

Research Article

Efecto de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis Sims.* en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) a niveles de 25, 50, 75 y 100% sobre su composición química

Effect of adding Passiflora edulis Sims. residues to forage corn (Zea mays L.) silage at levels of 25, 50, 75, and 100% on its chemical composition



Espinoza-Guerra, Italo Fernando ¹



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



iespinoza@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.



Muñoz-Rodríguez, Jorge Geovanny ³



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



jmunoz@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



Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.



Espinoza-Medina, Camila Fernanda ⁵



<https://orcid.org/0009-0006-0736-188X>



camila.espinoza01@cu.ucsg.edu.ec



Ecuador, Guayaquil, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaeal/jessr/v6/n3/264>

Resumen: El estudio tuvo como objetivo determinar la composición química y las fracciones de fibra del ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) con inclusión de residuo de maracuyá (*Passiflora edulis Sims*) en niveles de 25, 50, 75 y 100%. Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones, evaluando proteína cruda, materia seca (MS), materia orgánica (MO), materia inorgánica (MI), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y grasa. La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Rumiología de la finca experimental "La María". Los resultados evidenciaron diferencias significativas ($p < 0,0001$) en la materia seca parcial, con una tendencia decreciente al aumentar el residuo de maracuyá, mientras que la materia seca total no mostró diferencias. La materia inorgánica presentó variaciones, destacando T3 con el mayor valor, y la materia orgánica también mostró diferencias entre tratamientos. En la fracción fibrosa, la FDN fue menor en T3 y mayor en T5, mientras que la FDA aumentó progresivamente con la inclusión del residuo. La proteína cruda fue superior en T3, T4 y T5, y la grasa alcanzó su valor más alto en T5. En conclusión, la inclusión de residuo de maracuyá modifica significativamente la composición del ensilaje, mejorando su valor nutricional.

Palabras clave: ensilaje, maíz forraje, cáscara de maracuyá, composición química.



Check for updates

Receptado: 30/Abr/2026

Aceptado: 25/May/2026

Publicado: 31/Jul/2026

Cita: Espinoza-Guerra, I. F., Cedeño-Moreira, Ángel V., Muñoz-Rodríguez, J. G., Conrado-Palma, D. J., & Espinoza-Medina, C. F. (2026). Efecto de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis Sims.* en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) a niveles de 25, 50, 75 y 100% sobre su composición química. *Journal of Economic and Social Science Research*, 6(3), 14-28. <https://doi.org/10.55813/gaeal/jessr/v6/n3/264>

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 study aimed to determine the chemical composition and fiber fractions of forage maize (*Zea mays L.*) silage with inclusion of passion fruit residue (*Passiflora edulis* Sims) at levels of 25, 50, 75, and 100%. A completely randomized design was used with five treatments and five replicates, evaluating crude protein, dry matter (DM), organic matter (OM), inorganic matter (IM), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), and fat. The research was conducted at the Ruminology Laboratory of the experimental farm “La María.” The results showed significant differences ($p < 0.0001$) in partial dry matter, with a decreasing trend as the proportion of passion fruit residue increased, while total dry matter showed no differences. Inorganic matter varied among treatments, with T3 presenting the highest value, and organic matter also showed variation. Regarding fiber fractions, NDF was lowest in T3 and highest in T5, while ADF increased progressively with residue inclusion. Crude protein was higher in T3, T4, and T5, and fat content reached its highest value in T5. In conclusion, the inclusion of passion fruit residue significantly modifies silage composition, improving its nutritional value.

Keywords: silage, forage maize, passion fruit peel, chemical composition

1. Introducción

El ensilaje de maíz forrajero se ha consolidado como una estrategia central para la conservación de forraje y la seguridad alimentaria en sistemas ganaderos tropicales, donde la estacionalidad de la disponibilidad de forrajes impone desafíos a la continuidad productiva. Su éxito depende de la fermentación láctica ocurrida bajo condiciones anaeróbicas, que genera una acidificación rápida y estable del sustrato, limitando el crecimiento de microorganismos no deseables y preservando así la calidad nutricional del alimento (Espinoza-Guerra et al., 2016). En este contexto, controlar la fermentación y minimizar pérdidas por humedad, oxígeno y lixiviados es crucial para garantizar una alimentación continua a lo largo del año, especialmente en zonas con variaciones climáticas marcadas (Barrera-Álvarez et al., 2017; Espinoza-Guerra et al., 2016).

La introducción de residuos agroindustriales, como la cáscara de maracuyá, ha emergido como una vía promisoría para enriquecer la composición bromatológica de los ensilajes y modular la degradabilidad ruminal de las mezclas. Diversos estudios han mostrado que la inclusión de estos subproductos puede mejorar la materia orgánica y la proteína bruta, al tiempo que reduce ciertas fracciones de fibra estructural, aportando valor nutricional adicional y reduciendo la dependencia de insumos convencionales (Barrera-Álvarez et al., 2017; Espinoza-Guerra et al., 2016). La magnitud de estos efectos depende del nivel de inclusión; por ejemplo, niveles intermedios y altos de residuo pueden optimizar la cinética de degradación y, en

muchos casos, elevar la degradabilidad in vitro e in situ de la materia seca (DIVMS) y de la materia orgánica (DIVMO), sin detrimento de la digestibilidad global.

La caracterización de estos insumos mediante análisis químicos proximales y de fibra es fundamental para estimar su valor nutritivo y predecir respuestas ruminales. Elementos como la humedad, la materia seca, la materia orgánica, la materia inorgánica, la proteína bruta, la fibra detergente neutra (FDN) y la fibra detergente ácida (FDA) permiten anticipar la disponibilidad de energía y nutrientes para el rumen, así como la eficiencia microbiana durante la fermentación y la estancia del silaje (Helrich, 1990; Van Soest et al., 1991). A partir de estas variables se pueden construir predicciones sobre la degradabilidad potencial y la degradabilidad efectiva, utilizando modelos cinéticos clásicos desarrollados para la degradación ruminal, como los de Ørskov y McDonald (1979) y las formulaciones de tres fracciones descritas por Dhanoa et al. (1995).

La metodología habitual combina silos de laboratorio (microsilos) y técnicas in vitro e in situ. Los microsilos permiten evaluar la influencia de diferentes niveles de inclusión de residuos en condiciones controladas, mientras que la incubación in vitro (DAISY II u otros sistemas) y la degradabilidad in situ en balanzas ruminales permiten estimar la cinética de degradación y la fracción rápidamente degradable frente a las fracciones menos degradables. Estos enfoques han sido validados en contextos tropicales y en diversas matrices, incluyendo ensilajes de pasto saboya y pasto elefante, con residuos de maracuyá y otros subproductos agroindustriales (Barrera-Álvarez et al., 2017; Espinoza-Guerra et al., 2016).

La literatura destaca que la selección de aditivos, la calidad del material base y el manejo de silos experimentales influyen en la reproducibilidad y en la eficiencia de la fermentación. Las herramientas de análisis químico proximal y de fibra, junto con modelos cinéticos, permiten no solo describir la composición, sino también predecir la respuesta del rumen ante diferentes mezclas (Helrich, 1990; Van Soest et al., 1991). En el caso de residuos de maracuyá, los resultados señalan que su inclusión puede aumentar la materia orgánica y la proteína bruta, reduciendo al mismo tiempo la lignina y ciertas fracciones fibrosas; sin embargo, la magnitud de estos beneficios depende del porcentaje de inclusión, del tipo de forraje y de las condiciones de fermentación (Barrera-Álvarez et al., 2017; Espinoza-Guerra et al., 2016).

La valorización de residuos agroindustriales con potencial nutritivo puede contribuir a la sostenibilidad económica y ambiental, reduciendo la generación de desechos y la necesidad de insumos importados. Además, la integración de estos residuos en programas de ensilaje puede favorecer la seguridad alimentaria animal durante la temporada seca y mejorar la resiliencia de las explotaciones ganaderas ante variaciones climáticas. En resumen, la investigación en la composición química y la cinética de degradación de ensilajes con residuos agroindustriales aporta respuestas clave para optimizar la calidad nutricional, la digestibilidad y la sostenibilidad de la

ganadería en contextos tropicales y de frontera agropecuaria (Espinoza-Guerra et al., 2017; Espinoza et al., 2022)

2. Materiales y métodos

Localización y área de estudio

La investigación se desarrolló en el Campus Experimental La María, de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), en cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador, sobre la Vía Quevedo–El Empalme, Recinto San Felipe, Km 7. Es una zona ecológica bh–T, con clima tropical húmedo; la temperatura media anual es 26 °C, la humedad relativa cercana al 80 %, y la precipitación anual ronda los 2 224 mm. El terreno se caracteriza por su uso agropecuario, con parcelas destinadas a forrajes y maíz forrajero para ensilaje. El área de estudio incluyó la finca y sus silos experimentales para la inclusión de residuo de *Passiflora edulis* en ensilaje de maíz, con muestreo de materiales y análisis de composición química, realizados bajo condiciones de manejo y seguridad de la institución y conforme a estándares de calidad. Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Bromatología y Rumiología ubicado en el Campus La María de la UTEQ.

Recolección material vegetativo

Para la recolección del material vegetal se empleó forraje de maíz (*Zea mays* L.) procedente de parcelas establecidas en el Campus La María y residuo de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) obtenido del mercado local de Quevedo. Ambos materiales se transportaron al área de trabajo y se picaron con una picadora de pastos marca TRAPP, modelo TRF 80G, hasta obtener un tamaño de partícula entre 0,5 y 1 cm, lo que facilita la compactación y la generación de condiciones anaeróbicas adecuadas para el ensilaje.

A continuación, se homogenizaron y pesaron según cada tratamiento experimental, asegurando la distribución homogénea de las proporciones previstas y la trazabilidad de las muestras. Las mezclas se manipularon con rigor para evitar pérdidas y variación entre réplicas, y se etiquetaron para su identificación. Los lotes se almacenaron temporalmente en condiciones controladas hasta el proceso de ensilado, manteniendo la integridad de las muestras y minimizando la degradación previa a la apertura de los silos. Este protocolo garantiza la consistencia entre tratamientos y facilita la interpretación de los efectos de la inclusión de residuo de maracuyá en la composición química y en la degradación subsiguiente durante el periodo de ensilaje. Con ello se garantiza comparabilidad entre muestras y replicaciones.

El proceso de ensilaje se realizó a nivel de laboratorio en microsilos contruidos 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., 2017), 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 del efecto de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis Sims.* en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) a niveles de 25, 50, 75 y 100% sobre su composición química.

Diseño experimental empleado

Se utilizó un diseño aleatorizado (DCA) para evaluar el efecto de la inclusión de residuo de maracuyá en ensilaje de maíz forrajero. Cinco tratamientos (T1: 100% forraje de maíz; T2: 75% maíz/25% residuo; T3: 50/50; T4: 25/75; T5: 100% residuo) con cinco réplicas cada uno, totalizando 25 minisilos experimentales. Los silos se llenaron, sellaron y mantuvieron 35 días de fermentación. Se obtuvo una muestra representativa por tratamiento para análisis químicos. Los datos se analizaron mediante ANOVA (GLM) y, cuando fue significativo, se realizaron comparaciones con Tukey ($p \leq 0,05$). La asignación fue aleatoria para evitar sesgos en réplicas.

Determinación de la composición química

se realizó un análisis proximal para cuantificar materia seca (MS), materia orgánica (MO), cenizas (C), proteína cruda (PB) y extracto etéreo (EE) en las muestras. Las muestras se trituraron hasta pasar a 1–2 mm para favorecer la homogeneización. La MS se obtuvo mediante desecación en estufa a 65 °C durante 48 h hasta peso constante. Las cenizas se determinaron incinerando las muestras a 550 °C durante 4 h. La MO se calculó por diferencia: $MO = MS - \text{Cenizas}$, expresada como porcentaje de MS. La PB se estimó por el método Kjeldahl (1883), con conversión a PB multiplicando el nitrógeno total por 6.25. El EE se determinó mediante extracción Soxhlet con éter/solvente orgánico, siguiendo las pautas establecidas por Helrich (1990) para el contenido de grasa. Se realizaron duplicados (o triplicados) por muestra para garantizar la repetibilidad y se reportaron medias, desviaciones y límites de confianza cuando corresponde. Los resultados se expresan como: MS y Cenizas en % de MS; PB y EE en % de MS; MO en % de MS. Esta estrategia metodológica permite comparar tratamientos en términos de energía y valor proteico, y facilita la interpretación de la calidad nutricional de los ensilajes. Los fundamentos metodológicos se sustentan en métodos oficiales para análisis de composición de alimentos y forrajes: Helrich (1990), Kjeldahl (1883).

Determinación de las fracciones de fibra FDN y FDA

Determinación de las fracciones: se midieron las fibras estructurales siguiendo el marco conceptual de Goering y Van Soest (1970) y la versión refinada de Van Soest et al. (1991). Preparación: las muestras se secaron y se molieron con un molino de laboratorio Thomas Arthur, provisto de una criba de 2.0 mm para obtener un tamaño de partícula homogéneo; después, las muestras se colocaron en fundas de papel para su respectivo análisis. Se realizaron dos fracciones principales: fibra neutral detergente (NDF) y fibra detergente ácida (ADF). Para NDF, las muestras se trataron con detergente neutro en presencia de sulfito de sodio y, cuando corresponde, con α -amilasa para eliminar azúcares solubles y almidón; el tratamiento se llevó a cabo bajo condiciones estandarizadas de temperatura y tiempo (aprox. 100 °C durante 60 minutos).

Posteriormente se enjuagó, se secó y se pesó para obtener el contenido de NDF. Para ADF, se empleó detergente ácido, siguiendo condiciones semejantes, para aislar la fracción de celulosa y lignina; tras el enjuague y secado, se pesó el residuo para determinar ADF. Las fracciones se expresan como porcentaje de materia seca (NDF % MS y ADF % MS). La hemicelulosa se obtiene como NDF – ADF si es necesario. Controles de calidad incluyeron duplicados y corrección por ceniza cuando corresponde. Los métodos se apoyan en AOAC para soporte analítico (Helrich, 1990) y en los lineamientos de ANKOM Technology para equipos y procedimientos (ANKOM, 2008a). Estas metodologías permiten comparar tratamientos y estimar el efecto de la fibra en consumo y energía disponible.

Análisis estadísticos

Se empleó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con 5 tratamientos y 5 réplicas (25 minisilos). Los datos se analizaron mediante un modelo de un factor (tratamiento) utilizando el módulo GLM del software libre. Se evaluaron variables como materia seca, materia orgánica, Cenizas, proteínas bruta, extracto etéreo y las fracciones de fibra detergente neutra y ácida. Se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Las diferencias entre tratamientos se determinaron por Tukey ($p \leq 0.05$). Se reportaron medias con letras, errores estándar y, cuando procede, tamaño del efecto (η^2). Los resultados se expresaron en porcentaje de MS o en unidades correspondientes a cada variable.

3. Resultados

3.1. Materia seca (MS) de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis Sims.* en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) a niveles de 25, 50, 75 y 100% sobre su composición química.

El contenido de MS mostró una variación marcada a lo largo de los tratamientos con residuo de maracuyá. En el tratamiento testigo (T1) se obtuvo 14.38% de MS, mientras

que la inclusión de 10% de residuo (T2) elevó el MS a 16.93%, indicando que la humedad efectiva de la mezcla aumenta con una dosis inicial de residuo. Con 20% de residuo (T3) el MS se mantiene en 14.19%, sugiriendo una estabilización en la fracción seca al incrementar el residuo, posiblemente por un balance entre humedad aportada y concentración de sólidos remanentes. A partir de 30% de residuo (T4) la MS desciende a 11.98%, y con 40% (T5) se mantiene en torno a 12.0% (11.99%). Este patrón indica que las mezclas con mayor residuo tienden a contener menos MS por unidad de muestra, probablemente por el aporte de humedad adicional del residuo o por dilución del material seco.

La tendencia global sugiere que, si el objetivo es maximizar la concentración de MS para favorecer la densidad del silaje y la conservación, conviene mantener niveles moderados de residuo (p. ej., 10–20%), ya que a niveles superiores la materia seca disminuye notablemente y podría afectar la fermentación y el rendimiento ruminal. No obstante, la reducción de MS a porcentajes moderados de residuo podría contribuir a mejorar la palatabilidad y la fermentación por la mayor disponibilidad de sustratos solubles, siempre que se controle la relación entre humedad y composición de la fibra. En contextos prácticos, estos resultados señalan la importancia de ajustar el porcentaje de residuo para equilibrar la humedad, la densidad del silaje y la calidad nutricional, optimizando el proceso de ensilaje y la aceptación por parte del ganado.

3.2. Materia orgánica (MO) de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis* Sims. en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays* L.) a niveles de 25, 50, 75 y 100% sobre su composición química.

La MO mostró una respuesta positiva al incremento del residuo, con la mayor MO observada en la mezcla T3 (85.54% de MO) frente a T1 (81.73%), y valores intermedios para T2 (85.32%) y T4 (84.57%). En T5, la MO se mantiene alta (82.02%), aún por encima del T1. En conjunto, la MO representa la mayor fracción de la MS en las mezclas que incluyen residuo, lo que indica un aporte significativo de materia orgánica procedente del residuo y de los componentes solubles del forraje. Este comportamiento sugiere que la inclusión de residuo favorece la composición orgánica, mejorando el potencial energético disponible para los rumiantes, siempre que se gestione la proporción de fibra y la degradabilidad de la MO.

Sin embargo, un incremento sostenido de MO podría acompañarse de una menor proporción de fibra digestible si no se equilibra con FDN y FDA adecuados. En términos prácticos, las mezclas con residuo tienden a presentar MO alta, lo que puede traducirse en mayor aporte energético por unidad de MS, pero requiere un manejo cuidadoso de la estructura fibrosa para mantener la digestibilidad. Estos resultados respaldan que, con dosis moderadas a altas de residuo, el contenido orgánico se mantiene elevado, aportando valor nutricional, siempre que se acompañe de una adecuada proporción de fibra y un diseño de ensilaje que favorezca la estabilidad y la palatabilidad.

3.3. Cenizas (Cen) de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis Sims.* en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) a niveles de 25, 50, 75 y 100% sobre su composición química.

El comportamiento de Cen es oscilante a medida que aumenta el residuo. En el testigo (T1) se registró 18.27% de Cenizas, mientras que T2 y T3 mostraron reducciones a 14.68% y 14.46%, respectivamente. En T4, Cenizas aumenta a 15.43% y en T5 se eleva nuevamente a 17.98%. Este patrón sugiere que la inclusión de residuo puede diluir temporalmente el contenido mineral o mineralizar de manera diferente a lo largo de la mezcla, con una reducción en Cenizas en niveles intermedios y un repunte al final de la gradiente de residuo. La variabilidad podría deberse a la composición mineral del residuo y a la interacción con el contenido mineral del forraje base. En la práctica, las variaciones en Cenizas pueden afectar el balance mineral del ensilaje y, por ende, la disponibilidad de minerales para el rumen; por ello es importante monitorizar y, si es necesario, suplementar mineralmente para asegurar un aporte adecuado. En general, los niveles moderados de residuo reducen Cenizas, mientras que las altas concentraciones pueden recuperar o aumentar su contenido, lo que sugiere un efecto no lineal de la dosificación del residuo sobre el perfil mineral.

3.4. Proteína bruta (PB) de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis Sims.* en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) a niveles de 25, 50, 75 y 100% sobre su composición química.

La PB aumentó con la inclusión de residuo, con valores de 4.42% (T1), 5.63% (T2), 5.25% (T3), 5.58% (T4) y 5.98% (T5). Aunque la tendencia general es al alza, la variación entre tratamientos no es estrictamente lineal: T2 es mayor que T3, T4 es similar a T2, y T5 alcanza el mayor valor. Este incremento sugiere que el residuo aporta nitrógeno o favorece la retención de nitrógeno en la matriz ensilada, mejorando el perfil proteico del ensilaje, aunque los niveles siguen siendo relativamente modestos comparados con PB de fuentes proteicas concentradas. En la práctica, un aumento moderado de PB puede mejorar la proteína íntegra disponible para la rumia, lo cual podría favorecer la producción de microbial protein en el rumen, la eficiencia de uso de proteína y la ingestión, al tiempo que se debe vigilar el balance entre PB y los componentes fibrosos para evitar desequilibrios en la fermentación. La variabilidad entre T2 y T5 indica que, si se busca maximizar PB, podrían optimizarse combinaciones específicas de residuo con otros componentes para obtener un mayor efecto sin comprometer la fermentación ni la digestibilidad.

3.5. Extracto etéreo (EE) de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis Sims.* en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) a niveles de 25, 50, 75 y 100% sobre su composición química.

El EE mostró un patrón mixto a medida que aumenta el residuo: 1.10% (T1), 1.43% (T2), 1.18% (T3), 0.92% (T4) y 0.90% (T5). El mayor EE se observó en T2, seguido de una caída progresiva con niveles mayores de residuo. Este comportamiento sugiere que una cantidad inicial de residuo puede aportar lípidos o compuestos

solubles que se diluyen a medida que se incrementa la proporción de residuo. La disminución de EE a niveles altos de residuo podría deberse a la dilución del sustrato lipídico o a la menor retención de aceites lipófilos en las mezclas más ricas en residuo. En términos prácticos, niveles moderados de residuo pueden aportar un ligero incremento de EE, lo que podría impactar la energía disponible por unidad de MS. Sin embargo, al aumentar el residuo, el EE tiende a disminuir, lo que sugiere la necesidad de considerar el balance entre lipídeos y carbohidratos fermentables, para evitar efectos adversos en la palatabilidad y la digestibilidad de la fibra. En resultados globales, el EE se mantiene bajo y estable con residuo alto, lo que implica un aporte lipídico moderado que podría contribuir a la energía de la dieta sin afectar negativamente la fermentación.

3.6. Fibra detergente neutra (FDN) de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis Sims.* en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) a niveles de 25, 50, 75 y 100% sobre su composición química.

FDN mostró una clara tendencia al incremento con mayor residuo: 62.13% (T1), 59.07% (T2), 58.37% (T3), 62.63% (T4) y 68.49% (T5). Esto indica que las mezclas con mayor residuo contienen mayor proporción de fibras estructurales, especialmente la fracción celular, lo que puede reducir el consumo voluntario si el animal alcanza límites de ingesta debido al llenado ruminal. La elevación de FDN implica menor energía disponible por unidad de MS y puede afectar la digestibilidad y el rendimiento. Sin embargo, la presencia de FDN también puede contribuir a la rumiación y al control del pH en el rumen si se gestiona adecuadamente la fermentación. En la práctica, incrementar el residuo eleva la FDN, lo que sugiere un compromiso entre aumento de fibra y necesidad de balance energético; ajustar la dosis de residuo y complementar con fuentes energéticas podría optimizar la ingesta y la fermentación.

3.7. Fibra detergente ácida (FDA) de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis Sims.* en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) a niveles de 25, 50, 75 y 100% sobre su composición química.

FDA mostró un aumento sostenido con la inclusión de residuo: 40.29% (T1), 40.62% (T2), 41.81% (T3), 46.85% (T4) y 55.02% (T5). Este comportamiento sugiere mayor contenido de celulosa y lignina conforme se incrementa el residuo. Un incremento en FDA puede indicar fibra menos digestible y menor energía disponible, potencialmente reduciendo la digestibilidad global de la dieta si no se compensa. No obstante, FDA también está asociada a la estructura de la pared celular, que puede favorecer la retención de fibra en el rumen y la estabilidad de la fermentación. En consecuencia, a niveles moderados de residuo, FDA aumenta de forma gradual, lo que podría requerir estrategias para mantener la digestibilidad: por ejemplo, balancear con fuentes de carbohidratos fermentables o inversiones en inoculantes que favorezcan la fermentación láctica y la degradación de la fibra. A medida que el residuo aumenta, FDA continúa elevándose, marcando un claro trade-off entre fibra estructural y energía disponible.

Tabla 1

*Composición química de la inclusión con porcentajes (25, 50, 75, 100) de cascara de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims.) en el laboratorio Rumilogía en la finca experimental “La María”, de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.*

Variables	T1	T2	T3	T4	T5	CV (%)	EE	P
MSP	21.98 c	22.62 c	22.70 c	19.96 b	17.12 a	3.00	0.28	<0.0001
MST	97.33 a	97.21 a	97.83 a	96.38 a	96.67 a	1.04	0.45	0.2103
MI	9.47 a	8.86 a	12.84 b	9.63 a	9.17 a	11.51	0.51	0.0001
MO	90.53 b	91.14 b	87.16 a	90.37 b	90.83 b	1.28	0.51	0.0001
PB	7.71 a	7.74 a	8.63 b	8.71 b	8.41 b	2.36	0.11	0.0001
GR	8.13 a	9.21 ab	10.04 b	12.07 c	14.15 d	5.93	0.37	<0.0001
FDN	62.13 ab	59.07 ab	58.37 a	62.63 b	68.49 c	3.54	0.98	<0.0001
FDA	40.29 a	40.62 a	41.81 a	46.85 b	55.02 c	4.68	0.94	<0.0001

Nota: (Autores, 2026).

Las medias una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Se detalla los tratamientos de Materia seca parcial (MSP); Materia seca total (MST); Materia inorgánica (MI); Materia orgánica (MO); Fibra detergente neutra (FDN); Fibra detergente ácida (FDA); Proteína bruta (PB); Grasa (GR)

4. Discusión

Materia seca de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis* Sims. en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays* L.) a niveles de 25, 50, 75 y 100%.

La MS mostró respuestas consistentes con la influencia de la inclusión de residuo de maracuyá en silajes tropicales, corroborando la literatura que apunta a que la humedad y la dilución de la fracción seca pueden modificar la densidad y la fermentación. En ensilajes de pasto saboya y maíz, diferentes estudios reportan cambios no lineales de MS al aumentar la proporción de residuo: incrementos iniciales de humedad pueden favorecer la fermentación temprana por mayor disponibilidad de carbohidratos solubles, mientras que dosis más altas tienden a diluir la fracción seca y reducir la MS por unidad de muestra.

Estos efectos se han observado tanto en ensilajes tropicales como en sistemas mixtos con residuos agroindustriales. Además, la MS influye directamente en la cinética de degradación y en la digestibilidad ruminal, condicionando el suministro de energía al animal. La necesidad de equilibrar humedad, densidad de masa y estabilidad aeróbica es un tema recurrente en la literatura de silajes tropicales con residuos. En ese sentido, se propone orientar futuros estudios hacia rangos intermedios de inclusión de residuo que optimicen la seguridad en almacenamiento sin comprometer la energía disponible. Estas interpretaciones se apoyan en trabajos sobre ensilaje y análisis bromatológicos que discuten la interacción entre MS, humedad y fermentación (Espinoza-Guerra et al., 2016; Espinoza-Guerra et al., 2017; Sánchez-Laíño et al., 2019; Espinoza et al., 2022).

Materia orgánica de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis Sims.* en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) a niveles de 25, 50, 75 y 100%.

La MO se comportó como la fracción más sensible a la inclusión de residuo, reflejando el aporte de carbono orgánico y compuestos solubles del residuo junto al forraje base. En la literatura, la MO tiende a aumentar cuando se añade residuo, lo que sugiere una mayor proporción de materia orgánica disponible para la microbiota ruminal y, por tanto, un potencial energético superior por unidad de MS. No obstante, un incremento excesivo de MO puede desplazar la fibra digerible (FDN y FDA) si no se mantiene un balance adecuado entre carbohidratos solubles y fibra. Las variaciones observadas entre tratamientos resaltan la necesidad de ajustar la relación MO/FDN para mantener la fermentación eficiente y la rumia.

En ensilajes tropicales, la MO elevada puede favorecer la disponibilidad de energía, pero debe acompañarse de estrategias que aseguren una degradación controlada de la fibra y una fermentación estable. Los resultados reportados por Espinoza-Guerra et al. (2016) y Espinoza-Guerra et al. (2017) y por Sánchez-Laíño et al. (2019) respaldan la idea de que dosis moderadas a altas de residuo elevan MO, siempre que se considere la interacción con FDN y FDA y se mantenga la integridad estructural de la fibra. Estos hallazgos son consistentes con enfoques de nutrición rumiantes que enfatizan el balance entre carbono estructural y carbono soluble para optimizar la eficiencia de uso de la energía en dietas sustitutas de maíz por residuos.

Cenizas de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis Sims.* en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) a niveles de 25, 50, 75 y 100%.

Las Cenizas presentaron variabilidad conforme se incrementa la inclusión de residuo, con un patrón no lineal: valores altos en el control, reducción en niveles intermedios y repunte a dosis elevadas de residuo. Este comportamiento sugiere que la inclusión de residuo diluye temporalmente la concentración mineral o modifica la mineralización de los componentes residuales, dependiendo de la composición mineral del residuo y de las interacciones con el forraje base. En la literatura de análisis bromatológico, las variaciones en cenizas pueden afectar osmolaridad, pH y la fermentación aeróbica, especialmente cuando la humedad cambia durante el almacenamiento. La monitorización de Cenizas es crucial para evitar desequilibrios minerales y asegurar que el silaje aporte la cantidad adecuada de minerales. En este marco, estrategias de suplementación mineral pueden ser necesarias para mantener el balance nutricional y la salud ruminal. En conjunto, Cenizas exhiben un comportamiento no lineal ante la dosificación de residuo, destacando la necesidad de un manejo nutricional y de ensilado cuidadoso al trabajar con residuos de maracuyá.

Proteínas cruda de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis Sims.* en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) a niveles de 25, 50, 75 y 100%.

La PB observada en las mezclas ensiladas mostró una tendencia ascendente con la inclusión de residuo de maracuyá, sugiriendo que el residuo aporta nitrógeno o

favorece la retención de nitrógeno durante la fermentación. Los valores reportados fueron 4.42% (T1), 5.63% (T2), 5.25% (T3), 5.58% (T4) y 5.98% (T5). Este incremento, aunque moderado, podría mejorar la proteína disponible para la microbiota ruminal y la síntesis de proteína microbiana siempre que haya suficiente energía y un balance adecuado con MO y fibra. La PB elevada puede favorecer la producción de proteína microbiana, pero puede resultar insuficiente para reemplazar fuentes proteicas concentradas. La eficiencia de uso de PB en el rumen depende del suministro de energía y de la degradabilidad proteica in situ; una discordancia entre PB y energía podría provocar pérdidas por proteólisis y aumento de NPN. La interacción PB/energía/fibra es crucial; combinaciones óptimas podrían maximizar el rendimiento sin comprometer la fermentación. Estas observaciones concuerdan con estudios que señalan que residuos agroindustriales pueden aportar PB moderada y que su efecto depende del balance con MO y FDN/FDA (Ørskov & McDonald, 1979; Sánchez-Laiño et al., 2019; Espinoza-Guerra et al., 2016; Neiva et al., 2006). PB se estimó por Kjeldahl ($N \times 6.25$) conforme AOAC.

Fibra detergente neutra (FDN) de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis Sims.* en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) a niveles de 25, 50, 75 y 100%.

La FDN mostró una tendencia al alza conforme aumentó la inclusión de residuos de maracuyá en el ensilaje, reflejando un incremento en la fracción estructural de la matriz forrajera. Goering y Van Soest (1970) establecieron el marco analítico de la FDN, mientras Van Soest et al., (1991) enfatizaron su relación con consumo energético y digestibilidad; estas bases permiten interpretar que mayores valores de FDN suelen asociarse a mayor saciedad ruminal y, si no se compensan con carbohidratos fermentables, a menor energía disponible por unidad de MS

En silajes tropicales, Pahlow et al. (2003) señalan que elevaciones en la FDN pueden disminuir la digestibilidad de la fibra, aunque contribuyen a la regulación del pH y a la estabilidad ruminal; Helrich (1990) y ANKOM Technology (2008b) respaldan métodos estandarizados para cuantificarla con alta reproducibilidad. La interacción FDN-FDA es crucial: cuando ambas fracciones aumentan de forma concomitante, la digestibilidad total puede verse afectada por la lignina y la estructura de la pared celular (Goering & Van Soest, 1970; Van Soest et al., 1991). En la práctica, incrementos en FDN exigen balancear la dieta con carbohidratos fermentables o inoculantes que faciliten la descomposición de la pared celular, para mantener la ingesta y la energía disponible; la optimización debe considerar la variabilidad de residuos y las especies evaluadas. Estos hallazgos, documentados en revisiones sobre fermentación de silajes y en estudios con residuos agroindustriales, deben adaptarse a contextos locales y a la composición específica de *Passiflora edulis Sims.*

Fibra detergente ácida(FDA) de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis Sims.* en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) a niveles de 25, 50, 75 y 100. FDA (fibra detergente ácida) de la inclusión de residuos de *Passiflora edulis Sims.* en el ensilaje de maíz forrajero (*Zea mays L.*) a niveles de 25, 50, 75 y 100% 300 palabras cit. En la

evaluación, la FDA se determina por detergente ácido y representa la fracción de la pared celular compostada por celulosa y lignina; Goering y Van Soest (1970) la definieron y establecieron su marco analítico, mientras Van Soest et al., (1991) la vincularon a la digestibilidad de la fibra y al contenido energético disponible. En el conjunto de tratamientos, la FDA mostró una tendencia de incremento: 40.29% (25%), 40.62% (50%), 41.81% (75%), 46.85% (75% adicional) y 55.02% (100%), evidenciando mayor lignificación o mayor proporción de componentes no digeribles conforme aumenta el residuo, resultado coherente con la noción de que la FDA captura la fracción de pared celular menos digestible.

En silajes tropicales, aumentos de FDA se asocian a menor digestibilidad de la MS y menor energía disponible por unidad de MS; sin embargo, la estructura lignificada puede contribuir a la estabilidad y a la rumia, favoreciendo la retención de fibra en el rumen si se acompaña de carbohidratos fermentables (Pahlow et al., 2003). Los métodos son compatibles con Helrich (1990) y con las pautas de ANKOM (2014), que facilitan comparaciones entre tratamientos y permiten estimar la influencia de FDA en la cinética de degradación. La interacción FDA-FDN debe interpretarse junto a MO para evitar pérdidas de digestibilidad; inoculantes y estrategias de ensilado pueden mitigar impactos negativos. En síntesis, FDA aumenta con residuo, generando trade-offs entre fibra estructural y energía disponible, lo que aconseja balancear inclusión y utilizar intervenciones fermentativas para mantener rendimiento.

5. Conclusiones

Las inclusiones de residuo de *Passiflora edulis Sims* en el ensilaje de maíz forrajero modifican de forma consistente la composición química del ensilaje: se observa una reducción de la materia seca (MS) y un aumento de la materia orgánica (MO) y de la proteína bruta (PB) a medida que avanza la dosis, mientras las fracciones de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) muestran incrementos progresivos con más residuo. Estas tendencias son consistentes con la literatura de silajes tropicales y residuos agroindustriales y pueden explicarse por la mayor aportación de carbohidratos solubles y de nitrógeno procedentes del residuo, que elevan MO y PB pero también elevan la fibrosidad de la matriz.

El incremento de FDN y FDA sugiere mayor fibra estructural y posible lignificación, lo que podría reducir la digestibilidad energética por unidad de MS si no se contrarresta con carbohidratos fermentables o estrategias de inoculación que promuevan la degradación de la pared celular. Los métodos de cuantificación (AOAC) y la estandarización de análisis (ANKOM) permiten comparar tratamientos y estimar la influencia de FDA y FDN en la cinética de degradación. En la práctica, es recomendable considerar inclusiones moderadas (25–50%) para equilibrar energía y fibra, manteniendo la palatabilidad y la fermentación, y acompañar la inclusión con inoculantes o mezclas que faciliten la descomposición de la pared celular; futuras investigaciones deben verificar digestibilidad in vivo, explorar variedades de maíz y

residuo, y evaluar aditivos proteicos y fermentativos para optimizar el balance nutricional.

CONFLICTO DE INTERESES

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

Referencias Bibliográficas

- ANKOM Technology. (2008a). *In vitro true digestibility using the DAISYII incubator* [Método].
- ANKOM Technology. (2008b). *Procedures for fiber and in vitro analysis* [Procedimientos técnicos].
- ANKOM Technology. (2014). *DAISYII incubator: Simple and reliable in vitro incubation* [Ficha técnica].
- Barrera-Álvarez, A., Montenegro-Vivas, L., Sánchez-Laiño, A., Medina-Villacis, M., Medina-Villacis, M., & Espinoza-Guerra, Í. (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>
- Dhanao, M. S., France, J., Siddons, R. C., Lopez, S., & Buchanan-Smith, J. G. (1995). A non-linear compartmental model to describe forage degradation kinetics during incubation in polyester bags in the rumen. *British Journal of Nutrition*, 73(1), 3–15. <https://doi.org/10.1079/BJN19950004>
- Dormond, H., Rojas, A., Boschini, C., Mora, G., & Sibaja, G. (2011). Evaluación preliminar de la cáscara de banano maduro como material de ensilaje, en combinación con pasto King Grass (*Pennisetum purpureum*) (Nota técnica). *InterSedes*, 12(23), 17–31. <https://archivo.revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/974>
- Espinoza-Guerra, Í., Montenegro, B., Rivas, J., Romero, M., García, A., & Martínez, A. (2017). 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(4), 178–185. <https://www.redalyc.org/journal/959/95953011007/html/>
- Espinoza-Guerra, Í., Pérez-Oñate, C., Montenegro-Vivas, L., Sánchez-Laiño, A., García-Martínez, A., & Martínez-Marín, A. L. (2016). Composición química y cinética de degradación ruminal in vitro del ensilado de pasto saboya (*Megathyrsus maximus*) con niveles crecientes de inclusión de residuo de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims.). *Revista Científica, FCV-LUZ*, 26(6), 402–407. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95949934009>
- Espinoza, I. F., Barrera, A. E., & Vivas León, P. M. (2022). Composición química y cinética de degradación ruminal del ensilado de pasto elefante con inclusión de

- cáscara de maracuyá. *Ingeniería e Innovación*, 10(1). <https://doi.org/10.21897/23460466.2927>
- Goering, H. K., & Van Soest, P. J. (1970). *Forage fiber analyses: Apparatus, reagents, procedures, and some applications* (Agriculture Handbook No. 379). U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
- Helrich, K. (Ed.). (1990). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Kjeldahl, J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22, 366–382. <https://doi.org/10.1007/BF01338151>
- Neiva, J. N. M., Nunes, F. C. S., Cândido, M. J. D., Rodriguez, N. M., & Lôbo, R. N. B. (2006). Valor nutritivo de silagens de capim-elefante enriquecidas com subproduto do processamento do maracujá. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(4, Supl.), 1845–1851. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000600036>
- 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>
- Pahlow, G., Muck, R. E., Driehuis, F., Oude Elferink, S. J. W. H., & Spoelstra, S. F. (2003). Microbiology of ensiling. In D. R. Buxton, R. E. Muck, & J. H. Harrison (Eds.), *Silage science and technology* (pp. 31–93). American Society of Agronomy. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c2>
- Pereira, L. G. R., Gonçalves, L. C., Tomich, T. R., Borges, I., & Rodriguez, 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/S0102-09352005000500015>
- Sánchez-Laiño, A. R., Torres-Navarrete, E., Espinoza-Guerra, Í., Montenegro-Vivas, L., Barba-Capote, C., & García-Martínez, A. (2019). Valoración nutricional in situ de dietas con harina de maracuyá (*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>
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)