recipientes adecuados para preservar sus características físico-químicas y microbiológicas.

Los residuos de maracuyá, compuestos por cáscara y semillas, se recolectaron en la planta extractora de jugo Quicornac S.A., ubicada en el cantón Vinces, provincia de Los Ríos. El material fue acondicionado y almacenado siguiendo protocolos de manejo de residuos orgánicos para garantizar su adecuado destino en los análisis de laboratorio y la preparación de ensilajes y registro documental completo.

Proceso del ensilado:

El proceso de ensilaje se realizó a nivel de laboratorio en microsilos construidos con tubos de PVC de cuatro pulgadas, de 30 cm de longitud por 10 cm de diámetro, con una capacidad de almacenamiento de 3 kg de forraje en combinación con los diferentes niveles de cáscara de maracuyá. Se picó los materiales (0.5 a 1.0 cm) en una picadora de pasto (SC Cevacos Trapp ES 400) y se pesó cada uno en la relación correspondiente al nivel de inclusión de cáscara de maracuyá, se compactó y selló con tapón de PVC con válvula tipo “Bunsen” adaptada, tornillos y cinta de embalaje, con el modelo de Pereira et al. (2005) y las modificaciones de extracción de efluentes (Dormond et al., 2011; Espinoza-Guerra et al., 2017a), para completar las condiciones anaeróbicas requeridas. Una vez sellados los microsilos, estos se conservaron por 35 días a temperatura ambiente, dentro de un depósito con iluminación natural 12 horas luz y 12 horas de oscuridad, sin radiación solar directa. La apertura de los silos se hizo tras 35 días de almacenamiento 30 días bajo condiciones de fermentación anaerobia. y se recogieron muestras representativas de los microsilos de cada uno de los

tratamientos para el estudio de la determinación de degradabilidad ruminal *in vitro* y cinética de fermentación de ensilados de King Grass suplementados con cáscara de maracuyá.

Diseño de la investigación:

Se empleó un diseño completamente aleatorizado con 5 tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento, evaluados a 7 tiempos de incubación. Cada tratamiento será incubado en bolsas individuales colocadas en tres bovinos Brahman fistulados, siguiendo el protocolo DAISY II para la degradabilidad *in vitro* de la materia seca. El objetivo es estimar la degradabilidad *in vitro* (DIVMS) y la cinética de degradación (A, B, c) así como parámetros derivados como DE y k (0.02, 0.05 y 0.08 h⁻¹) para cada tratamiento. Se aplicarán contrastes polinómicos y pruebas post hoc de Tukey ($\alpha = 0.05$) para comparar tratamientos y tiempos (Teixeira et al., 2008).

Procedimiento de la degradabilidad ruminal *in vitro*:

La degradabilidad ruminal *in vitro* de la materia seca (DIVMS) se determinó mediante el sistema de incubación DaisyII® (ANKOM Technology), empleando líquido ruminal fresco obtenido de un bovino Brahman fistulado (≈ 500 kg PV), extraído por succión al vacío y transportado en termos previamente acondicionados a 39–40 °C para conservar la actividad microbiana. El inóculo se preparó mezclando solución buffer y líquido ruminal en proporción 3:2, manteniéndose bajo atmósfera de CO₂ para garantizar anaerobiosis. Las muestras de ensilado, previamente secadas y molidas, se colocaron en bolsas ANKOM F-57 (25 μ m), utilizando 0,4 g por bolsa, e incubándose a 39 °C durante 0, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 h. Posteriormente, las bolsas se lavaron, secaron a 65 °C durante 48 h y se calculó la desaparición de la materia seca. La estimación de los parámetros de degradabilidad se realizó mediante el modelo exponencial de McDonald et al. (1991), en concordancia con metodologías aplicadas en ensilajes de gramíneas tropicales y residuos de maracuyá (Romero et al., 2021; Espinoza-Guerra et al., 2017a).

Procedimiento de la cinética ruminal *in vitro*:

La cinética de degradación ruminal *in vitro* de la materia seca se estimó utilizando los valores de desaparición obtenidos a las 0, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 h de incubación. Los datos se ajustaron al modelo exponencial de Ørskov y McDonald (1979), $p = a + b(1 - e^{-ct})$, donde a corresponde a la fracción soluble, b a la fracción insoluble pero potencialmente degradable y c a la tasa de degradación de la fracción b . Asimismo, se calculó el potencial de degradación ($a + b$) y la degradabilidad efectiva de la materia seca para tasas de pasaje de 0,02; 0,05 y 0,08 h⁻¹. Esta metodología ha sido utilizada en estudios de residuos de maracuyá y ensilajes tropicales para describir la dinámica de fermentación y la disponibilidad ruminal de nutrientes (Espinoza-Guerra et al., 2017b; Espinoza-Guerra et al., 2017a; Romero et al., 2021).

Análisis estadísticos:

Los datos se organizaron en hojas de cálculo y se analizaron utilizando el software InfoStat. Se aplicó un modelo de diseño completamente al azar para la comparación de tratamientos, empleando análisis de varianza (ANOVA) mediante ADEVA y la prueba de Tukey para la comparación de medias con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$. Se reportaron los valores de F y p para cada efecto, y las diferencias entre tratamientos y tiempos de incubación se interpretaron tanto en la degradabilidad de la materia seca como en los parámetros de cinética de fermentación, incluyendo las fracciones A, B, C, A+B, la degradabilidad efectiva (DE) y la constante de velocidad (k).

3. Resultados

3.1. Degradabilidad in vitro de la materia seca de fermentación de ensilados de King Grass *Pennisetum purpureum* suplementados con cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*)

La degradabilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) del ensilado de pasto King Grass con inclusión creciente de cáscara de maracuyá mostró diferencias significativas entre tratamientos desde el inicio de la incubación hasta las 72 h, excepto a las 24 h, donde no se observaron diferencias estadísticas ($p > 0,05$). En las primeras horas de incubación, los tratamientos con cáscara de maracuyá presentaron mayores valores de degradabilidad que el testigo. A las 0 h, el tratamiento T4 (70% King Grass + 30% cáscara de maracuyá) registró el valor más alto con 15,43%, seguido de T2 (14,91%), T3 (13,75%) y T5 (13,02%), mientras que el testigo T1 (100% King Grass) mostró el menor valor con 10,56% ($p < 0,05$). A las 3 h, T4 mantuvo la mayor degradabilidad (16,39%), superando al testigo T1 (11,25%) y mostrando diferencias significativas ($p < 0,05$). De igual forma, a las 6 h y 12 h, los tratamientos con inclusión de cáscara de maracuyá conservaron mayores valores de DIVMS respecto al testigo, con promedios entre 15,05 y 17,40%, mientras T1 presentó 12,07 y 13,41%, respectivamente. A las 24 h no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($p > 0,05$), aunque numéricamente T5 alcanzó el mayor valor (20,05%) y T1 el menor (14,67%).

En las fases finales de incubación, la superioridad de los tratamientos con inclusión de cáscara de maracuyá fue más evidente. A las 48 h, T2, T3, T4 y T5 alcanzaron valores de 39,59; 39,85; 39,93 y 38,53%, respectivamente, todos superiores ($p < 0,05$) al T1 (29,14%). Asimismo, a las 72 h, los tratamientos con subproducto presentaron degradabilidades entre 49,07 y 51,12%, mientras que T1 registró 38,62% ($p < 0,05$). Los tratamientos con inclusión de cáscara de maracuyá mostraron un promedio de degradación cercano a 50,29% entre 6 y 72 h, evidenciando un mejor comportamiento fermentativo respecto al ensilado elaborado únicamente con King Grass.

Tabla 1

Degradabilidad ruminal in vitro del ensilado de Pennisetum purpureum suplementados con cáscara de maracuyá (Passiflora edulis)”

Tiempo incubación (horas)	T1 Ensilaje KG 100%	T2 Ensilaje KG 90% + RM 10%	T3 Ensilaje KG 80% + RM 20%	T4 Ensilaje KG 70% + RM 30%	T5 Ensilaje KG 60% + RM 40%	EEM	P<	CV (%)
0	10.56 ^b	14.91 ^a	13.75 ^a	15.43 ^a	13.02 ^{ab}	0.66	0.001	9.79
3	11.25 ^c	15.25 ^{ab}	15.30 ^{ab}	16.39 ^a	13.29 ^{bc}	0.61	0.0002	8.52
6	12.07 ^b	15.88 ^a	16.12 ^a	16.89 ^a	15.05 ^a	0.55	0.0002	7.22
12	13.41 ^b	16.16 ^a	16.50 ^a	17.40 ^a	15.65 ^{ab}	0.60	0.0038	7.59
24	14.67 ^a	17.75 ^a	19.02 ^a	18.43 ^a	20.05 ^a	1.40	0.1309	15.59
48	29.14 ^b	39.59 ^a	39.85 ^a	39.93 ^a	38.53 ^a	1.65	0.0012	8.81
72	38.62 ^b	50.87 ^a	50.08 ^a	51.12 ^a	49.07 ^a	1.18	0.0001	4.9

Nota: KG: Pasto king grass; RM: Residuo de Maracuyá; EEM: Error Estándar de la Media; P<: Probabilidad; CV: Coeficiente de Variación; ^{abcd}. Promedios en cada fila con superíndices de letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey $p > 0.05$) (Autores, 2026).

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

El análisis de la cinética ruminal *in vitro* indicó que las fracciones de degradación de la materia seca no presentaron diferencias significativas entre tratamientos para la fracción soluble (A), la fracción insoluble pero potencialmente degradable (B), la tasa de degradación (c) ni el potencial de degradación (A+B) ($p > 0,05$). La fracción soluble (A) osciló entre 10,87% en T1 y 12,29% en T2, con un promedio general de 11,57%. La fracción insoluble pero potencialmente degradable (B) varió entre 45,39% y 80,40%, correspondiendo el valor más alto a T4. La tasa de degradación (c) fue baja y similar en todos los tratamientos, con valores entre 0,01 y 0,02% por hora, lo que indica una degradación lenta del material incubado. Por su parte, el potencial de degradación ruminal (A+B) fluctuó entre 57,08 y 92,07%, siendo T4 el tratamiento con mayor valor numérico.

En contraste, la degradabilidad efectiva (DE) sí mostró diferencias significativas entre tratamientos en las tres tasas de pasaje evaluadas. Para la tasa de pasaje $k=0,02$, el tratamiento T4 presentó la mayor degradabilidad efectiva con 37,47%, seguido de T2 (34,60%), T3 (34,12%) y T5 (33,33%), todos superiores al testigo T1 (26,90%) ($p < 0,05$). A una tasa de pasaje $k=0,05$, nuevamente T4 alcanzó el mayor valor con 27,17%, seguido de T2 (24,74%), T5 (24,15%) y T3 (24,07%), mientras que T1 obtuvo 19,07% ($p < 0,05$). De manera similar, para $k=0,08$, T4 registró la mayor degradabilidad efectiva (21,90%), superando al testigo T1 (16,39%) ($p < 0,05$). Estos resultados evidencian que la inclusión de cáscara de maracuyá en el ensilado de King Grass mejoró la degradabilidad efectiva de la materia seca, especialmente en el tratamiento con 30% de inclusión.

Tabla 2

Cinética *in vitro* de ensilado de *Pennisetum purpureum* suplementados con cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*)”

Variable	T1 ensilaje kg 100%	T2 kg 90 + 10 cm	T3 kg 80 + 20 cm	T4 kg 70 + 30 cm	T5 kg 60 + 40 cm	EEM	P
A	10,87 A	12,29 A	11,32 A	11,67 A	11,69 A	0,37	0,1220
B	47,30 A	51,23 A	67,00 A	80,40 A	45,39 A	12,33	0,2286
C	0,01 A	0,02 A	0,02 A	0,02 A	0,02 A	3,93	0,3990
A + B	58,17 A	63,52 A	78,32 A	92,07 A	57,08 A	12,29	0,2239
De							
K 0,02	26,90 B	34,60 A	34,12 A	37,47 A	33,33 A	1,11	<0,0001
K 0,05	19,07 B	24,74 A	24,07 A	27,17 A	24,15 A	1,01	<0,0003
K 0,08	16,39 B	20,96 A	20,27 A	21,90 A	20,47 A	0,87	<0,0010

Nota: Abcd 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: tránsito de degradación efectiva. K: tasa de pasaje al 0.02, 0.05 y 0.08% (Autores, 2026).

4. Discusión

Degradabilidad ruminal *in vitro* del ensilado de *Pennisetum purpureum* suplementados con cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*):

Los resultados de degradabilidad *in situ* de los residuos agroindustriales de maracuyá y plátano se alinean con los hallazgos reportados por Barrera-Álvarez et al. (2017) cuando estudiaron la degradabilidad ruminal *in vitro* de ensilajes de pasto saboya (*Panicum maximum* Jacq.) con diferentes niveles de inclusión de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims). En este estudio se observó que la inclusión de cáscara de maracuyá en silajes mejora la composición nutricional y la cinética de degradación, con aumentos en materia orgánica (MO), proteína bruta (PB) y reducciones en fibra detergente neutra (FDN) al sumar cascara de maracuyá al ensilaje, resultados que guardan similitud con nuestro hallazgo de mayor digestibilidad *in situ* de la materia seca (DISMS) en tratamientos con mayor proporción de cascara de maracuyá y con mayor estabilidad a lo largo de 48–72 h.

Por su parte, Vieira et al. (1999), cuando estudiaron la composición químico-bromatológica y degradabilidad *in situ* de la materia seca (MS), PB y FDN de cáscara de fruto de tres variedades de maracuyá (*Passiflora spp*) reportan degradabilidad efectiva potencial de MS alrededor de 63% para las tres variedades evaluadas, con PB ~68-80% y FDN/FDA en rangos entre 34-44% y 31-35%, respectivamente; estas magnitudes subrayan que la fuente y el procesamiento influyen significativamente en la disponibilidad de nutrientes, concordante con las diferencias observadas entre cáscara, pulpa y semilla en Espinoza-Guerra et al. (2017a) cuando estudiaron la composición bromatológica y degradabilidad ruminal *in situ* de residuos agroindustriales de maracuyá y plátano (Faria et al., 2007).

En el contexto práctico, Sánchez-Laiño et al. (2019) demuestran que sustituir parte del maíz por harina de maracuyá en dietas *in situ* mejora DISMS digestibilidad *in vitro* de la materia seca y orgánica a las 48–72 horas de incubación, mientras que la digestibilidad *in situ* de la FDN y FDA aumentan con mayores inclusiones, lo que coincide con nuestra interpretación de que la cáscara de maracuyá puede modular la digestibilidad de fracciones específicas en rumiantes del litoral ecuatoriano. En suma, la degradabilidad de estos residuos es viable y dependiente de la fuente (casca, pulpa, semilla) y del procesamiento, tal como señalan Ørskov y McDonald (1979) y Mehrez y Orskov (1977), lo que refuerza el potencial de estos subproductos como aportes nutricionales en dietas rumiantes cuando se elige la fuente adecuada y la dosis correcta.

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

La cinética de degradación *in situ* se evaluó mediante el modelo de tres fracciones propuesto por Ørskov y McDonald (1979), en el cual la fracción potencialmente degradable (b) se degrada a una tasa (c), considerando además la velocidad de paso (k), lo que permite estimar la degradabilidad efectiva ($DE = a + (bc)/(c + k)$). En el trabajo de Sánchez-Laiño et al. (2019), enfocado en la valoración nutricional *in situ* de dietas con harina de maracuyá en sustitución del maíz, se reportaron para la materia seca (MS) valores de $a \approx 9\text{--}14\%$, $b \approx 58\text{--}69\%$, $kd \approx 6.1\text{--}6.7\% \text{ h}^{-1}$ y $c \approx 31\text{--}33\%$; para la materia orgánica (MO), $a \approx 4\text{--}14\%$, $b \approx 58\text{--}69\%$, $kd \approx 5.8\text{--}6.7\% \text{ h}^{-1}$ y $c \approx 26\text{--}33\%$; mientras que para la FDA se observaron valores de $a \approx 7.5\text{--}23\%$, $b \approx 45\text{--}47\%$, $kd \approx 1.8\text{--}2.2\% \text{ h}^{-1}$ y $c \approx 37\text{--}42\%$; y para la FDN, $a \approx 29\text{--}38\%$, $b \approx 43\text{--}45\%$, $kd \approx 7.1\text{--}9.2\% \text{ h}^{-1}$ y $c \approx 17\text{--}23\%$ ($R^2 \approx 0.98\text{--}0.99$).

Estos resultados evidencian un ajuste robusto de las curvas de degradación en intervalos de 24 a 72 h, y ponen de manifiesto que tanto la fracción soluble (a) como la fracción potencialmente degradable (b) presentan variaciones importantes entre MS, MO, FDA y FDN, lo cual se traduce en diferencias en la degradabilidad efectiva a lo largo del tiempo. De manera similar, Barrera-Álvarez et al. (2017), en su evaluación de la degradabilidad ruminal *in vitro* de ensilajes de pasto saboya con inclusión de cáscara de maracuyá, reportaron valores de DE de la MS cercanos al 63%, con degradabilidad de la proteína bruta entre 68–77% y de las fracciones fibrosas (FDN/FDA) entre 34–40% y alrededor de 50%, respectivamente, lo que evidencia la influencia tanto de la materia prima como del procesamiento sobre la cinética de degradación.

Por su parte, Vieira et al. (1999), al analizar residuos de diferentes variedades de maracuyá, señalaron que las diferencias varietales y el tipo de procesamiento afectan significativamente los parámetros cinéticos, particularmente las fracciones a y b, manteniendo elevados coeficientes de determinación ($R^2 \approx 0.98\text{--}0.99$), lo que respalda la aplicabilidad del modelo para la comparación entre sustratos. En el presente estudio, el incremento en la proporción de cáscara de maracuyá (CM), junto con la variabilidad entre sus formas de presentación (cáscara, pulpa y mezclas), se

asocia con mayores valores de las fracciones a y b en MS y MO, así como con parámetros kd y c que indican una mayor velocidad de degradación de las fracciones solubles y un alto potencial degradable. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Espinoza-Guerra et al. (2017b), Mehrez y Ørskov (1978), Udén et al. (1980) y Sánchez-Laiño et al. (2019). Estos hallazgos confirman la pertinencia del modelo de Ørskov y McDonald (1979) como herramienta para comparar la degradabilidad entre distintos sustratos y condiciones de alimentación, destacando además el papel determinante de la fuente y del procesamiento del maracuyá sobre la dinámica de degradación ruminal (Alves et al., 2015).

5. Conclusiones

La inclusión de cáscara de maracuyá en el ensilado de King Grass mejora la degradabilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) a lo largo de 72 h, destacando el tratamiento T4 (70% King Grass + 30% cáscara de maracuyá) con la mayor DIVMS final (~51%) y la mayor degradabilidad efectiva (DE) a diferentes tasas de pasaje ($\approx 37.5\%$ a $k=0.02\text{ h}^{-1}$; $\approx 27.2\%$ a $k=0.05\text{ h}^{-1}$; $\approx 21.9\%$ a $k=0.08\text{ h}^{-1}$), frente al control (100% King Grass) que mostró valores significativamente menores. El potencial de degradación ruminal (A+B) alcanzó hasta ~92% para T4, evidenciando un mayor pool degradable cuando la CM está presente. Estos hallazgos se alinean con estudios que reportan mejoras en la composición nutricional y la cinética de degradación al incorporar CM en silajes y residuos de maracuyá, y con investigaciones que muestran efectos positivos de la CM en DISMS y DISMO al sustituir maíz. En conjunto, la CM en King Grass silaje resulta una alternativa viable para incrementar la digestibilidad ruminal, especialmente a 30% de CM, considerando la variabilidad entre sustratos y condiciones de procesamiento.

CONFLICTO DE INTERESES

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

Referencias Bibliográficas

- Alves, G. R., Fontes, C. A. A., Processi, E. F., Fernandes, A. M., Oliveira, T. S., y Glória, L. S. (2015). Rendimento e digestibilidade de novilhos alimentados com subproduto de maracujá fresco ou ensilado de sorgo, com e sem suplementação com concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44(9), 314–320. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902015000900002>
- Barrera-Álvarez, A., Montenegro-Vivas, L., Sánchez-Laiño, A., Medina-Villacis, M., Medina Villacis, M., y Espinoza-Guerra, I. (2017). Degradabilidad ruminal in vitro de ensilajes de pasto saboya (*Panicum maximum* Jacq.) con diferentes

- niveles de inclusión de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims.). *Ciencia y Tecnología*, 10(2), 53–62. <https://doi.org/10.18779/cyt.v10i2.208>
- 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. <https://www.redalyc.org/pdf/666/66622603002.pdf>
- Espinoza-Guerra, I., Montenegro-Vivas, L., Sánchez-Laiño, A., Romero-Romero, M., Medina-Villacís, M., García-Martínez, A., y Barrera-Alvarez, A. (2017a). Composición bromatológica y degradabilidad ruminal in situ de residuos agroindustriales de maracuyá (*Passiflora edulis*) y plátano (*Musa paradisiaca*). *Ciencia y Tecnología*, 10(2), 63–68. <https://doi.org/10.18779/cyt.v10i2.209>
- Espinoza-Guerra, Í., Montenegro, B., Rivas, J., Romero, M., García, A., y Martínez, A. (2017b). Características microbianas, estabilidad aeróbica y cinética de degradación ruminal del ensilado de pasto saboya (*Megathyrsus maximus*) con niveles crecientes de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*). *Revista Científica FCV-LUZ*, 27(6), 402–407. <https://www.redalyc.org/journal/959/95953011007/html/>
- Faria, D. J. G., Garcia, R., Pereira, O. G., Fonseca, D. M., Mello, R., y Rigueira, J. P. S. (2007). Composição químico-bromatológica da silagem de capim-elefante com níveis de casca de café. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(2), 301–308. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000200005>
- McDonald, P., Henderson, A. R., y Heron, S. J. E. (1991). *The biochemistry of silage* (2.^a ed.). Chalcombe Publications. <https://books.google.com/books?id=oUcjAQAAMAAJ>
- Mehrez, A. Z., y Ørskov, E. R. (1977). A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *The Journal of Agricultural Science*, 88(3), 645–650. <https://doi.org/10.1017/S0021859600037321>
- Mehrez, A. Z., y Ørskov, E. R. (1978). Protein degradation and optimum urea concentration in cereal-based diets for sheep. *British Journal of Nutrition*, 40(2), 337–345. <https://doi.org/10.1079/BJN19780130>
- Mertens, D. R. (1994). Regulation of forage intake. En G. C. Fahey Jr., M. Collins, D. R. Mertens, y L. E. Moser (Eds.), *Forage quality, evaluation, and utilization* (pp. 450–493). American Society of Agronomy. <https://doi.org/10.2134/1994.foragequality.c11>
- Mertens, D. R. (1997). Creating a system for meeting the fiber requirement of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80(7), 1463–1481. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76075-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2)
- Noguera, R., Valencia, S., y Posada, S. (2014). Efecto de diferentes aditivos sobre la composición y el perfil de fermentación del ensilaje de cáscaras de maracuyá (*Passiflora edulis*). *Livestock Research for Rural Development*, 26(9), Article 168. <http://www.lrrd.org/lrrd26/9/nogu26168.html>
- Ørskov, E. R., y 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>

- Pereira, L. G. R., Gonçalves, L. C., Tomich, T. R., Borges, I., y Rodríguez, N. M. (2005). Silos experimentais para avaliação da silagem de três genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 57(5), 690–696. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352005000500018>
- Sánchez-Guerra, N. A., González-Ronquillo, M., Anderson, R. C., Hume, M. E., Ruiz-Albarrán, M., Bautista-Martínez, Y., Zúñiga-Serrano, A., y Salinas-Chavira, J. (2024). Improvements in fermentation and nutritive quality of elephant grass [*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone] silages: A review. *Tropical Animal Health and Production*, 56, Article 171. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-04027-6>
- Sánchez-Laiño, A., Torres-Navarrete, E., Espinoza-Guerra, I., Montenegro-Vivas, L., Barba-Capote, C., y García-Martínez, A. (2019). Valoración nutricional in situ de dietas con harina de maracujá (*Passiflora edulis*) en sustitución del maíz (*Zea mays*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(1), 149–157. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i1.14438>
- Teixeira, F. A., Veloso, C. M., Pires, A. V., Silva, F. F., y Nascimento, P. V. N. (2008). Perdas na ensilagem de capim-elefante aditivado com farelo de cacau e cana-de-açúcar. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 60(1), 227–233. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352008000100031>
- Udén, P., Colucci, P. E., y Van Soest, P. J. (1980). Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta rate of passage studies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 31(7), 625–632. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740310702>
- Vieira, C., Vasquez, H., y Silva, J. (1999). Composição químico-bromatológica e degradabilidade in situ da matéria seca, proteína bruta e fibra em detergente neutro da casca do fruto de três variedades de maracujá (*Passiflora* spp.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28(5), 1148–1158. <https://doi.org/10.1590/S1516-35981999000500034>
- Villela, C., Maldonado Vasquez, H., Coelho da Silva, J. F., y Fernández, A. M. (1997). Parâmetros da degradação e cinética ruminal da digestão de resíduos (casca) de três variedades de maracujá (*Passiflora* spp.). *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 5(Supl. 1), 202–204.