

**Composición química y valor nutricional de ensilajes de
Pennisetum purpureum con inclusión de residuos de piña (*Ananas
comosus*)**

**Chemical Composition and Nutritional Value of *Pennisetum purpureum*
Silages Incorporating Pineapple (*Ananas comosus*) Residues**

**Composição química e valor nutricional de ensilados de *Pennisetum
purpureum* com inclusão de resíduos de ananás (*Ananas comosus*)**

Muñoz-Rodríguez, Jorge Geovanny
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

jmunoz@uteq.edu.ec

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



Donca-Laje, Victoria Mercedes
Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

doncalajevictoria09@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-9174-1324>



Intriago-Mariño, Jessica Aracely
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

aracely1984@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-6555-6573>



Leones-Chiang, Marlon Jose
Investigador Independiente

marlonleoneschiang@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-3506-942X>



Bone-Flores, Denisse Stefania
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

denisse.bone2015@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0007-9148-1653>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v7/n1/1591>

Como citar:

Muñoz-Rodríguez, J. G., Donca-Laje, V. M., Intriago-Mariño, J. A., Leones-Chiang, M. J., & Bone-Flores, D. S. (2026). Composición química y valor nutricional de ensilajes de *Pennisetum purpureum* con inclusión de residuos de piña (*Ananas comosus*). *Código Científico Revista De Investigación*, 7(1), 3053–3067.

Recibido: 28/05/2026

Aceptado: 24/06/2026

Publicado: 30/06/2026

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la composición química y el valor nutricional del ensilaje de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) incorporado con diferentes proporciones de residuos de piña (*Ananas comosus*) como una alternativa sostenible para la producción ganadera en zonas tropicales. Se utilizó un diseño completamente al azar con ocho tratamientos y cinco repeticiones, para un total de 40 microsilos. Los tratamientos incluyeron ensilajes elaborados con pasto elefante, residuos de piña y mezclas de ambos materiales en diferentes edades de rebrote (30, 40 y 50 días). La composición química fue determinada mediante metodologías AOAC y ANKOM, y los datos fueron analizados mediante ANOVA y prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Se detectaron diferencias altamente significativas entre tratamientos para todas las variables evaluadas ($p < 0,0001$). El tratamiento T1 presentó los mayores contenidos de fibra detergente neutra (71,68%), fibra detergente ácida (35,14%) y energía cruda ($6,21 \text{ Mcal kg}^{-1}$). Por su parte, T2 registró la mayor humedad (95,4%) y los menores valores de proteína cruda (8,97%), FDN (28,1%) y FDA (9,35%). Los tratamientos T6 y T7 mostraron los mayores contenidos de proteína cruda (12,7% y 12,2%, respectivamente), mientras que T7 y T8 presentaron menor humedad y mayor concentración de materia mineral. Se concluye que la incorporación de residuos agroindustriales de piña en el ensilaje de pasto elefante modifica significativamente su composición bromatológica, reduciendo las fracciones fibrosas estructurales. Las formulaciones T6 y T7 presentaron mayores contenidos de proteína cruda y materia mineral bajo condiciones tropicales húmedas.

Palabras clave: Residuos agroindustriales; alimentación animal alternativa; análisis bromatológico; conservación de forrajes; ensilaje mixto; producción pecuaria tropical.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the chemical composition and nutritional value of elephant grass (*Pennisetum purpureum*) silage containing different proportions of pineapple (*Ananas comosus*) residues as a sustainable alternative for livestock production in tropical regions. A completely randomized design with eight treatments and five replicates was used, totaling 40 microsilos. Treatments included silages prepared with elephant grass, pineapple residues, and mixtures of both materials at different regrowth ages (30, 40, and 50 days). Chemical composition was determined using AOAC and ANKOM methodologies, and data were analyzed by ANOVA and Tukey's test ($p \leq 0.05$). Highly significant differences were detected among treatments for all evaluated variables ($p < 0.0001$). Treatment T1 showed the highest contents of neutral detergent fiber (71.68%), acid detergent fiber (35.14%), and gross energy ($6.21 \text{ Mcal kg}^{-1}$). In contrast, T2 recorded the highest moisture content (95.4%) and the lowest crude protein (8.97%), NDF (28.1%), and ADF (9.35%) values. Treatments T6 and T7 exhibited the highest crude protein contents (12.7% and 12.2%, respectively), whereas T7 and T8 showed lower moisture contents and higher mineral matter concentrations. It is concluded that the incorporation of agro-industrial pineapple residues into elephant grass silage significantly altered its chemical composition by reducing structural fiber fractions. Formulations T6 and T7 exhibited higher crude protein and mineral matter contents under humid tropical conditions.

Keywords: Agro-industrial by-products; alternative animal feeding; bromatological analysis; forage conservation; mixed silage; tropical livestock production.

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar a composição química e o valor nutricional da silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) contendo diferentes proporções de resíduos de ananás (*Ananas comosus*) como alternativa sustentável para a produção pecuária em regiões tropicais. Foi utilizado um plano experimental completamente aleatório com oito tratamentos e cinco réplicas, totalizando 40 microsilos. Os tratamentos incluíram silagens preparadas com capim-elefante, resíduos de ananás e misturas de ambos os materiais em diferentes idades de rebrote (30, 40 e 50 dias). A composição química foi determinada utilizando as metodologias AOAC e ANKOM, e os dados foram analisados por ANOVA e pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Foram detetadas diferenças altamente significativas entre os tratamentos para todas as variáveis avaliadas ($p < 0,0001$). O tratamento T1 apresentou os teores mais elevados de fibra de detergente neutro (71,68 %), fibra de detergente ácido (35,14 %) e energia bruta (6,21 Mcal kg^{-1}). Em contrapartida, o tratamento T2 registou o maior teor de humidade (95,4%) e os valores mais baixos de proteína bruta (8,97%), NDF (28,1%) e ADF (9,35%). Os tratamentos T6 e T7 apresentaram os teores mais elevados de proteína bruta (12,7% e 12,2%, respetivamente), enquanto que o T7 e o T8 apresentaram teores de humidade mais baixos e concentrações mais elevadas de matéria mineral. Conclui-se que a incorporação de resíduos agroindustriais de ananás na silagem de capim-elefante alterou significativamente a sua composição química, reduzindo as frações de fibra estrutural. As formulações T6 e T7 apresentaram teores mais elevados de proteína bruta e matéria mineral em condições tropicais húmidas.

Palavras-chave: Subprodutos agroindustriais; alimentação animal alternativa; análise bromatológica; conservação de forragens; silagem mista; produção pecuária tropical.

Introducción

La optimización de recursos locales en la producción ganadera tropical representa un desafío apremiante debido al incremento constante en los costos de los insumos tradicionales y a la necesidad de transicionar hacia sistemas sostenibles (Jalal et al., 2025; Mohamad et al., 2023). El aprovechamiento de residuos agroindustriales emerge como una alternativa nutricional viable que reduce los gastos operativos y mitiga la huella contaminante de la industria de frutas (Li et al., 2024).

El cultivo de piña (*Ananas comosus*) genera un volumen sustancial de biomasa descartada como cáscaras y pulpas que equivalen aproximadamente al 60% de la producción total (Kiatti et al., 2023). Investigaciones previas señalan que estos subproductos conservan un valor energético considerable apto para el diseño de dietas zootécnicas (Alpízar & Elizondo-Salazar et al., 2019; Kiatti et al., 2023; López et al., 2014).

A pesar de sus bondades nutricionales, la utilización directa de los residuos de piña enfrenta restricciones debido a su excesiva humedad y alto contenido de carbohidratos solubles, factores que aceleran la degradación aeróbica del material fresco (Alpizar & Elizondo-Salazar et al., 2019; López et al., 2014). El ensilaje surge como la técnica de conservación idónea para estabilizar estos subproductos mediante una fermentación láctica controlada que disminuye con éxito el pH del material (Zhao et al., 2024).

Por otra parte, las gramíneas tropicales de alto rendimiento, como el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), constituyen la base forrajera esencial en las regiones tropicales (Avellaneda et al., 2022; Macay et al., 2025; Ordaz et al., 2024). No obstante, el valor proteico y mineral de este forraje decae drásticamente según avanza la madurez fenológica de la planta, requiriendo un manejo agronómico riguroso (Chand et al., 2022; Avellaneda et al., 2022; Moore et al., 2020).

Sin embargo, persiste una brecha científica respecto al efecto asociativo de combinar niveles crecientes de residuos de piña con forrajes del género *Pennisetum* sometidos a diferentes frecuencias de corte en un modelo de ensilaje mixto (Avellaneda et al., 2022). La mayoría de los reportes examinan estos componentes de forma aislada, obviando los cambios bromatológicos e interacciones que ocurren dentro del silo al mezclar fuentes altamente fibrosas con sustratos ricos en azúcares (Kiatti et al., 2023; López et al., 2014; Mohamad et al., 2023).

La presente investigación se justifica en la necesidad de diseñar raciones alimenticias que mejoren el perfil nutricional aprovechable y ofrezcan viabilidad económica a la ganadería de pequeña escala. Por consiguiente, el objetivo de este estudio es evaluar el efecto de la inclusión de residuos de piña y la edad de corte del pasto sobre la composición bromatológica de los ensilajes.

Metodología

Sitio experimental

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Rumiología del Campus “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ubicado en el cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador. La zona presenta condiciones climáticas tropicales, con una temperatura media anual de 25–26 °C y elevada humedad relativa, características representativas de los sistemas de producción pecuaria de la región costera ecuatoriana.

Recolección de la muestra

Los residuos de piña (*Ananas comosus*) fueron recolectados en centros de comercialización del cantón Quevedo, seleccionando material fresco y descartando aquellos con deterioro o contaminación. Antes del procesamiento, se eliminaron impurezas como tierra, plásticos y otros cuerpos extraños para garantizar la calidad del material para ensilaje. El pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) se obtuvo de parcelas experimentales establecidas en el Campus Experimental “La María” de la UTEQ.

El material forrajero fue cosechado a los 30, 40 y 50 días de rebrote según los tratamientos experimentales, seleccionando plantas homogéneas y representativas para reducir la variabilidad. El forraje y los residuos de piña fueron transportados al área de procesamiento y picados con una picadora de pastos TRAPP, modelo TRF 80G, hasta obtener partículas de 0,5–1,0 cm, favoreciendo la compactación y el establecimiento de condiciones anaeróbicas durante el ensilaje.

Todo el material experimental fue manipulado y almacenado conforme a los protocolos institucionales de bioseguridad y manejo de residuos orgánicos, asegurando condiciones adecuadas durante todo el proceso. Estas prácticas garantizaron la trazabilidad de las muestras y la preservación de su integridad, calidad y representatividad, con el fin de obtener resultados confiables en los análisis de laboratorio realizados posteriormente.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con ocho tratamientos y cinco repeticiones por tratamiento, totalizando 40 unidades experimentales (microsilos). Los tratamientos evaluados fueron: T1 = 100% pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) cosechado a los 40 días de rebrote; T2 = 100% residuo de pulpa de piña (*Ananas comosus*); T3 = 80% pasto elefante cosechado a los 30 días + 20% residuo de piña; T4 = 80% pasto elefante cosechado a los 40 días + 20% residuo de piña; T5 = 80% pasto elefante cosechado a los 50 días + 20% residuo de piña; T6 = 100% pasto elefante cosechado a los 30 días; T7 = 100% pasto elefante cosechado a los 40 días; y T8 = 100% pasto elefante cosechado a los 50 días.

Cada microsililo constituyó una unidad experimental independiente y permaneció en fermentación durante 35 días. Las variables analizadas fueron humedad, materia inorgánica, proteína cruda, fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y energía cruda. Los datos se analizaron mediante ANOVA, y cuando se detectaron diferencias significativas, las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad ($P \leq 0,05$), utilizando el software InfoStat versión 2020.

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 aproximada de 3 kg de material fresco. Las mezclas correspondientes a cada tratamiento fueron preparadas utilizando las proporciones previamente establecidas de pasto elefante y residuos de pulpa de piña.

Los materiales fueron compactados manualmente dentro de los microsilos para favorecer la expulsión del aire y posteriormente sellados mediante tapones de PVC equipados con válvulas tipo Bunsen adaptadas, tornillos de fijación y cinta de embalaje. El sistema experimental se basó en la metodología descrita por Pereira et al. (2005), incorporando las

modificaciones propuestas por Dormond et al. (2011) y Espinoza et al. (2017) para la recolección de efluentes y el mantenimiento de condiciones estrictamente anaeróbicas.

Procedimiento para determinar la composición química

Una vez sellados, los microsilos se almacenaron durante 35 días a temperatura ambiente en oscuridad parcial y sin exposición directa al sol, y tras la fermentación se abrieron para obtener muestras representativas destinadas a los análisis bromatológicos. La composición química de los ensilajes se determinó en el Laboratorio de Bromatología de la UTEQ siguiendo los procedimientos de la AOAC (2019). Las muestras fueron homogenizadas y secadas previamente para garantizar su representatividad.

La materia seca (MS) se determinó por secado en estufa Memmert; modelo: TV-400 a 105 °C hasta peso constante, mientras que la materia inorgánica (MI) se cuantificó mediante incineración en mufla Thermo Scientific a 600 °C. La proteína cruda (PC) se determinó utilizando el método Kjeldahl, aplicando el factor de conversión de nitrógeno 6,25. La energía cruda (EC) se determinó mediante calorimetría y las determinaciones se realizaron por duplicado en cada una de las cinco repeticiones por tratamiento.

La determinación de las fracciones fibrosas, fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA), se realizó mediante el sistema ANKOM® Fiber Analyzer, siguiendo las recomendaciones del fabricante (ANKOM Technology, 2017). Para la determinación de FDN, las muestras fueron sometidas a digestión con solución detergente neutra (pH 7), eliminando los componentes celulares y dejando como residuo la pared celular constituida por hemicelulosa, celulosa y lignina.

Posteriormente, el residuo obtenido fue sometido a digestión con detergente ácido para determinar la FDA, eliminando la hemicelulosa y dejando como residuo únicamente celulosa y lignina. Los residuos finales fueron secados, pesados y expresados como porcentaje de la

materia seca. Todos los análisis se realizaron por duplicado para garantizar la precisión y reproducibilidad de los resultados.

Análisis estadísticos

Las variables de composición química evaluadas (humedad, materia inorgánica, proteína cruda, energía cruda, fibra detergente neutra y fibra detergente ácida) fueron analizadas mediante un análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño completamente al azar. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software InfoStat versión 2020. Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad ($P \leq 0,05$).

Resultados

Composición química del ensilaje de pasto elefante con residuos de piña

El análisis bromatológico evidenció diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($p < 0.0001$), indicando que la composición química del ensilaje fue influenciada por las formulaciones aplicadas. En relación con el contenido de humedad, se observó una amplia variabilidad entre los tratamientos analizados. El tratamiento T2 presentó el valor más elevado, alcanzando un 95,4%, diferenciándose estadísticamente ($p < 0.05$) del resto de los grupos evaluados.

Este comportamiento indica una mayor proporción de agua en la masa ensilada, lo que podría afectar la estabilidad fermentativa y favorecer pérdidas de nutrientes durante la conservación. En un nivel intermedio se ubicaron los tratamientos T5 (87,0%), T3 (85,8%), T6 (85,5%) y T4 (85,4%), que compartieron la misma categoría estadística y mostraron homogeneidad entre sí. El tratamiento T1 presentó un valor ligeramente inferior (83,07%), diferenciándose de los de mayor contenido hídrico.

Los menores porcentajes de humedad se registraron en T8 (74,5 %) y T7 (67,8 %), con diferencias estadísticas entre ambos y respecto a los demás tratamientos ($p < 0,05$). El contenido de materia inorgánica osciló entre 4,61 % (T2) y 32,2 % (T7); T8 alcanzó 25,5 %, mientras que T1, T4, T6, T3 y T5 presentaron valores intermedios de 16,93 %, 14,6 %, 14,5 %, 14,2 % y 13,0 %, respectivamente. T2 no difirió de T1, mientras que T3, T4, T5 y T6 conformaron un mismo grupo estadístico ($p > 0,05$).

Con respecto al contenido de proteína cruda, el mayor valor se registró en T6 (12,7%), seguido de T7 (12,2%), sin diferencias estadísticas entre ambos ($p \geq 0,05$). T8 alcanzó 10,9%, con similitud estadística con T5 (10,6%). Luego se ubicaron T3 (10,3%), T4 (10,2%) y T1 (9,73%), sin diferencias significativas entre varios de estos tratamientos. El menor contenido se registró en T2 (8,97%), con diferencias estadísticas frente a la mayoría de los tratamientos evaluados.

En cuanto a la fibra detergente neutra (FDN), el tratamiento T1 presentó el mayor valor (71,68%), con diferencias significativas ($p < 0,05$) frente al resto de tratamientos. T5 registró 65,2% y T6 62,5%, sin diferencias estadísticas entre sí. Posteriormente se ubicaron T4 (60,1%), T3 (54,9%) y T8 (53,5%), con superposición estadística. T7 presentó 53,0%, sin diferencias con T3 y T8. El menor valor correspondió a T2 (28,1%), con diferencias significativas frente a los demás tratamientos.

La evaluación de la fibra detergente ácida (FDA) mostró diferencias entre tratamientos. T1 presentó el mayor valor (35,14%), con diferencias estadísticas frente a los demás tratamientos ($p < 0,05$). Le siguieron T5 (25,4%) y T4 (22,6%). Los tratamientos T7 (21,7%), T8 (17,9%), T6 (17,4%) y T3 (17,1%) mostraron valores similares sin diferencias estadísticas entre algunos de ellos. El menor valor correspondió a T2 (9,35%), con diferencias significativas frente al resto de tratamientos.

Finalmente, el análisis del contenido energético mostró diferencias entre tratamientos, con T1 presentando el mayor valor (6,21 Mcal/kg) y diferencias significativas frente a todos los tratamientos ($p < 0,05$). T2 registró 4,04 Mcal/kg, con separación estadística respecto a varios tratamientos intermedios. T4 (3,32 Mcal/kg), T5 (3,31 Mcal/kg) y T3 (3,24 Mcal/kg) no presentaron diferencias significativas entre sí. T6 alcanzó 3,22 Mcal/kg. Los menores valores correspondieron a T7 y T8 (3,08 Mcal/kg), sin diferencias entre ellos.

Tabla 1

Composición química del ensilaje de pasto elefante con residuos de piña.

Tratamientos	Humedad	Materia inorgánica	Proteína cruda	FDN	FDA	Energía cruda
T1	83,07 c	16,93 c	9,73 cd	71,68 a	35,14 a	6,21 a
T2	95,4 a	4,61 c	8,97 d	28,1 e	9,35 e	4,04 b
T3	85,8 b	14,2 d	10,3 cd	54,9 cd	17,1 d	3,24 cd
T4	85,4 b	14,6 d	10,2 cd	60,1 bc	22,6 c	3,32 c
T5	87 b	13 d	10,6 c	65,2 b	25,4 b	3,31 c
T6	85,5 b	14,5 d	12,7 a	62,5 b	17,4 d	3,22 d
T7	67,8 e	32,2 a	12,2 ab	53 d	21,7 bcd	3,08 e
T8	74,5 d	25,5 b	10,9 bc	53,5 d	17,9 cd	3,08 e
Probabilidad	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Nota: FDN = Fibra Detergente Neutra; FDA = Fibra Detergente Ácida. Letras distintas en una misma columna indican diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$).

Discusión

La composición química de los ensilajes fue afectada significativamente por la inclusión de residuos de piña y la edad de rebrote del pasto elefante, evidenciando la influencia de ambos factores en la calidad nutricional del material conservado. Resultados similares fueron reportados por López et al. (2014), quienes observaron cambios en la composición nutricional al incorporar subproductos de piña. Asimismo, Mohamad et al. (2023) y Yang et al. (2021) señalaron que los residuos agroindustriales representan una alternativa para optimizar el uso de recursos locales en sistemas pecuarios.

El elevado contenido de humedad registrado en el tratamiento elaborado exclusivamente con residuos de piña confirma una de las principales limitaciones de este subproducto para su utilización en procesos de ensilaje. Según Paula y Faria Júnior (2019), los residuos derivados del procesamiento de piña presentan altos niveles de humedad, condición

que puede incrementar la producción de efluentes y comprometer la estabilidad de la fermentación cuando no se combinan con materiales de mayor contenido de materia seca.

Asimismo, Paz et al. (2024) y Wimalasiri y Somasiri (2021) reportaron que la alta humedad favorece pérdidas nutricionales durante el almacenamiento, reduciendo la calidad del ensilaje. En contraste, los tratamientos con menor humedad presentaron mayores concentraciones de materia mineral y proteína cruda, lo que sugiere un efecto de concentración asociado al incremento de materia seca. En este sentido, Kiatti et al. (2023) destacaron que la reducción de la humedad favorece la conservación de nutrientes y mejora la estabilidad del material ensilado.

De igual manera, Idayanti et al. (2021) señalaron que los subproductos frutales pueden contribuir al aporte mineral en dietas para rumiantes cuando se conservan adecuadamente. La variación en proteína cruda estuvo asociada a la edad de rebrote del pasto y a la composición de las mezclas ensiladas. Los mayores valores proteicos se registraron en tratamientos con pasto elefante cosechado a edades tempranas e intermedias.

Este comportamiento coincide con los resultados obtenidos por Avellaneda et al. (2022), quienes demostraron que las gramíneas tropicales presentan una reducción progresiva de proteína a medida que aumenta la madurez fisiológica. Del mismo modo, Ordaz-Contreras et al. (2024) señalaron que el incremento de la edad de corte favorece la acumulación de tejidos estructurales y reduce la proporción de componentes celulares ricos en nitrógeno.

En contraste, el tratamiento compuesto exclusivamente por residuos de piña presentó el menor contenido de proteína cruda, asociado a su baja concentración de nitrógeno y alto contenido de humedad. Alpizar y Elizondo-Salazar (2019) indicaron que los residuos de piña constituyen una fuente energética, aunque con bajos niveles de proteína en comparación con forrajes tropicales. De igual manera, Li et al. (2024) destacaron la necesidad de un adecuado

balance nutricional al utilizar subproductos frutales para evitar limitaciones proteicas en la dieta animal.

Las fracciones fibrosas respondieron a la composición de las formulaciones. Los mayores contenidos de FDN y FDA se observaron en los tratamientos con predominio de pasto elefante, reflejando mayor proporción de componentes de la pared celular. Según Ordaz-Contreras et al. (2024), la madurez de las gramíneas tropicales incrementa la proporción de hemicelulosa, celulosa y lignina, elevando los valores de FDN y FDA y reduciendo la digestibilidad potencial del forraje.

De forma complementaria, Kiatti et al. (2023) indicaron que los residuos de piña presentan bajas concentraciones de fibra estructural y altos niveles de carbohidratos solubles, lo que reduce los componentes lignocelulósicos en mezclas ensiladas. López et al. (2014) señalaron su potencial para complementar forrajes tropicales de alta fibra, mientras que Mohamad et al. (2023) destacaron su aporte de carbohidratos fácilmente fermentables que mejora la calidad nutricional de las dietas.

En relación con la energía cruda, el tratamiento T1 presentó los valores más altos; no obstante, este resultado debe considerarse junto con el contenido de fibra. Kiatti et al. (2023) indicaron que una mayor energía bruta no implica necesariamente mayor disponibilidad energética, ya que puede estar asociada a fracciones estructurales de baja degradabilidad. En este sentido, la reducción de FDN y FDA en los tratamientos con residuos de piña sugiere una mayor disponibilidad potencial de nutrientes, la cual debe confirmarse mediante estudios de digestibilidad y fermentación ruminal.

Los resultados obtenidos demuestran que la incorporación de residuos de piña reduce las fracciones fibrosas del ensilaje de *Pennisetum purpureum*, mientras que las formulaciones T6 y T7 presentaron mayores contenidos de proteína cruda y materia mineral. Estos hallazgos sugieren su potencial como ingrediente alternativo en alimentación animal. No obstante,

estudios adicionales sobre fermentación, digestibilidad y respuesta productiva son necesarios para validar su desempeño en condiciones de producción.

Conclusión

Los residuos de piña modificaron significativamente la composición química de los ensilajes de *Pennisetum purpureum*, reduciendo las fracciones fibrosas y afectando el contenido de nutrientes. Los tratamientos T6 y T7 presentaron los mayores contenidos de proteína cruda entre las formulaciones evaluadas. Estos resultados evidencian el potencial de los residuos de piña como ingrediente alternativo para la elaboración de ensilajes bajo condiciones tropicales.

Referencias bibliográficas

- Alpízar y Elizondo, C., & Elizondo-Salazar, J. A. (2019). Utilización de residuos de piña para alimentación de cabras: Efecto sobre la producción y composición láctea. *Agronomía Costarricense*, 43(1), 113–124. <https://doi.org/10.15517/rac.v43i1.35655>
- Anim-Jnr, A. S., Ishaq, S. B. Y., Sasu, P., Gyimah, S., Greathead, H. M. R., Boesch, C., Mabiki, F. P., & Emmambux, M. N. (2025). Valorising mango, cashew apple, and papaya by-products for sustainable small ruminant production in low-income food deficit countries—A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, Artículo 1529837. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1529837>
- ANKOM Technology. (2017). *In vitro true digestibility using the DAISY II incubator system*.
- AOAC International. (2019). *Official methods of analysis of AOAC International* (21st ed.). AOAC International.
- Avellaneda, J., Bazán-Vaca, G., Arana-Sánchez, D., Bajaan-Guanoluisa, D., Herrera-Herrera, R., & Pinargote-García, L. (2022). Biodisponibilidad ruminal de minerales del pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) fertilizado con nitrógeno. *Ciencia y Tecnología*, 15(1), 35–40. <https://doi.org/10.18779/cyt.v15i1.534>
- Chand, S., Indu, Singhal, R. K., & Govindasamy, P. (2022). Agronomical and breeding approaches to improve the nutritional status of forage crops for better livestock productivity. *Grass and Forage Science*, 77(1), 11–32. <https://doi.org/10.1111/gfs.12557>
- 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 elefante (*Pennisetum purpureum*). *Intersedes*, 12(23), 17–31.

- Espinoza, I., Montenegro, L., Rivas, J., Romero, M., García, A., & Martínez, A. (2017a). Características microbianas, estabilidad aeróbica y cinética de degradación ruminal del ensilado de pasto saboya (*Megathyrsus maximus*) con niveles crecientes de cáscara de piña (*Passiflora edulis*). *Revista Científica, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad del Zulia*, 27(4), 178–185.
- Idayanti, R. W., Arfin, M., Purbowati, E., & Purnomoadi, A. (2021). Utilization of pineapple waste as a roughage source diets for ruminant: A review. *Advances in Biological Sciences Research*, 20, 45–49.
- Jalal, H., Sucu, E., Cavallini, D., Giammarco, M., Akram, M. Z., Karkar, B., Gao, M., Pompei, L., Eduardo, J., Prasinou, P., & Fusaro, I. (2025). Rumen fermentation profile and methane mitigation potential of mango and avocado byproducts as feed ingredients and supplements. *Scientific Reports*, 15, Artículo 16164. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00675-2>
- Kazemi, M. (2025). Recycling agricultural waste: Sustainable solutions for enhancing livestock nutrition. *Veterinary Medicine and Science*, 11(3), e207. <https://doi.org/10.1002/vms3.207>
- Kiatti, D. d., Vastolo, A., Koura, B. I., Vitaglione, P., Cutrignelli, M. I., & Calabrò, S. (2023). The chemical characteristics and in vitro degradability of pineapple by-products as potential feed for ruminants. *Animals*, 13(20), Artículo 3238. <https://doi.org/10.3390/ani13203238>
- Li, H., Song, X., Wu, W., & Zhou, C. (2024). *Rosa roxburghii* trutt residue as an alternative feed for improving growth, blood metabolites, rumen fermentation, and slaughter performance in Hu sheep. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, Artículo 1397051. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1397051>
- López, M., WingChing-Jones, R., & Rojas-Bourrillón, A. (2014). Meta-análisis de los subproductos de piña (*Ananas comosus*) para la alimentación animal. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 383–392. <https://doi.org/10.15517/am.v25i2.15453>
- Macay Anchundia, M. A., Pinargote Guerra, I. A., Vélez Ostaiza, J. A., & Zambrano Mendoza, M. E. (2025). Fertilización orgánica en pasto elefante verde (*Pennisetum* sp.) como alternativa en producción forrajera. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(1), 1–15. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16233
- Mohamad, S. A., Andu, Y., Sarijan, S., Mohd Khalid, H.-N., Abdul Kari, Z., Che Harun, N., Rusli, N. D., Mat, K., Raja Khalif, R. I. A., Wei, L. S., Rahman, M. M., Hakim, A. H., Norazmi Lokman, N. H., Abdul Hamid, N. K., Khoo, M. I., & Doan, H. V. (2023). Pineapple waste in animal feed: A review of nutritional potential, impact and prospects. *Annals of Animal Science*, 23(2), 339–352. <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0080>
- Moore, K. J., Lenssen, A. W., & Fales, S. L. (2020). Factors affecting forage quality. *Forages: The science of grassland agriculture*, 2, 701–717. <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch39>
- Ordaz-Contreras, R., Sosa-Montes, E., Mendoza-Pedroza, S. I., Améndola-Massiotti, R. D., Reyes-Castro, S., Ortega-Jiménez, E., Joaquín-Cancino, S., & Hernández-Garay, A. (2024). Composición química del pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach) a diferente intervalo de corte. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 15(1), 85–98.

- Paula, K. S., & Faria Júnior, O. L. (2019). Utilização dos restos culturais e resíduos da industrialização de abacaxi na alimentação de ruminantes: Revisão. *Pubvet*, 13(2), 1–7. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n2a271.1-7>
- Paz-Arteaga, S. L., Cadena-Chamorro, E., Gómez-García, R., Serna-Cock, L., Aguilar, C. N., & Torres-León, C. (2024). Unraveling the valorization potential of pineapple waste to obtain value-added products towards a sustainable circular bioeconomy. *Sustainability*, 16(16), Artículo 7236. <https://doi.org/10.3390/su16167236>
- 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/S0102-09352005000500017>
- Rhanya, S. K., Irene Vethamoni, P., Ashokkumar, G., Anand, M., & Amuthaselvi, G. (2026). Reimagining food waste: The potential of fruits and vegetables as animal feed—A review. *Annals of Animal Science*, 26(2), 677–693. <https://doi.org/10.2478/aoas-2025-0068>
- Tayengwa, T., & Mapiye, C. (2018). Citrus and winery wastes: Promising dietary supplements for sustainable ruminant animal nutrition, health, production, and meat quality. *Sustainability*, 10(10), Artículo 3640. <https://doi.org/10.3390/su10103640>
- Wimalasiri, S., & Somasiri, S. C. (2021). Ensiled fruit peels of pineapple (*Ananas comosus*) and papaya (*Carica papaya*) as an animal feed. *Proceeding of the 2nd International Conference on Agriculture, Food Security and Safety*, 2, 29–43. <https://doi.org/10.32789/agrofood.2021.1003>
- Yang, K., Qing, Y., Yu, Q., Tang, X., Chen, G., Fang, R., & Liu, H. (2021). By-product feeds: Current understanding and future perspectives. *Agriculture*, 11(3), Artículo 207. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030207>
- Zhao, X., Sun, Y., Chang, Z., Yao, B., Han, Z., Wang, T., ... & Wang, R. (2024). Innovative lactic acid production techniques driving advances in silage fermentation. *Fermentation*, 10(10), 533. <https://doi.org/10.3390/fermentation10100533>